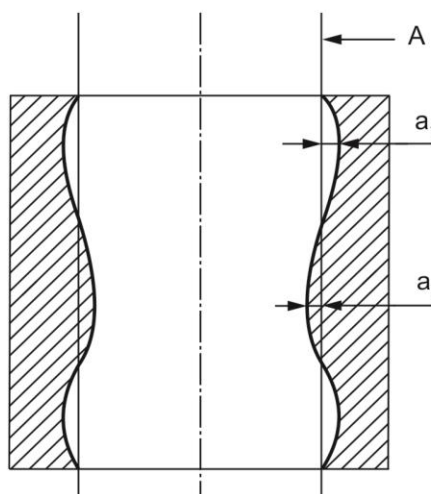




ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΟΧΕΣ ΜΟΡΦΗΣ
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ



ΤΣΑΟΥΣΟΓΛΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Σε όλους αγαπώ και με αγαπάνε.

Ευχαριστώ

Τους γονείς μου και την αδελφή μου, που με υποστηρίζουν όλα αυτά τα χρονιά.
Τους φίλους μου που κάνουν τον χρόνο να περνά πολύ πιο εύκολα και ευχάριστα.
Όλους όσους αφιέρωσαν χρόνο και κυρίως την Βάσω, στο να διαβάσουν την εργασία μου προκειμένου να με βοηθήσουν να διορθώσω τα ουκ ολίγα ορθογραφικά μου λάθη.
Τον καθηγητή μου Α. Αντωνιάδη που με ανέχτηκε όλο αυτό τον καιρό, για την όμορφη συνεργασία που μου προσέφερε και για όλα όσα με βοήθησε να μάθω.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. Γεωμετρικές προδιαγραφές προϊόντος	6
2.1 Ανοχές μορφής	6
2.2 Παραδείγματα γεωμετρικών ανοχών	23
3. ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΤΗΤΑ	31
3.1 Λεξιλόγιο και παράμετροι κυλινδρικών μορφών	31
3.2 Μαθηματικός προσδιορισμός της κυλινδρικής απόκλισης ενοποιημένων χαρακτηριστικών	37
3.3 Εκτίμηση απόκλισης κυλινδρικότητας	38
3.4 Αρμονικό περιεχόμενο κυλινδρικού τεμαχίου ονομαστικής διαμέτρου και στρατηγικές εξαγωγής	40
4. ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ	44
4.1 Γεωμετρικές προδιαγραφές προϊόντος	44
4.2 Λεξιλόγιο και παράμετροι κυκλικότητας	46
4.3 Μαθηματικός προσδιορισμός αποκλίσεων κυκλικότητας ενοποιημένων χαρακτηριστικών	47
4.4 Αρμονικό περιεχόμενο	50
5. ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ	52
5.1 Γεωμετρικές προδιαγραφές προϊόντος	52
5.2 Αρμονικό περιεχόμενο	56
5.3 Μέθοδοι εξαγωγής	58
6. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΤΗΤΑ	62
6.1 Γενικοί όροι	62
6.2 Μαθηματικός προσδιορισμός της απόκλισης ευθυγραμμότητας ενοποιημένων χαρακτηριστικών	65
6.3 Ζώνη εκπομπής	66
6.4 Αρμονικό περιεχόμενο	67
7. ΣΥΝΟΨΗ	69
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διαστάσεις οι οποίες αναγράφονται σε ένα σχέδιο δεν είναι δυνατό να υλοποιηθούν τεχνικά με απόλυτη ακρίβεια. Το πρόβλημα αυτό της «ιδανικής ακρίβειας» καλούνται να λύσουν οι ανοχές.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση και ανάλυση των ανοχών μορφής. Οι ανοχές μορφής συμβάλλουν στον καθορισμό της ακρίβειας κατασκευής μίας συγκεκριμένης γεωμετρικής μορφής, ορίζοντας τις επιτρεπόμενες αποκλίσεις μίας διαμόρφωσης από την τέλεια γεωμετρική της μορφή. Κατά αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατό να προσδιοριστεί αν το εξάρτημα το οποίο περιλαμβάνει τη συγκεκριμένη γεωμετρική μορφή γίνεται αποδεκτό ή όχι.







Στην αρχή παρατίθενται ορισμένα βασικά στοιχεία τα οποία αφορούν στις ανοχές μορφής, τη σημασία, τους κατάλληλους συμβολισμούς και τον τρόπο χρήσης αυτών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά οι ανοχές μορφής - κυλινδρικότητα, κυκλικότητα, επιπεδότητα και ευθυγραμμότητα - και γίνεται μία διεξοδικότερη προσέγγιση για τον τρόπο λειτουργίας τους και την πρακτική εφαρμογή τους. Το σύνολο των ορισμών και των εννοιών που θα ακολουθήσουν είναι σύμφωνο με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO).

2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

2.1 Ανοχές μορφής

2.1.1 Βασικές έννοιες

Προκειμένου να καθοριστεί με ακρίβεια η κατασκευή μίας συγκεκριμένης γεωμετρικής μορφής, οι κανονισμοί προβλέπουν τις ανοχές μορφής. Ουσιαστικά οι ανοχές μορφής ορίζουν τις επιτρεπόμενες γεωμετρικές αποκλίσεις μίας διάταξης, από τις διαστάσεις που προβλέπονται στο σχέδιο. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα είδη των ανοχών μορφής συνοδευόμενα από το αντίστοιχο χαρακτηριστικό σύμβολο και μία σύντομη περιγραφή.

Ανοχή μορφής	Σύμβολο	Περιγραφή
Ευθυγραμμότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια γραμμή, ακμή ή γενέτειρα μιας επιφάνειας γίνεται αποδεκτή ως ευθεία γραμμή
Επιπεδότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια επιφάνεια γίνεται αποδεκτή ως επίπεδη επιφάνεια
Κυκλικότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια κυκλική γραμμή ή ακμή που μπορεί να είναι περιφέρεια ή τόξο γίνεται αποδεκτή ως κύκλος ή τόξο κύκλου
Κυλινδρικότητα		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια επιφάνεια γίνεται αποδεκτή ως κυλινδρική
Μορφή γραμμής		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια γραμμή γίνεται αποδεκτή σύμφωνα με καθορισθείσα γεωμετρικά ιδανική γραμμή
Μορφή επιφάνειας		Ορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μια επιφάνεια γίνεται αποδεκτή σύμφωνα με καθορισθείσα γεωμετρικά ιδανική επιφάνεια

Πίνακας 2.1: Είδη ανοχών μορφής

Στον πίνακα 2.2 δίνονται αναλυτικοί ορισμοί των ανοχών μορφής και των διάφορων περιπτώσεων στις οποίες μπορούν να εμφανιστούν, ανάλογα με την ακμή, τον άξονα ή την επιφάνεια που χαρακτηρίζουν.

Ευθυγραμμότητα	Αναφέρεται στην απόσταση δύο παράλληλων επιπέδων ανάμεσα στα οποία πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας γραμμής. Χρησιμοποιείται όταν δίνεται η ανοχή σε μία κατεύθυνση.
	Αναφέρεται στην διατομή ενός ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου μέσα στο οποίο πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας γραμμής. Χρησιμοποιείται όταν δίνεται η ανοχή σε δύο κατευθύνσεις
	Αναφέρεται στη διάμετρο ενός κυλίνδρου μέσα στον οποίο πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας γραμμής. Χρησιμοποιείται όταν δίνεται η τιμή της ανοχής συνοδευόμενη από το χαρακτηριστικό γράμμα Φ που υποδηλώνει διάμετρο.
Επιπεδότητα	Αναφέρεται στην απόσταση δύο παράλληλων επιπέδων ανάμεσα στα οποία πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας επιφάνειας.

Κυκλικότητα	Αναφέρεται στην απόσταση δύο συνεπίπεδων και ομόκεντρων περιφερειών μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας γραμμής.
	Αναφέρεται στην απόσταση δύο ομοαξονικών κυλίνδρων μεταξύ των οποίων πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας γραμμής.
Κυλινδρικήτητα	Αναφέρεται στην απόσταση δύο ομοαξονικών κυλίνδρων ανάμεσα στους οποίους πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία της εξωτερικής επιφάνειας ενός κυλίνδρου.
Μορφή γραμμής	Αναφέρεται στην απόσταση δύο συνεπίπεδων γραμμών ανάμεσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας γραμμής. Οι γραμμές αυτές είναι οι περιβάλλουσες κύκλων διαμέτρου ίσης με την ανοχή που καταχωρείται και των οποίων τα κέντρα βρίσκονται πάνω στη γεωμετρικά ιδανική γραμμή. Η γεωμετρικά ιδανική γραμμή περιγράφεται με τη χρήση των θεωρητικών διαστάσεων.
Μορφή επιφάνειας	Αναφέρεται στην απόσταση των δύο επιφανειών ανάμεσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας επιφάνειας. Οι επιφάνειες αυτές θα είναι περιβάλλουσες σφαιρών διαμέτρου ίσης με την ανοχή που καταχωρείται και των οποίων τα κέντρα βρίσκονται πάνω στην γεωμετρικά ιδανική επιφάνεια. Η γεωμετρικά ιδανική επιφάνεια περιγράφεται με τη χρήση των θεωρητικών διαστάσεων.

Πινάκας 2.2: Ορισμοί ανοχών μορφής

Η **ζώνη ανοχής** αναφέρεται στον χώρο ο οποίος ορίζεται από μία ή περισσότερες γεωμετρικά τέλειες γραμμές ή επιφάνειες, και χαρακτηρίζεται από μία καθορισμένη διάσταση η οποία ονομάζεται ανοχή. Οι γεωμετρικές ανοχές πρέπει να καθορίζονται με βάση τις εκάστοτε λειτουργικές απαιτήσεις. Επίσης οι ανάγκες οι οποίες αφορούν στην κατασκευή και την ποιότητα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Οι γεωμετρικές ανοχές που αναφέρονται σε ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι αυτές οι οποίες καθορίζουν τη ζώνη ανοχής μέσα στην οποία θα πρέπει αυτό να βρίσκεται. Ως χαρακτηριστικό γνώρισμα ορίζουμε ένα συγκεκριμένο τμήμα του τεμαχίου προς κατεργασία όπως ένα σημείο, μία γραμμή ή μία επιφάνεια. (πχ η εξωτερική επιφάνεια ενός κυλίνδρου). Ανάλογα με το χαρακτηριστικό γνώρισμα στο οποίο αναφέρεται η ανοχή και με τον τρόπο με τον οποίο διαστασιολογείται, η ζώνη ανοχής μπορεί να είναι ένα από τα έξης ακόλουθα:

- Ο χώρος ο οποίος περικλείεται από έναν κύκλο.
- Ο χώρος ανάμεσα σε δυο ομοκέντρους κύκλους.
- Ο χώρος ανάμεσα σε δυο ισαπέχουσες γραμμές ή δυο παράλληλες ευθείες.
- Ο χώρος ο οποίος περικλείεται από έναν κύλινδρο.
- Ο χώρος ανάμεσα σε δυο ομοαξονικούς κυλίνδρους.
- Ο χώρος ανάμεσα σε δυο ισαπέχουσες επιφάνειες ή δυο παράλληλα επίπεδα.

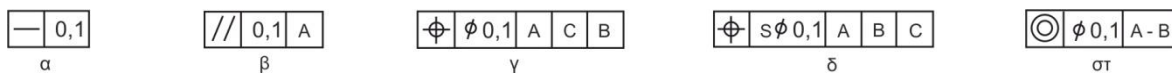
- Ο χώρος ο οποίος περικλείεται από μια σφαίρα.

Εκτός από την περίπτωση που απαιτείται μία πιο σαφής ένδειξη, όπως για παράδειγμα μια επεξηγηματική σημείωση όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.8, το τεμάχιο στο οποίο αναφέρονται οι ανοχές μπορεί να έχει οποιαδήποτε μορφή και προσανατολισμό μέσα στη ζώνη ανοχής. Επίσης οι ανοχές αναφέρονται και εφαρμόζονται σε ολόκληρη την έκταση του εξεταζόμενου τεμαχίου, σε διαφορετική περίπτωση θα γίνεται αναφορά στους επιπρόσθετους περιορισμούς. Τέλος οι γεωμετρικές ανοχές οι οποίες ορίζουν ένα χαρακτηριστικό το οποίο σχετίζεται με ένα επίπεδο αναφοράς δεν περιορίζουν τη μορφή του προσανατολισμού του, για αυτό το λόγο μπορεί να είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός των ανοχών μορφής αυτού.

2.1.2 Πλαίσιο ανοχής

Οι απαιτήσεις αναγράφονται μέσα σε ένα ορθογώνιο πλαίσιο το οποίο χωρίζεται σε δυο ή περισσότερα τμήματα. Αυτά τα τμήματα όπως φαίνεται στα σχήματα 2.1α, 2.1β, 2.1γ, 2.1δ και 2.1στ, περιέχουν με την ακόλουθη σειρά, κοιτώντας τα από τα αριστερά προς τα δεξιά ως εξής:

- το σύμβολο της ιδιότητας που χαρακτηρίζει η ανοχή.
- Την τιμή της ανοχής η οποία συνοδεύεται από το σύμβολο «Ø» στην περίπτωση που η ζώνη ανοχής είναι κυκλική ή κυλινδρική ή από το σύμβολο «SØ» αν η ζώνη ανοχής είναι κυλινδρική.
- Το γράμμα ή τα γράμματα που χαρακτηρίζουν το στοιχείο ή τα στοιχεία αναφοράς αντίστοιχα, όπως ακριβώς φαίνεται στα σχήματα 2.1β, 2.1γ, 2.1δ και 2.1στ.




Σχήμα 2.1 : Πλαίσιο ανοχής

Στην περίπτωση κατά την οποία μια ανοχή αναφέρεται σε περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά, θα πρέπει να αναγράφεται πάνω από το πλαίσιο ανοχής ο αριθμός των χαρακτηριστικών, ακολουθούμενος από το σύμβολο “X”, όπως φαίνεται στα σχήματα 2.2α και 2.2β.



Σχήμα 2.2 : Πλαίσιο ανοχής

Αν κρίνετε απαραίτητο, διπλά στο πλαίσιο ανοχής θα πρέπει να τοποθετούνται ενδείξεις οι οποίες θα πιστοποιούν τη μορφή του χαρακτηριστικού στην οποία αναφέρεται η ανοχή, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.

	0,1
NC	

Σχήμα 2.3 : Πλαίσιο ανοχής

Επίσης αν είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν περισσότερα από ένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός στοιχείου, τα αντίστοιχα σύμβολα και τιμές μπορούν να τοποθετηθούν μέσα σε πλαίσια ανοχής το ένα κάτω από το άλλο όπως στο σχήμα 2.4.

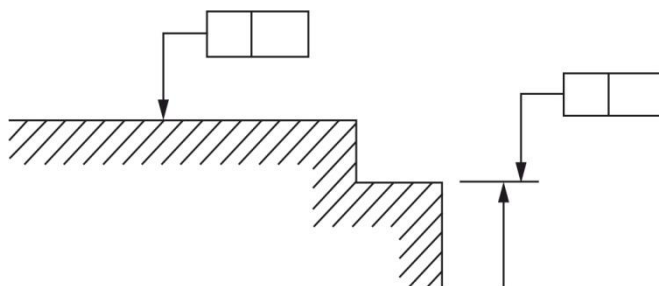
—	0,01	
//	0,06	B

Σχήμα 2.4 : Πλαίσιο ανοχής

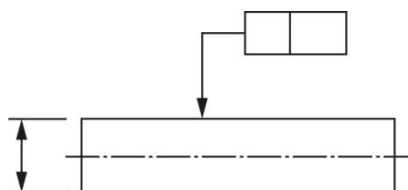
2.1.3 Χαρακτηριστικά ανοχής

Το πλαίσιο ανοχής πρέπει να συνδέεται με το χαρακτηριστικό στο οποίο αναφέρεται η ανοχή με μια βοηθητική γραμμή η οποία ξεκινάει από μια από τις πλευρές του πλαισίου ανοχής και καταλήγει σε ένα βέλος με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

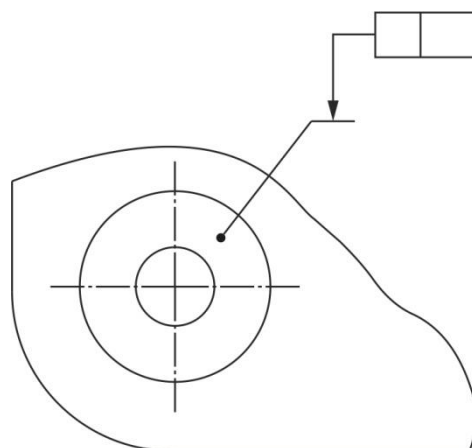
- Πάνω στο περίγραμμα του στοιχείου αναφοράς ή σε προέκταση του, όταν η ανοχή αναφέρεται στη γραμμή ή την επιφάνεια που δείχνει, όπως ακριβώς φαίνεται στα σχήματα 2.5, και 2.6. Επίσης, σύμφωνα με το σχήμα 2.7, το βέλος μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε μια γραμμή αναφοράς με τη χρήση μίας βοηθητικής γραμμής, προκειμένου να δείξει την επιφάνεια. Σε κάθε περίπτωση, οι βοηθητικές γραμμές και οι επεκτάσεις αυτών θα πρέπει να τοποθετούνται με προσοχή, ώστε να υπάρχει σαφής διαχωρισμός τους και να μην έρχονται σε επαφή με τις γραμμές διάστασης.



Σχήμα 2.5

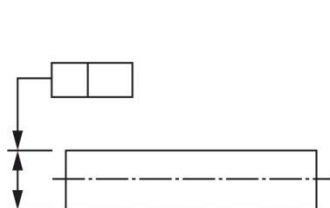


Σχήμα 2.6

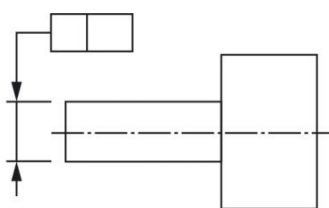


Σχήμα 2.7

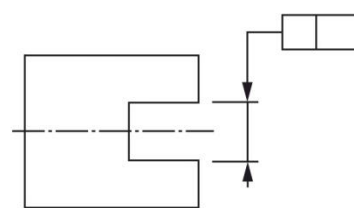
- Ως επέκταση της γραμμής διάστασης, όταν η ανοχή αναφέρεται σε μια μέση γραμμή, μια μέση επιφάνεια ή ένα σημείο το οποίο ορίζεται από το στοιχείο αναφοράς όπως ακριβώς φαίνεται στα σχήματα 2.8, 2.9 και 2.10.



Σχήμα 2.8



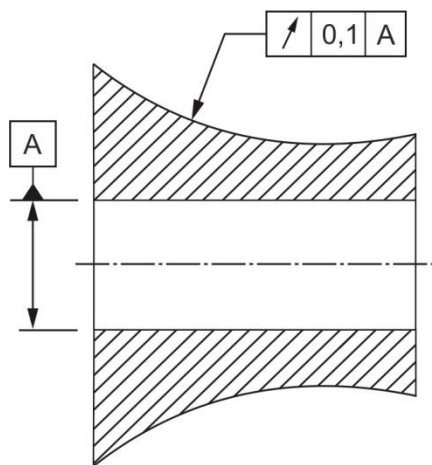
Σχήμα 2.9



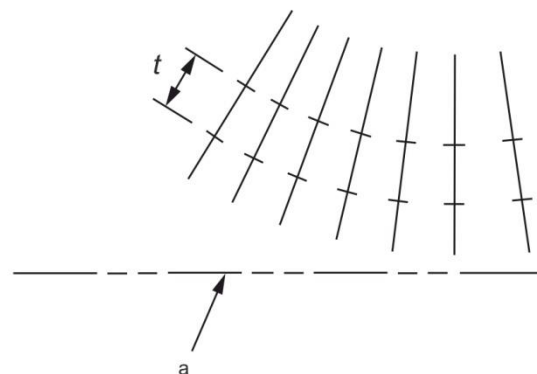
Σχήμα 2.10

2.1.4 Ζώνες ανοχής

Το πλάτος της ζώνης ανοχής τοποθετείται κάθετα στη γεωμετρική μορφή που ορίζει, όπως παρουσιάζεται στα σχήματα 2.11 και 2.12, εκτός από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες υποδεικνύεται κάτι διαφορετικό, όπως στα σχήματα 2.13 και 2.14.

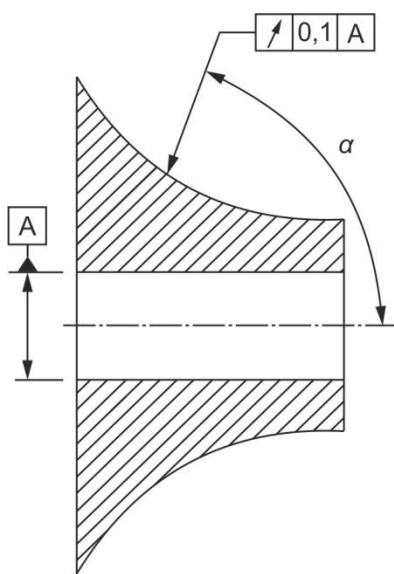


Σχήμα 2.11

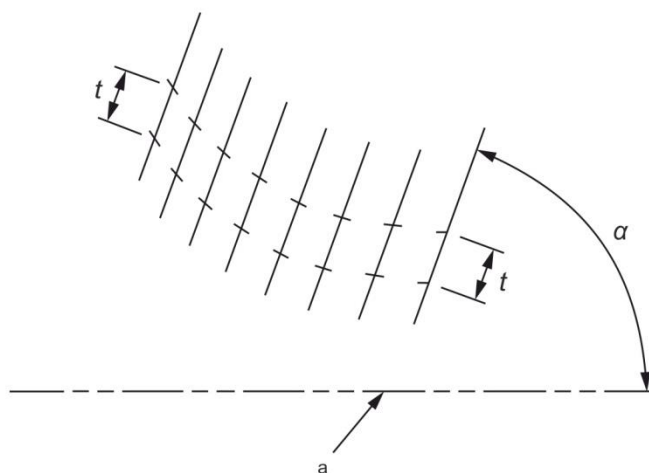


Σχήμα 2.12: Ερμηνεία 2.11

Σημείωση: Ο προσανατολισμός της βοηθητικής γραμμής δεν επηρεάζει τον ορισμό της ανοχής.

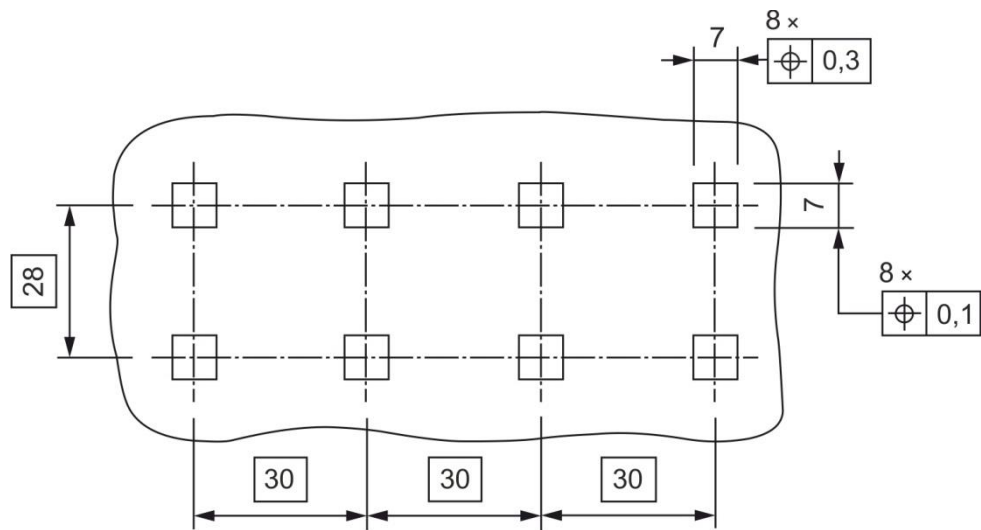


Σχήμα 2.13



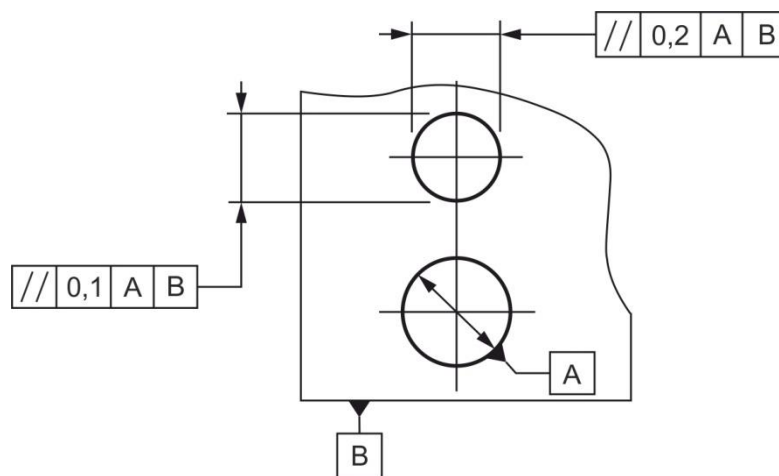
Σχήμα 2.14: Ερμηνεία 2.13

Η γωνιά στο σχήμα 2.13 θα πρέπει να εμφανίζεται ακόμα και στην περίπτωση που είναι 90° . Στην περίπτωση της κυκλικότητας το πλάτος της ζώνης ανοχής τοποθετείται πάντα σε επίπεδο κάθετο στον ονομαστικό άξονα. Όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 2.15, ο προσανατολισμός του πλάτους μίας ζώνης ανοχής θέσης βασίζεται στο πρότυπο των θεωρητικά ακριβών διαστάσεων (TED) και παίρνει τιμές οι οποίες θα είναι είτε 0° , είτε 90° , σύμφωνα με ότι υποδεικνύεται από την κατεύθυνση του βέλους ή τη βοηθητική γραμμή.

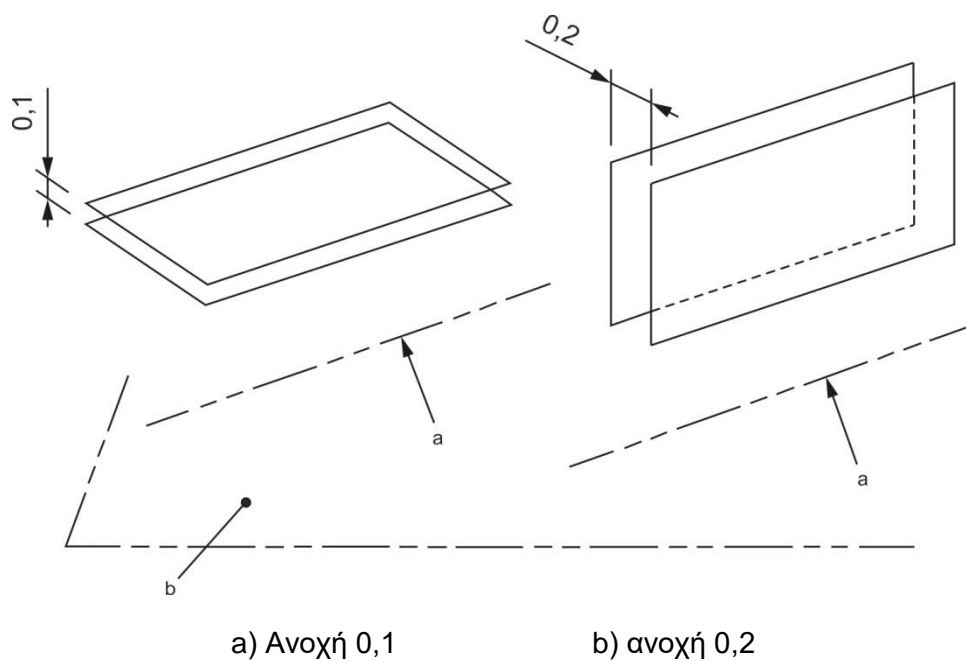


Σχήμα 2.15

Ο προσανατολισμός του πλάτους μιας ζώνης ανοχής θέσης όπως φαίνεται και στα σχήματα 2.16 και 2.17 είναι 0° ή 90° σε σχέση με το επίπεδο το οποίο υποδεικνύεται από την κατεύθυνση του βέλους της βοηθητικής γραμμής, εκτός και αν κάτι διαφορετικό υποδεικνύεται. Όταν υπάρχουν δυο ανοχές ταυτόχρονα, θα πρέπει να τοποθετούνται κάθετα η μία στην άλλη, όπως ακριβώς φαίνεται στα σχήματα 2.16 και 2.17, εκτός και αν κάτι διαφορετικό υποδεικνύεται.



Σχήμα 2.16

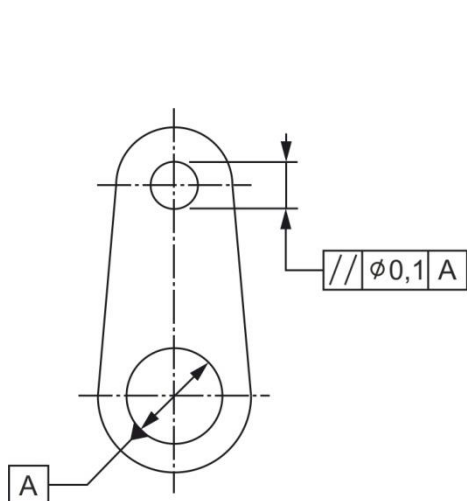


a: Επίπεδο A

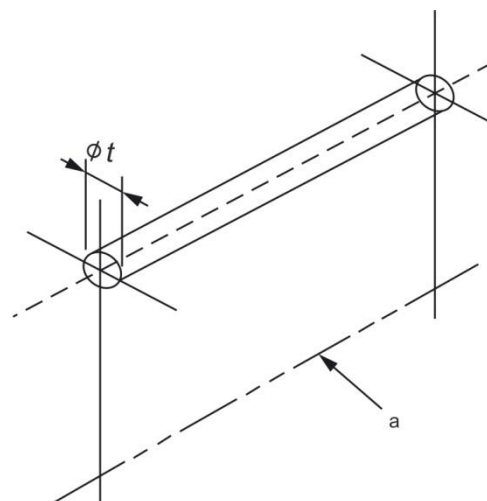
b: Επίπεδο B

Σχήμα 2.17 : Ερμηνεία σχήματος 2.16

Η ζώνη ανοχής είναι κυλινδρική, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.18, ή κυκλική όταν η τιμή της συνοδεύεται από το σύμβολο « \varnothing », όπως στο σχήμα 2.19. Στη περίπτωση της σφαιρικής ζώνης ανοχής χρησιμοποιείται το σύμβολο « $S\varnothing$ ».

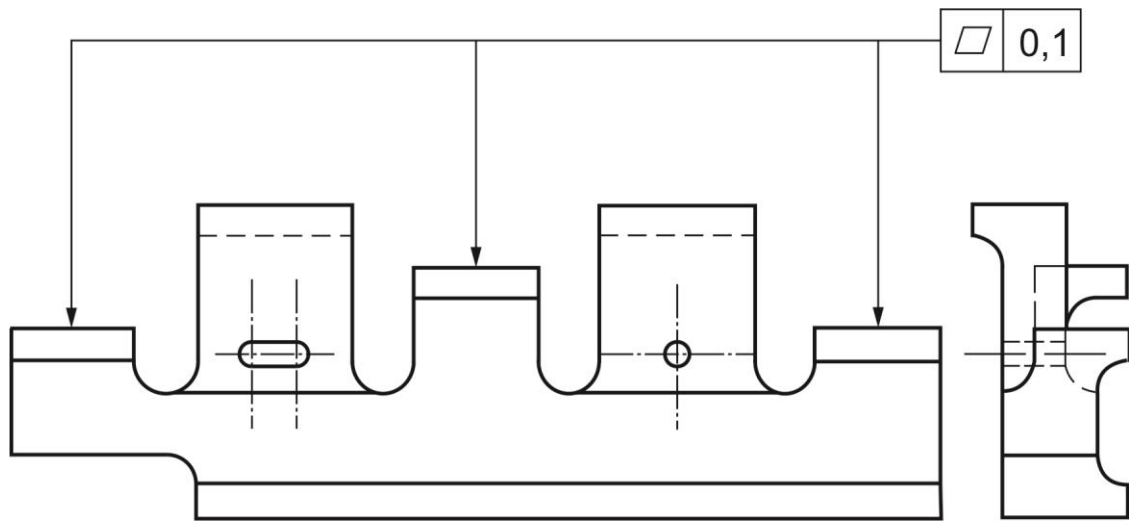


Σχήμα 2.18



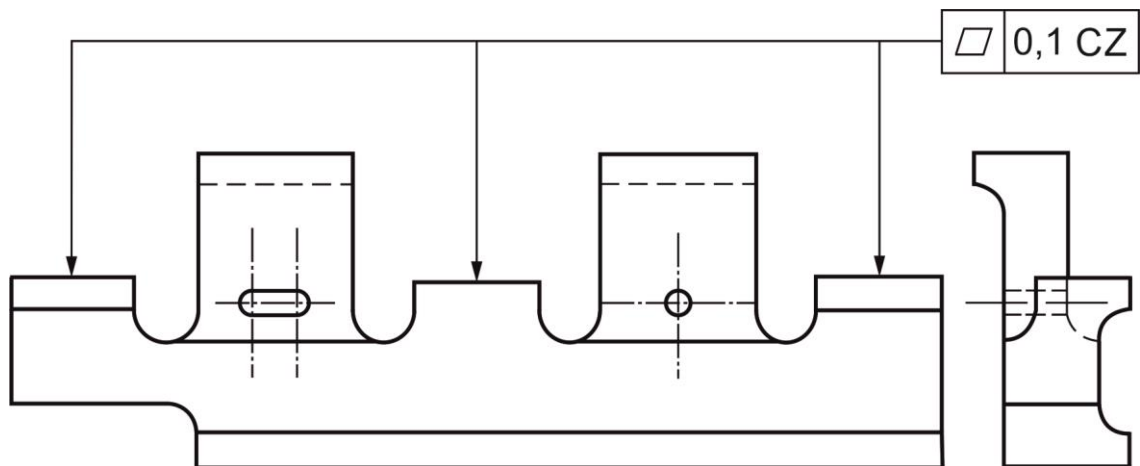
Σχήμα 2.19: Ερμηνεία σχήματος 2.18

Μεμονωμένες ζώνες ανοχής διαφορετικών χαρακτηριστικών οι οποίες έχουν την ίδια τιμή μπορούν να τοποθετηθούν, όπως στο σχήμα 2.20, με τον εξής ακόλουθο τρόπο:



Σχήμα 2.20

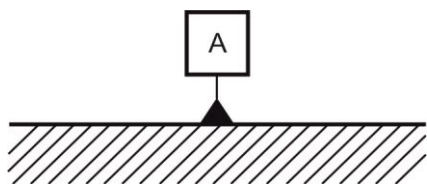
Όταν μια ζώνη ανοχής αναφέρεται σε πολλά μεμονωμένα χαρακτηριστικά, αυτά θα πρέπει να τοποθετούνται με τη χρήση του σύμβολου “CZ” αμέσως μετά την τιμή στο πλαίσιο ανοχής, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 2.21.



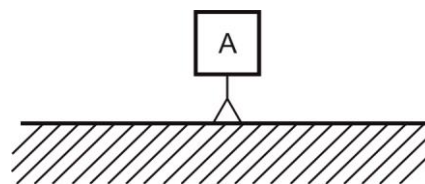
Σχήμα 2.21

2.1.5 Επίπεδα

Ένα επίπεδο το οποίο σχετίζεται με μία ανοχή μορφής οφείλει να συνοδεύεται από ένα γράμμα – σύμβολο το οποίο θα το ορίζει. Το γράμμα – σύμβολο αυτό πρέπει να είναι κεφαλαίο, να περικλείεται από ένα τετράγωνο πλαίσιο και να συνδέεται με ένα σκιασμένο ή κενό τρίγωνο με το αντίστοιχο επίπεδο, όπως ακριβώς φαίνεται στα σχήματα 2.22, και 2.23.



Σχήμα 2.22

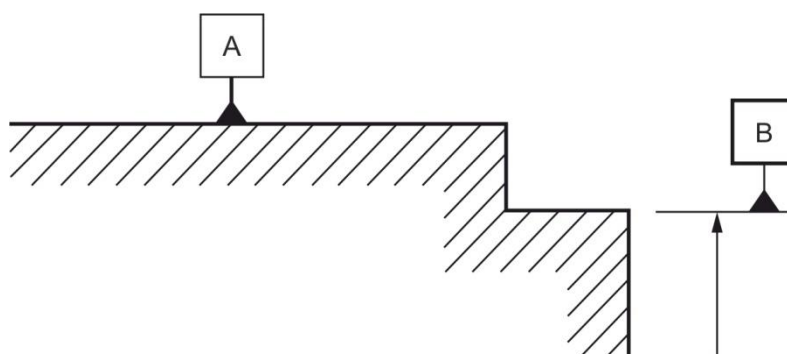


Σχήμα 2.23

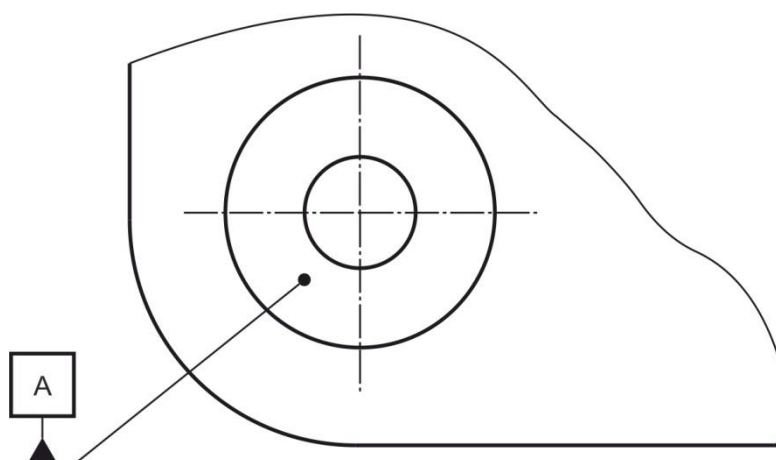
Σημείωση: Δεν υπάρχει καμιά απολύτως διάφορα ανάμεσα στα δύο είδη τριγώνων που αναφέρονται πιο πάνω.

Το τρίγωνο με το γράμμα – σύμβολο του επιπέδου θα πρέπει να τοποθετείται ως εξής:

- Στο περίγραμμα του στοιχείου αναφοράς ή σε προέκταση αυτού, με τρόπο ώστε να μην έρχεται σε επαφή με τις γραμμές διάστασης, όταν το επίπεδο συμβολίζεται με τη μορφή γραμμής ή επιφάνειας, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.24. Το τρίγωνο του επιπέδου μπορεί επίσης να τοποθετηθεί πάνω στη γραμμή αναφοράς με τη χρήση μίας βοηθητικής γραμμής η οποία θα υποδεικνύει το επίπεδο, σύμφωνα με το σχήμα 2.35.

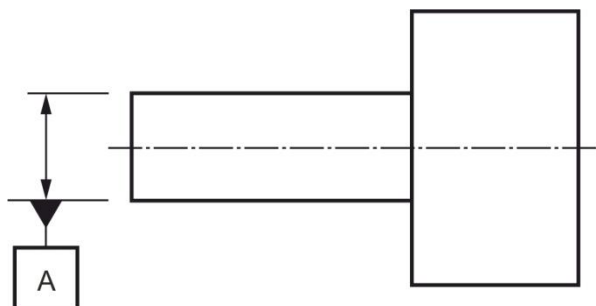


Σχήμα 2.24

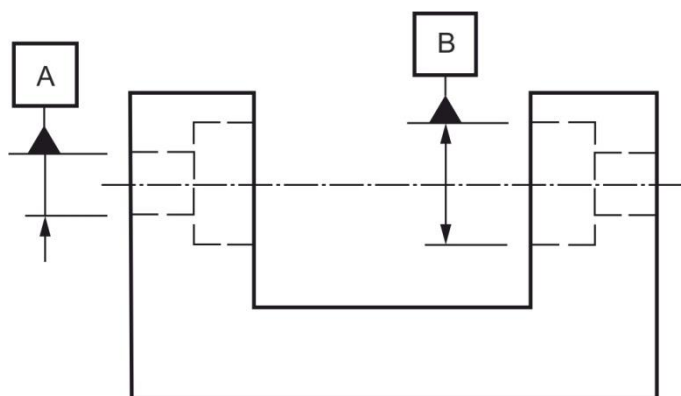


Σχήμα 2.25

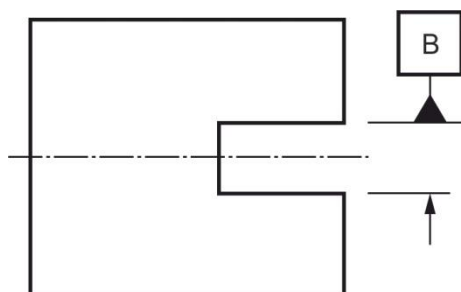
Ως προέκταση της γραμμής διάστασης όταν το επίπεδο είναι ταυτόχρονα άξονας συμμετρίας ή μέσο επίπεδο του στοιχείου που διαστασιολογείται, όπως ακριβώς φαίνεται στα σχήματα 2.26, 2.27 και 2.28. Στην περίπτωση κατά την οποία δεν υπάρχει επαρκής χώρος προκειμένου να τοποθετηθούν δύο βέλη, τότε το ένα μπορεί να αντικατασταθεί από το τρίγωνο του επιπέδου, όπως στα σχήματα 2.27 και 2.28.



Σχήμα 2.26

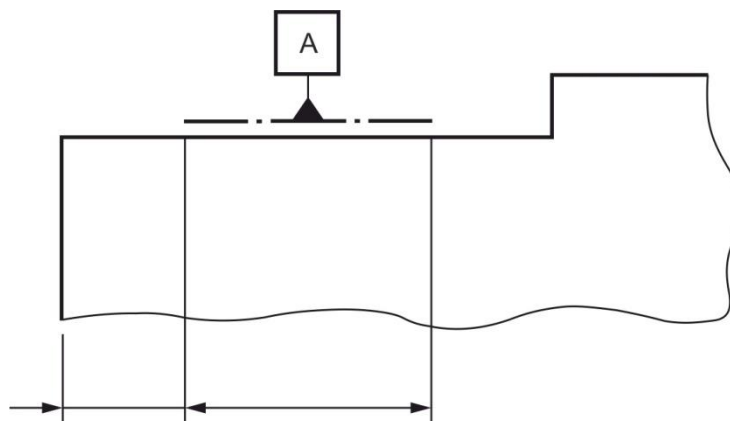


Σχήμα 2.27



Σχήμα 2.28

Αν το επίπεδο βρίσκεται σε ένα μη επιτρεπτό τμήμα του χαρακτηριστικού, τότε αυτός ο περιορισμός θα πρέπει να παρουσιάζεται ως μια γραμμή, της οποίας οι διαστάσεις θα αναφέρονται και αυτή η γραμμή θα έχει την κατάλληλη μορφή, όπως στο σχήμα 2.29.



Σχήμα 2.29

Ένα επίπεδο το οποίο αποτελείται από ένα μόνο χαρακτηριστικό, συμβολίζεται με ένα κεφαλαίο γράμμα – σύμβολο, σύμφωνα με το σχήμα 2.30. Αν το επίπεδο αποτελείται από δυο διαφορετικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν δυο ξεχωριστά γράμματα, τα οποία θα χωρίζονται από μια παύλα μεταξύ τους όπως στο σχήμα 2.31. Στην περίπτωση που περισσότερα από δυο χαρακτηριστικά αποτελούν ένα επίπεδο, τα κεφάλαια γράμματα – σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση αυτών, τοποθετούνται με σειρά προτεραιότητας, από αριστερά προς τα δεξιά, σε ξεχωριστά διαμερίσματα, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 2.32.



Σχήμα 2.30



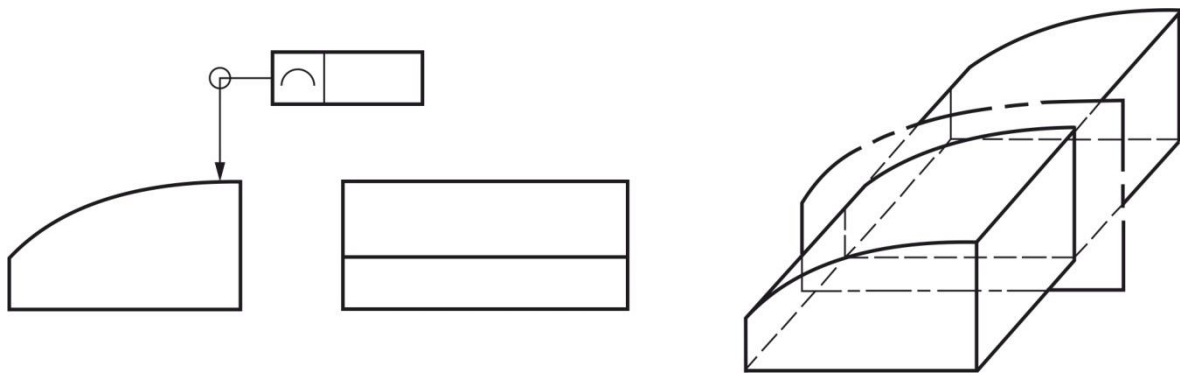
Σχήμα 2.31



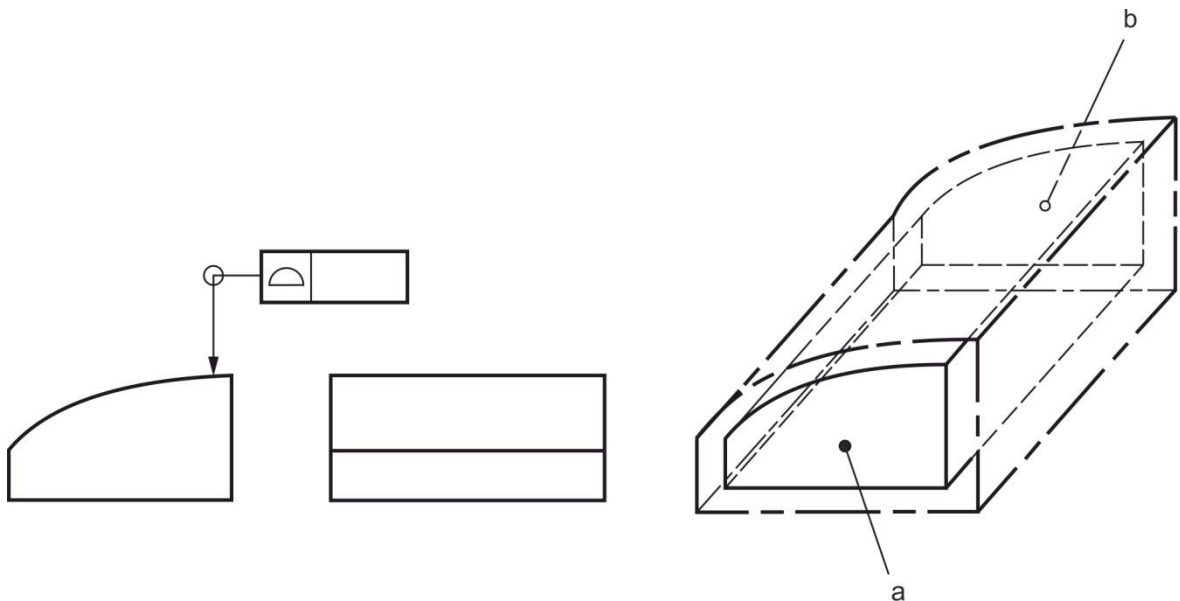
Σχήμα 2.32

2.1.6 Συμπληρωματικές ενδείξεις- προδιαγραφές

Στην περίπτωση κατά την οποία ένα προφίλ χαρακτηριστικών εφαρμόζεται σε ολόκληρη την έκταση του περιγράμματος μίας διατομής ή σε ολόκληρη την επιφάνεια που αναπαριστάται από το περίγραμμα, θα πρέπει να υποδεικνύεται με τη χρήση του σύμβολου «μορφή γραμμής» ή «μορφή επιφάνειας» αντίστοιχα, όπως στα σχήματα 2.33, και 2.34.



Σχήμα 2.33

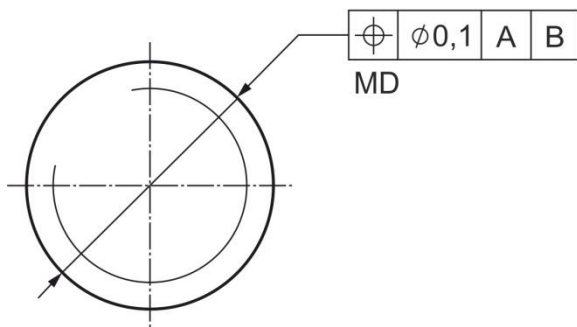


Σχήμα 2.34

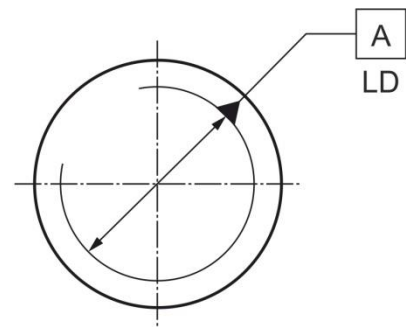
Τα δύο παραπάνω σύμβολα δεν αναφέρονται σε ολόκληρο το τεμάχιο αλλά μόνο στην επιφάνεια που αναπαριστάται από το περίγραμμα και προσδιορίζεται από την αντίστοιχη ένδειξη ανοχής όπως παρουσιάζεται στα σχήματα 2.33 και 2.34.

Σημείωση: Στο σχήμα 2.34 η γραμμή η οποία αποτελείται από μακριές και εν συνεχεία κοντές παύλες διαδοχικά, υποδεικνύει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Οι επιφάνειες a και b δεν εμπεριέχονται.

Ανοχές και επίπεδα που προορίζονται για σπειρώματα, τοποθετούνται σε άξονες οι οποίοι περικλείονται από κύκλο αναφοράς, έκτος και αν κάτι διαφορετικό υποδεικνύεται. Το σύμβολο «MD» χρησιμοποιείται προκειμένου να συμβολίσει την εξωτερική διάμετρο, ενώ το σύμβολο «LD» την εσωτερική διάμετρο αντίστοιχα όπως φαίνεται στα σχήματα 2.35, και 2.36. Οι ανοχές και τα επίπεδα τα οποία αναφέρονται σε οδοντώσεις και αυλακώσεις οφείλουν να υποδεικνύουν το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό στο οποίο εφαρμόζονται. Για παράδειγμα «PD» για τη διάμετρο βήματος, «MD» για την εξωτερική διάμετρο και «LD» για την εσωτερική διάμετρο.



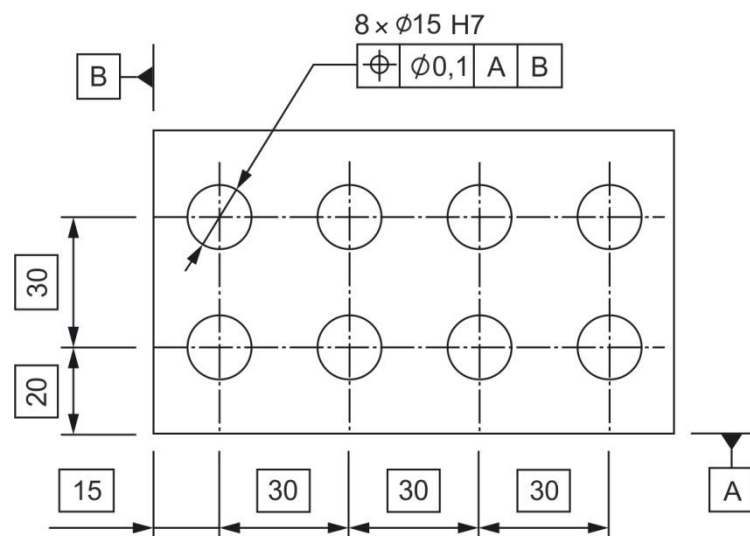
Σχήμα 2.35



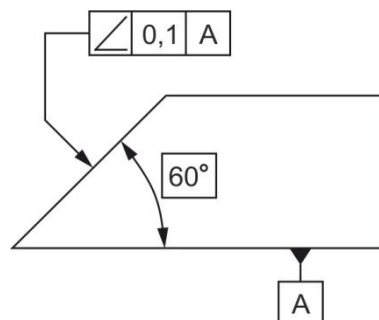
Σχήμα 2.36

2.1.7 Θεωρητικά ακριβείς διαστάσεις

Αν οι ανοχές της θέσης, του προσανατολισμού ή του προφίλ ενός χαρακτηριστικού ή μίας ομάδας χαρακτηριστικών είναι προκαθορισμένες, τότε οι διαστάσεις οι οποίες προσδιορίζουν την ακριβή θέση, προσανατολισμό ή προφίλ αντίστοιχα ονομάζονται θεωρητικά ακριβείς διαστάσεις (TED: theoretically exact dimensions). Οι θεωρητικά ακριβείς διαστάσεις τοποθετούνται επίσης μέσα σε πλαίσιο, όπως στα σχήματα 2.37, και 2.38.



Σχήμα 2.37



Σχήμα 2.38

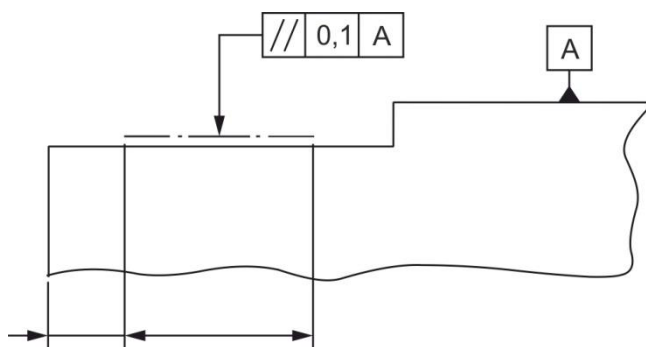
2.1.8 Ενδείξεις – Περιορισμοί

Στην περίπτωση κατά την οποία η ανοχή του ίδιου γνωρίσματος εφαρμόζεται σε ένα περιορισμένο μήκος που βρίσκεται μέσα στην έκταση του χαρακτηριστικού, τότε η τιμή του θα πρέπει να τοποθετείται αμέσως μετά την τιμή της ανοχής με μία κάθετο ενδιάμεσα, σύμφωνα με το σχήμα 2.39a. Αν δύο ή περισσότερες ανοχές του ίδιου γνωρίσματος υποδεικνύονται, μπορούν να τοποθετηθούν ταυτόχρονα, όπως στο σχήμα 2.39b.

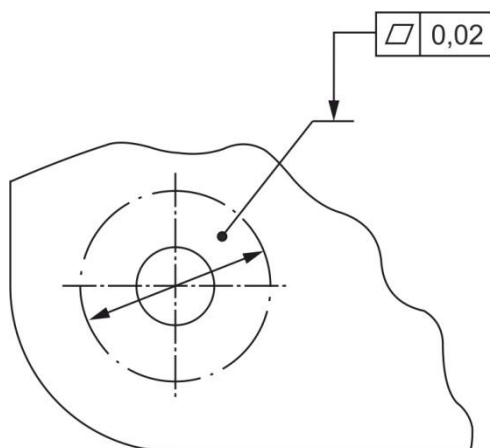


Σχήμα 2.39

Στην περίπτωση που μία ανοχή εφαρμόζεται σε ένα μη επιτρεπτό τμήμα του τεμαχίου, αυτό θα πρέπει να γίνεται εμφανές με τη χρήση μιας γραμμής που αποτελείται από μακρόστενες παύλες και τελείες τοποθετημένες διαδοχικά όπως ακριβώς φαίνεται στα σχήματα 2.40 και 2.41. Επίσης οι διαστάσεις της γραμμής θα πρέπει να αναγράφονται.



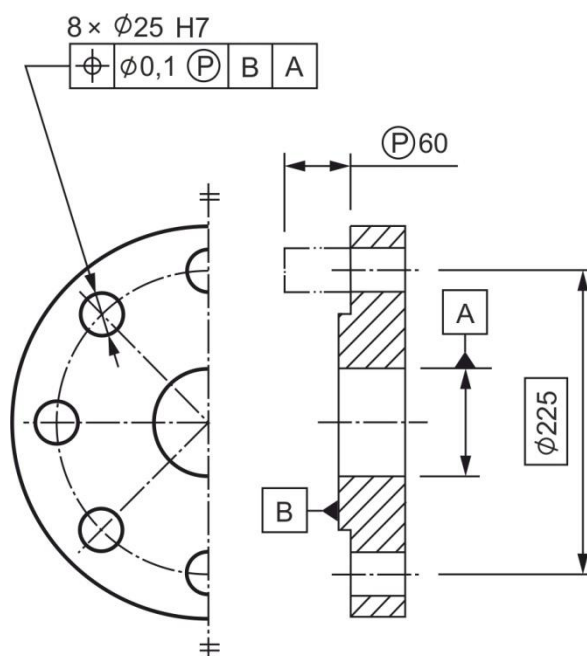
Σχήμα 2.40



Σχήμα 2.41

2.1.9 Προβαλλόμενη ζώνη ανοχής

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι ανοχές θέσης δεν αναφέρονται στο γεωμετρικό στοιχείο στο οποίο έχουν καταχωρηθεί αλλά στην προβολή αυτού. Η προβαλλόμενη ζώνη ανοχής θα πρέπει να υποδεικνύεται με τη χρήση του ειδικού συμβόλου (P), σύμφωνα με το παράδειγμα στο σχήμα 2.42.



Σχήμα 2.42

2.1.10 Μέγιστη απαίτηση σε υλικό

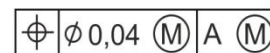
Η μέγιστη απαίτηση σε υλικό πρέπει να υποδεικνύεται από το ειδικό σύμβολο (M). Το σύμβολο αυτό τοποθετείται αμέσως μετά την καθορισμένη τιμή της ανοχής, το γράμμα του επιπέδου ή μετά και από τα δύο, όπως στα σχήματα 2.43, 2.44 και 2.45.



Σχήμα 2.43



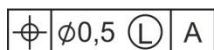
Σχήμα 2.44



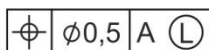
Σχήμα 2.45

2.1.11 Ελάχιστη απαίτηση σε υλικό

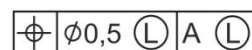
Ομοίως με την μέγιστη απαίτηση σε υλικό, η ελάχιστη απαίτηση σε υλικό υποδεικνύεται από το ειδικό σύμβολο (L), το οποίο τοποθετείται αντίστοιχα αμέσως μετά την καθορισμένη τιμή της ανοχής, το γράμμα του επιπέδου ή μετά και από τα δύο, ακριβώς όπως φαίνεται στα σχήματα 2.46, 2.47 και 2.48.



Σχήμα 2.46



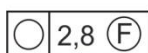
Σχήμα 2.47



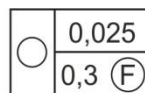
Σχήμα 2.48

2.1.12 Κατάσταση ελεύθερης δήλωσης

Περιπτώσεις μη άκαμπτων τεμαχίων θα πρέπει να υποδεικνύονται με τη χρήση του συμβόλου (F), το οποίο τοποθετείται αμέσως μετά την τιμή της ανοχής, όπως στα σχήματα 2.49 και 2.50.



Σχήμα 2.49



Σχήμα 2.50

Πολλά σύμβολα (P), (M), (L), (F) και (Q) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα μέσα στο ίδιο πλαίσιο ανοχής ακριβώς όπως στο σχήμα 2.51.



Σχήμα 2.51

2.1.13 Αλληλεξάρτηση γεωμετρικών ανοχών

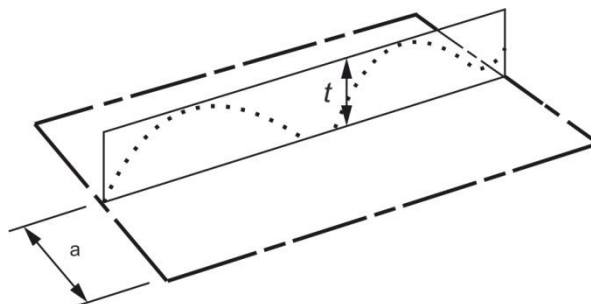
Για λειτουργικούς λόγους, ένα ή και περισσότερα χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να προσδιοριστούν οι γεωμετρικές ανοχές ενός τεμαχίου. Επίσης συγκεκριμένοι τύποι ανοχών, οι οποίοι περιορίζουν τις γεωμετρικές ανοχές ενός χαρακτηριστικού, είναι δυνατό να περιορίσουν και άλλους τύπους αποκλίσεων του ίδιου χαρακτηριστικού. Οι ανοχές θέσης ενός χαρακτηριστικού ελέγχουν την απόκλιση θέσης, την απόκλιση προσανατολισμού και την απόκλιση μορφής αυτού. Επιπρόσθετα, οι ανοχές του προσανατολισμού ενός χαρακτηριστικού προσδιορίζουν τις αποκλίσεις του προσανατολισμού και της απόκλισης, ενώ το αντίθετο δεν ισχύει. Οι ανοχές μορφής ενός χαρακτηριστικού ελέγχουν μόνο τις αποκλίσεις μορφής αυτού.

2.2 Παραδείγματα γεωμετρικών ανοχών

Σε αυτή την ενότητα θα δοθεί μία διεξοδική επεξήγηση των διάφορων γεωμετρικών ανοχών και των ζωνών ανοχής αυτών, βασισμένη σε παραδείγματα. Κάθε ένα από τα ακόλουθα σχήματα έπεται από ένα σχήμα το οποίο αποτελεί μία επιπρόσθετη ένδειξη ή διευκρίνιση του.

—	Ανοχές ευθυγραμμότητας
---	------------------------

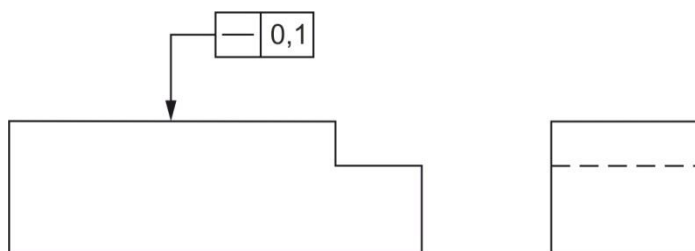
Η ζώνη ανοχής στο ακόλουθο επίπεδο ορίζεται από δύο παράλληλες ευθείες γραμμές οι οποίες έχουν μεταξύ τους απόσταση t προς την κατεύθυνση την οποία υποδεικνύουν τα βέλη.



a) Οποιαδήποτε απόσταση

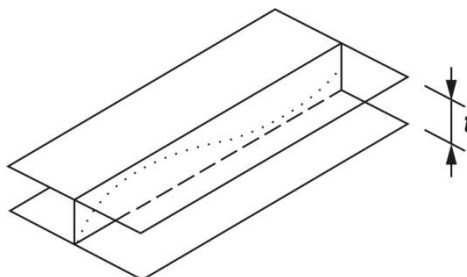
Σχήμα 2.52α

Κάθε γραμμή στην πάνω επιφάνεια του ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου προς την κατεύθυνση που δείχνει το βέλος πρέπει να βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων γραμμών σε απόσταση 0.1.



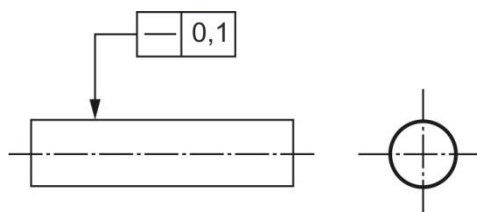
Σχήμα 2.52β

Η ζώνη ανοχής περιορίζεται από δύο παράλληλα επίπεδα τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση t .



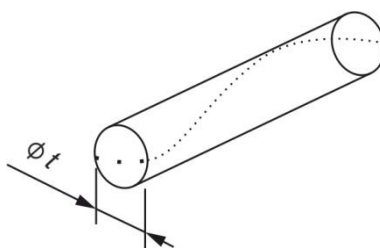
Σχήμα 2.53α

Κάθε γενέτειρα γραμμή πάνω στην κυλινδρική επιφάνεια πρέπει να βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων επιπέδων που απέχουν μεταξύ τους απόσταση 0.1.



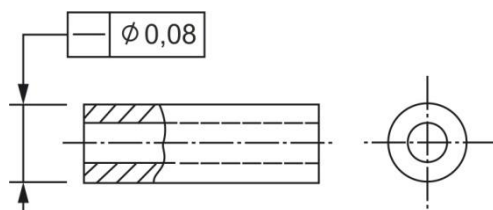
Σχήμα 2.53β

Στην περίπτωση που η τιμή της ανοχής προηγείται από το σύμβολο ϕ , τότε η ζώνη ανοχής περιορίζεται από έναν κύλινδρο διαμέτρου t .



Σχήμα 2.54α

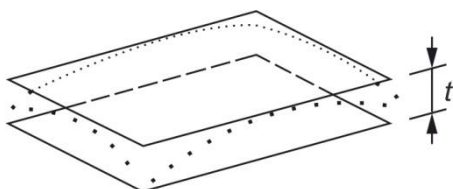
Ο άξονας του κυλίνδρου στον οποίο αναφέρεται η ανοχή πρέπει να βρίσκεται μέσα σε μία κυλινδρική ζώνη διαμέτρου 0.08.



Σχήμα 2.54β

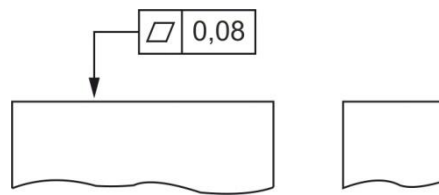
	Ανοχές επιπεδότητας
--	---------------------

Η ζώνη ανοχής πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο παράλληλα επίπεδα απόστασης t μεταξύ τους.



Σχήμα 2.55α

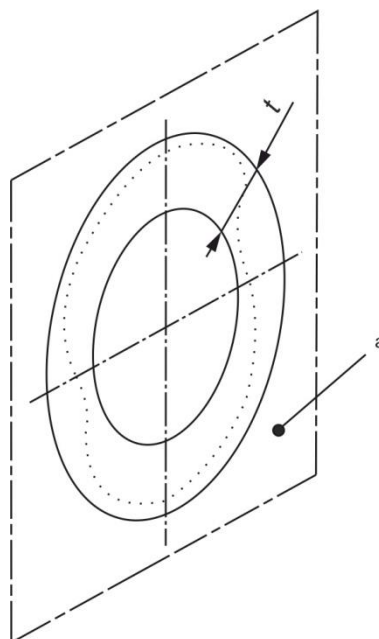
Η εξαγόμενη επιφάνεια πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο παράλληλα επίπεδα απόστασης 0.08 μεταξύ τους.



Σχήμα 2.55β

○	Ανοχές κυκλικότητας
---	---------------------

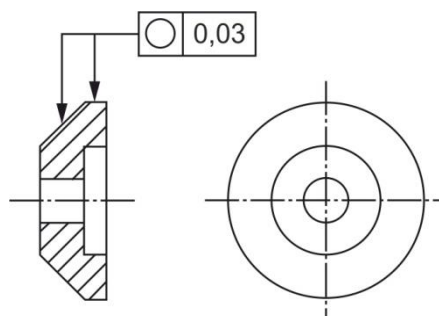
Η ζώνη ανοχής στην ακόλουθη διατομή πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ομόκεντρους κύκλους με διαφορά ακτίνας t .



a) Οποιαδήποτε εγκάρσια τομή.

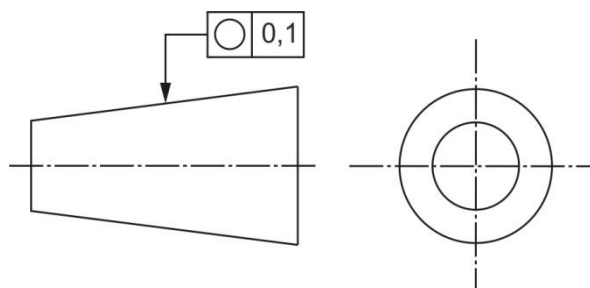
Σχήμα 2.56α

Η περιμετρική γραμμή σε κάθε μία από τις κυλινδρικές και κωνικές επιφάνειες, πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ομοεπίπεδους, ομόκεντρους κύκλους με διαφορά ακτίνας 0.03.



Σχήμα 2.56β

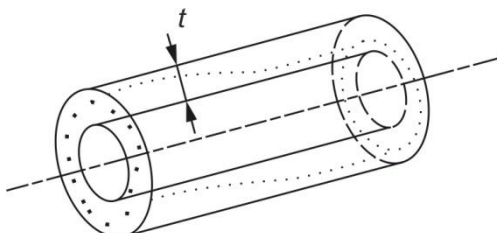
Η περιμετρική γραμμή σε κάθε μία από τις κωνικές επιφάνειες πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δυο ομοεπίπεδους, ομόκεντρους κύκλους με διαφορά ακτίνας 0.1.



Σχήμα 2.56γ

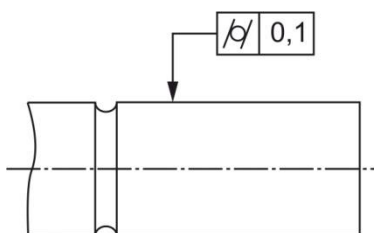
M	Ανοχές κυλινδρικότητας
------------	------------------------

Η ζώνη ανοχής ορίζεται από δύο ομόκεντρους κύκλους με διαφορά ακτίνας t .



Σχήμα 2.57α

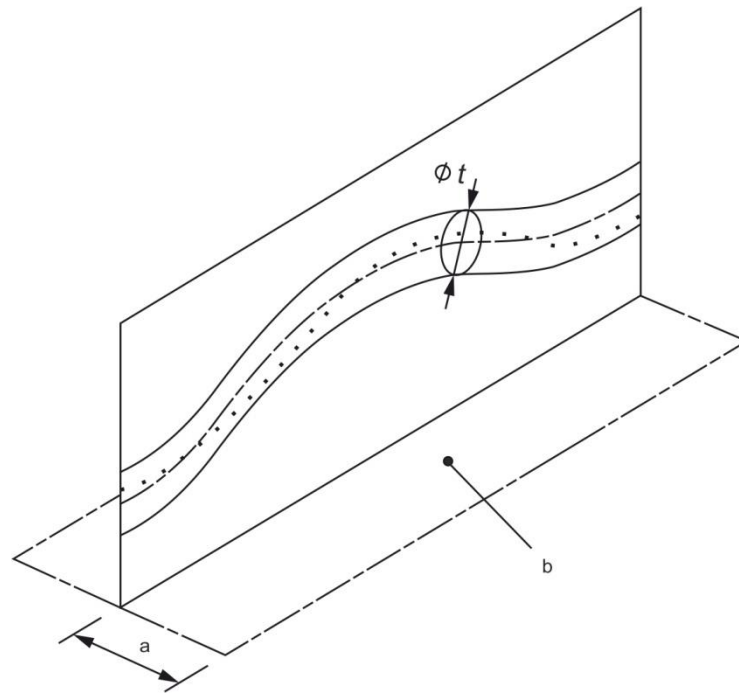
Η κυλινδρική επιφάνεια πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ομοαξονικούς κυλίνδρους με διαφορά ακτίνας 0,1.



Σχήμα 2.57β

M	Ανοχές μορφής γραμμής
------------	-----------------------

Η ζώνη ανοχής ορίζεται από δύο γραμμές οι οποίες εμπεριέχουν ανάμεσα τους κύκλους διαμέτρου t . Το κέντρο των κύκλων βρίσκεται πάνω σε γραμμή, η οποία έχει θεωρητικά όμοια γεωμετρική μορφή με τις γραμμές στις οποίες βρίσκεται ανάμεσα, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 2.61α.

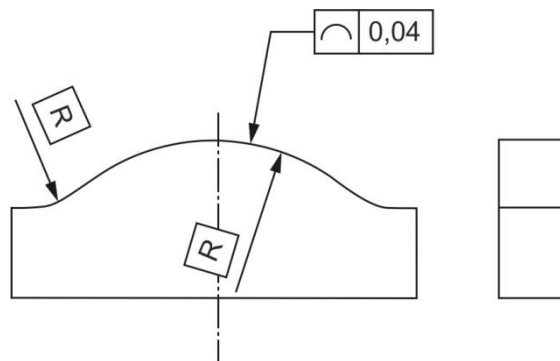


b) Οποιαδήποτε απόσταση.

a) Επίπεδο κάθετο στην επιφάνεια σχεδίασης του σχήματος 2.58β.

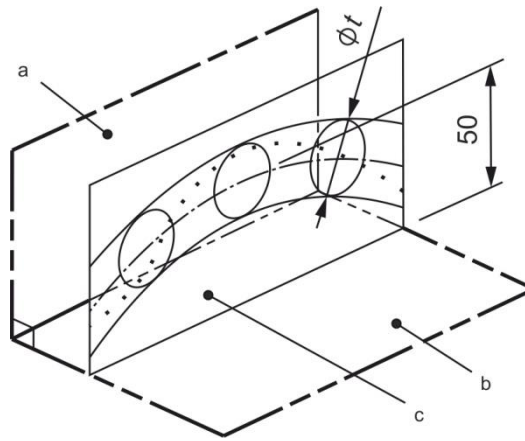
Σχήμα 2.58α

Σε κάθε τμήμα παράλληλο στο επίπεδο που προβάλλεται, η γραμμή του προφίλ πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ισαπέχουσες γραμμές οι οποίες εμπεριέχουν κύκλους διαμέτρου 0,04. Τα κέντρα των κύκλων βρίσκονται πάνω στη γραμμή, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 2.58α.



Σχήμα 2.58β

Η ζώνη ανοχής ορίζεται από δύο γραμμές οι οποίες εμπεριέχουν κύκλους διαμέτρου t . Το κέντρο των κύκλων βρίσκεται πάνω σε γραμμή με θεωρητικά ακριβείς διαστάσεις μορφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.59α.



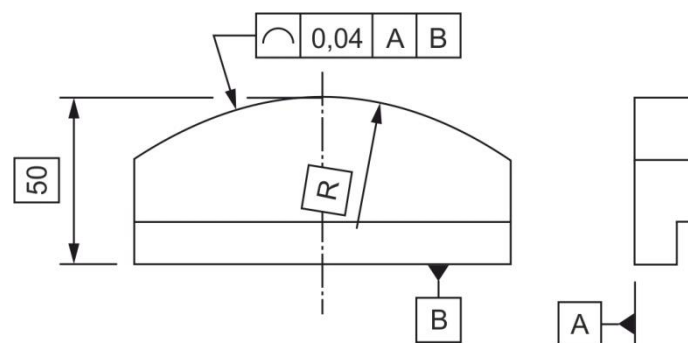
a) Επίπεδο A

b) Επίπεδο B

c) Επιφάνεια παράλληλη στο επίπεδο A

Σχήμα 2.59α

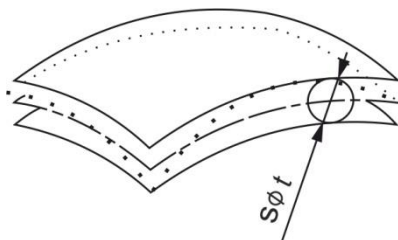
Σε κάθε τμήμα παράλληλο στο επίπεδο που προβάλλεται, η γραμμή του προφίλ πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ισαπέχουσες γραμμές οι οποίες εμπεριέχουν κύκλους διαμέτρου 0,04. Τα κέντρα των κύκλων βρίσκονται πάνω στη γραμμή η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 2.59α.



Σχήμα 2.59β

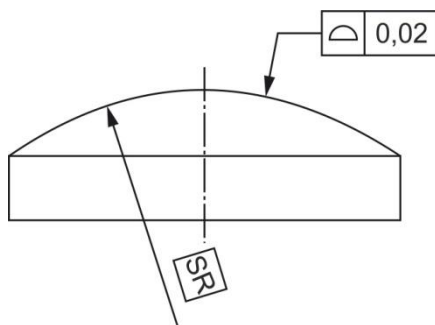
D	Ανοχές μορφής επιφάνειας
---	--------------------------

Η ζώνη ανοχής ορίζεται από δύο επιφάνειες οι οποίες εμπεριέχουν σφαίρες διαμέτρου t . Το κέντρο των σφαιρών βρίσκεται πάνω σε επίπεδο το οποίο έχει θεωρητικά όμοια γεωμετρική μορφή με τα επίπεδα που το περικλείουν.



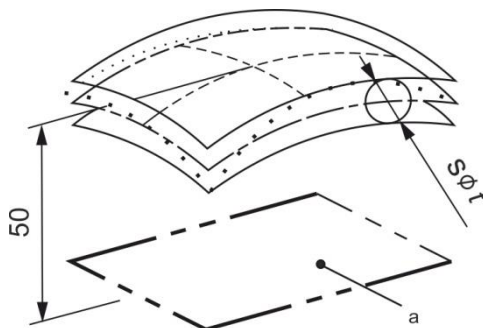
Σχήμα 2.60α

Η επιφάνεια στην οποία αναφέρεται η ανοχή πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ισαπέχουσες επιφάνειες που περικλείουν σφαίρες διαμέτρου 0,02, το κέντρο των οποίων βρίσκεται πάνω σε επιφάνεια όπως φαίνεται στο σχήμα 2.620α.



Σχήμα 2.60β

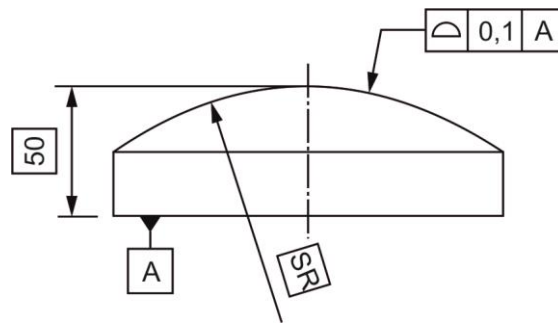
Η ζώνη ανοχής ορίζεται από δύο επίπεδα τα οποία εμπεριέχουν ανάμεσα τους σφαίρες διαμέτρου t . Το κέντρο των σφαιρών βρίσκεται πάνω σε επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.61α



a) Επίπεδο A

Σχήμα 2.61α

Η επιφάνεια στην οποία αναφέρεται η ανοχή πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ισαπέχουσες επιφάνειες οι οποίες περικλείουν σφαίρες διαμέτρου 0,1, το κέντρο των οποίων βρίσκεται πάνω σε επιφάνεια όπως φαίνεται στο σχήμα 2.76β.



Σχήμα 2.61β

3. ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΤΗΤΑ

Η κυλινδρική μορφή αποτελεί μια από τις ανοχές μορφής, η οποία μας βοηθά να καθορίσουμε με ακρίβεια την κατασκευή μιας συγκεκριμένης γεωμετρικής μορφής. Ειδικότερα αναφέρετε στην απόσταση δυο ομοαξονικών κυλίνδρων ανάμεσα στους οποίους θα πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία της εξωτερικής επιφάνειας ενός κυλίνδρου.

3.1 Λεξιλόγιο και παράμετροι κυλινδρικών μορφών

Ως **Κυλινδρική** ορίζουμε την ιδιότητα η οποία καθορίζει την ανοχή βάσει της οποίας μία κυκλική γραμμή ή ακμή που μπορεί να είναι περιφέρεια ή τόξο, γίνεται αποδεκτή ως κύκλος ή τόξο κύκλου.

3.1.1 Γεωμετρικές προδιαγραφές προϊόντος

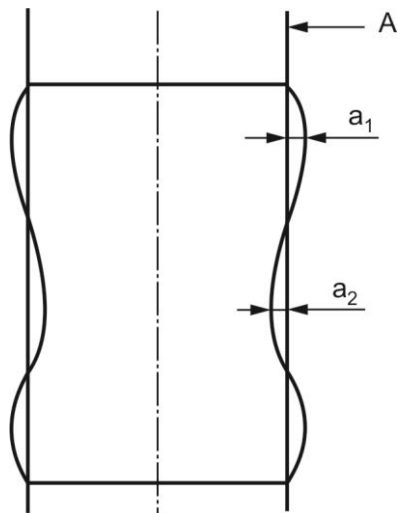
Οι γεωμετρικές προδιαγραφές αφορούν στα χαρακτηριστικά τα οποία διέπουν ένα τεμάχιο και είναι οι εξής:

- **Κύκλος ονομαστικής διαμέτρου:** Ο κύλινδρος του οποίου ο άξονας δημιουργεί ορθή γωνία με κάθε κυκλική διατομή κατά μήκος αυτού.
- **Κύκλος αναφοράς:** Ο κύκλος ο οποίος εφαρμόζει απόλυτα στην κυκλική διατομή, σύμφωνα με καθορισμένες συμβάσεις. Οι παράμετροι της κυκλικότητας καθώς και οι αποκλίσεις αυτής ορίζονται.
- **Επίπεδο κυκλικότητας:** Επίπεδο το οποίο είναι κάθετο στον άξονα κυκλικότητας σε όλη την έκταση του κυλίνδρου αντικείμενου.
- **Επίπεδο γενέτειρας καμπύλης:** Το μισό τμήμα του επιπέδου, το οποίο χωρίζεται στη μέση από τον άξονα του κυλίνδρου.

3.1.2 Ορισμοί που σχετίζονται με την επιφάνεια

Οι ακόλουθοι ορισμοί συμβάλουν ώστε να είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της εκάστοτε επιφάνειας προς κατεργασία.

- **Πραγματική επιφάνεια τεμαχίου** Τα ενοποιημένα χαρακτηριστικά τα οποία απαρτίζουν την πραγματική επιφάνεια ενός τεμαχίου.
- **Εξαγόμενη επιφάνεια:** Η ψηφιακή αναπαράσταση της πραγματικής επιφάνειας.
- **Κυλινδρική επιφάνεια:** Η εξαγόμενη επιφάνεια η οποία έχει σκόπιμα τροποποιηθεί από ένα φίλτρο.
- **Τυπική απόκλιση κυλινδρικότητας (local cylindricity deviation LCD):** Η απόκλιση ενός σημείου της κυλινδρικής επιφάνειας από τον κύκλο αναφοράς, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Η απόκλιση χαρακτηρίζεται ως αρνητική στην περίπτωση που το σημείο βρίσκεται σε τμήμα του υλικού εξωτερικό του κυλίνδρου αναφοράς όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.

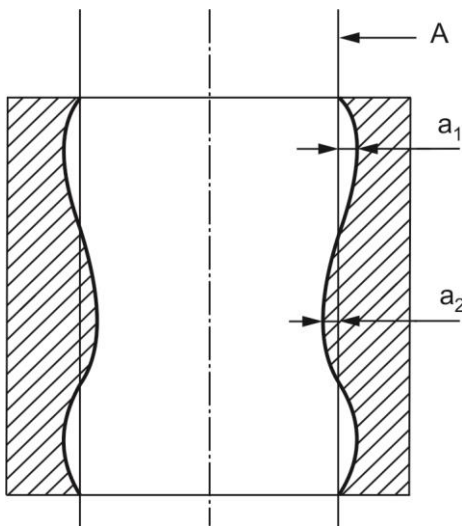


A: Κύλινδρος αναφοράς

a_1 : Θετική τυπική απόκλιση

a_2 : Αρνητική τυπική απόκλιση

Σχήμα 3.1: Τυπική απόκλιση εξωτερικά του κυλινδρικού τεμαχίου



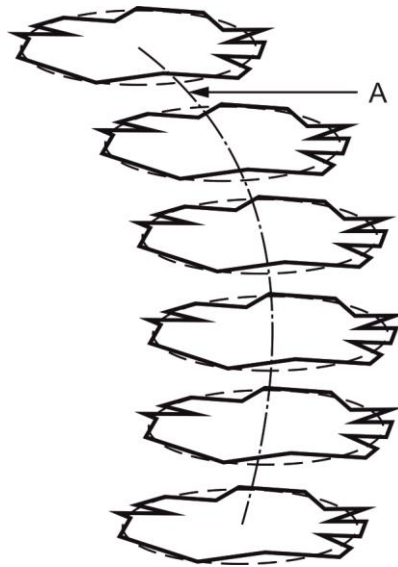
A: Κύλινδρος αναφοράς

a_1 : Θετική τυπική απόκλιση

a_2 : Αρνητική τυπική απόκλιση

Σχήμα 3.2 : Τυπική απόκλιση εσωτερικά του κυλινδρικού τεμαχίου

- **Κυκλικό προφίλ:** Η εξαγόμενη περιφερειακή γραμμή η οποία είναι σκόπιμα τροποποιημένη από ένα φίλτρο.
- **Προφίλ γενέτειρας:** Η εξαγόμενη γενέτειρα γραμμή η οποία είναι σκόπιμα τροποποιημένη από ένα φίλτρο.
- **Μέση γραμμή κυλίνδρου:** Ο γεωμετρικός τόπος ο οποίος αποτελείται από τα κέντρα των εγκάρσιων τόμων, όπου:
 - Το κέντρο κάθε εγκάρσιας τομής αποτελεί ταυτόχρονα και το κέντρο του αντιστοίχου κύκλου.
 - Οι εγκάρσιες τομές είναι κάθετες στην διεύθυνση του άξονα του κυλίνδρου που παράγεται από την εξαγόμενη επιφάνεια. (Η ακτίνα μπορεί να διαφέρει από την ονομαστική ακτίνα)



A: Εξαγόμενη μέση γραμμή κυλίνδρου

Σχήμα 3.3: Εξαγόμενη μέση γραμμή κυλίνδρου

3.1.3 Ορισμοί που σχετίζονται με τον κύλινδρο αναφοράς

Κύλινδρος αναφοράς ονομάζεται η διάταξη κυλίνδρου η οποία εφαρμόζει απόλυτα στην κυλινδρική επιφάνεια σύμφωνα με καθορισμένες συμβάσεις. Οι αποκλίσεις από την κυλινδρική μορφή καθώς και οι παράμετροι της κυλινδρικότητας ορίζονται και είναι οι εξής:

- **Ελάχιστη ζώνη κυλίνδρου αναφοράς:** Δημιουργείται από δυο ομοαξονικούς κυλίνδρους οι όποιοι περικλείουν την κυλινδρική επιφάνεια και έχουν μεταξύ τους την ελάχιστη δυνατή ακτινική διάφορα.
- **Εξωτερική ελάχιστη ζώνη κυλίνδρου αναφοράς:** Ο εξωτερικός κύλινδρος ο οποίος ορίζει την ελάχιστη ζώνη του κυλίνδρου αναφοράς.
- **Εσωτερική ελάχιστη ζώνη κυλίνδρου αναφοράς:** Ο εσωτερικός κύλινδρος ο οποίος ορίζει την ελάχιστη ζώνη του κυλίνδρου αναφοράς.
- **Μέση ελάχιστη ζώνη κυλίνδρου αναφοράς:** Η αριθμητική μέση τιμή του κυλίνδρου που ορίζει την ελάχιστη ζώνη του κυλίνδρου αναφοράς.
- **Κύλινδρος αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων:** Κύλινδρος του οποίου το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων της κυλινδρικότητας να είναι ελάχιστο.
- **Ελάχιστος περιγεγραμμένος κύλινδρος αναφοράς:** Ο μικρότερος κύλινδρος ο οποίος μπορεί να εφαρμόσει γύρο από την κυλινδρική επιφάνεια.
- **Μέγιστος εγγεγραμμένος κύλινδρος αναφοράς:** Ο μεγαλύτερος κύλινδρος ο οποίος μπορεί να εφαρμόσει στο εσωτερικό της κυλινδρικής επιφάνειας. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ο μέγιστος εγγεγραμμένος κύλινδρος αναφοράς δεν είναι μοναδικός.

3.1.4 Όροι σχετικοί με την περίμετρο και τη γενέτειρα

- **Κυματισμοί ανά στροφή:** Ο αριθμός των ημιτονοειδών κυματισμών που περιέχονται σε ένα κυκλικό προφίλ.
- **Περιφερικό μήκος κύματος:** Τα τμήματα της περιφέρειας του κύκλου αναφοράς τα οποία χωρίζονται από τους ημιτονοειδείς κυματισμούς.
- **Μήκος κύματος γενέτειρας:** Το μήκος γενέτειρας το οποίο διαιρείται από τον αριθμό ημιτονοειδών κυματισμών κατά μήκος αυτής.

Σημείωση: Ο αριθμός ημιτονοειδών κυματισμών δεν είναι πάντα ακέραιος αριθμός.

3.1.5 Ορισμοί που σχετίζονται με την λειτουργία των φίλτρων

- **Φίλτρο κυματομορφής:** Φίλτρο που εφαρμόζεται σε ένα κλειστό προφίλ το οποίο εκπέμπει ένα εύρος ημιτονοειδών κυματισμών, των οποίων η αναλογία πλάτους εισόδου και εξόδου είναι γνώστες. Καθώς το εύρος των κυματισμών μειώνεται η αναλογία τους τείνει να βρεθεί εκτός εμβέλειας στα άκρα.
- **Φίλτρο προφίλ:** Φίλτρο το οποίο εφαρμόζεται πάνω σε ένα ανοικτό προφίλ, που εκπέμπει ένα εύρος ημιτονοειδών κυματισμών, των οποίων η αναλογία πλάτους εισόδου και εξόδου είναι γνωστή. Καθώς το εύρος των κυματισμών μειώνεται η αναλογία τους τείνει να βρεθεί εκτός εμβέλειας στα άκρα.

3.1.6 Γενικές παράμετροι

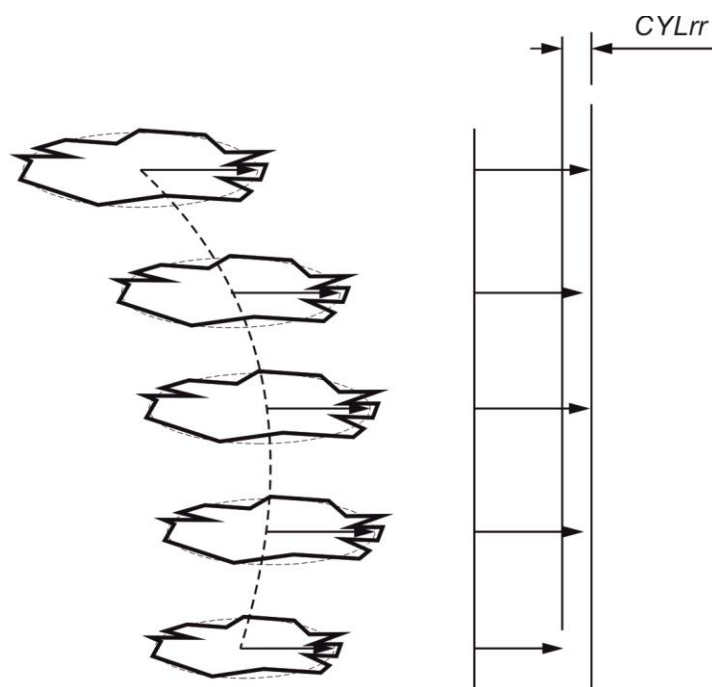
- **Απόκλιση κορυφής- κοιλάδας κυλινδρικότητας:** Το άθροισμα της μέγιστης θετικής με τη μέγιστη απόλυτη αρνητική τιμή της τυπικής κυλινδρικής απόκλισης .
- **Απόκλιση γραμμής αναφοράς – κορυφής κυλινδρικότητας:** Η τιμή της μέγιστης αρνητικής κυλινδρικής απόκλισης από τον κύλινδρο αναφοράς, η οποία προκύπτει με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.
- **Απόκλιση γραμμής αναφοράς – κοιλάδας κυλινδρικότητας:** Η απόλυτη τιμή της μεγαλύτερης θετικής τυπικής απόκλισης, από τον κύλινδρο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

Σημείωση: Η απόκλιση γραμμής αναφοράς – κοιλάδας κυλινδρικότητας ορίζεται μόνο για κυλίνδρους αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

- **Ενεργός τιμή απόκλισης κυλινδρικότητας (CYLq):** Η τετραγωνική ριζά του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων της κυλινδρικότητας, από τον κύλινδρο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

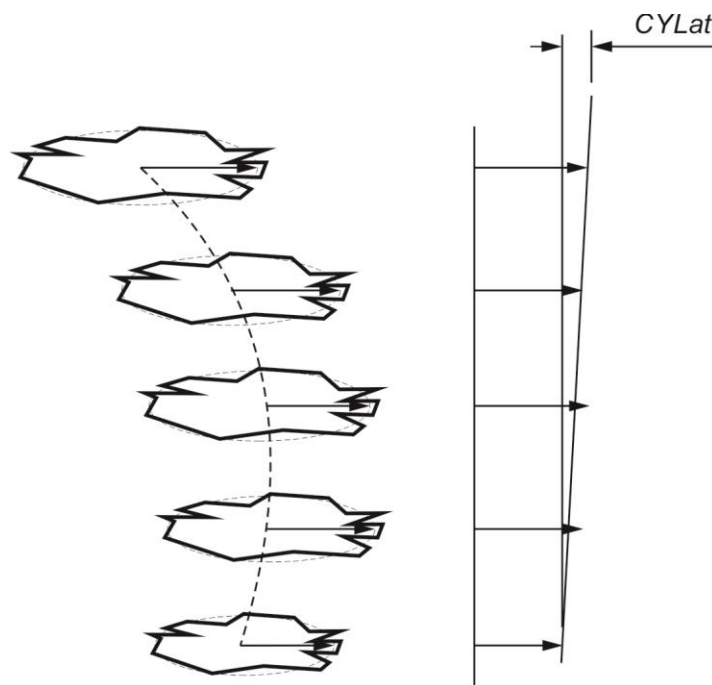
$$CYLq = \sqrt{\frac{1}{A} \int_A LCD^2 dA}$$

- **Ακτίνα κορυφής - κοιλάδας κυλίνδρου:** Η διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης τυπικής ακτίνας.



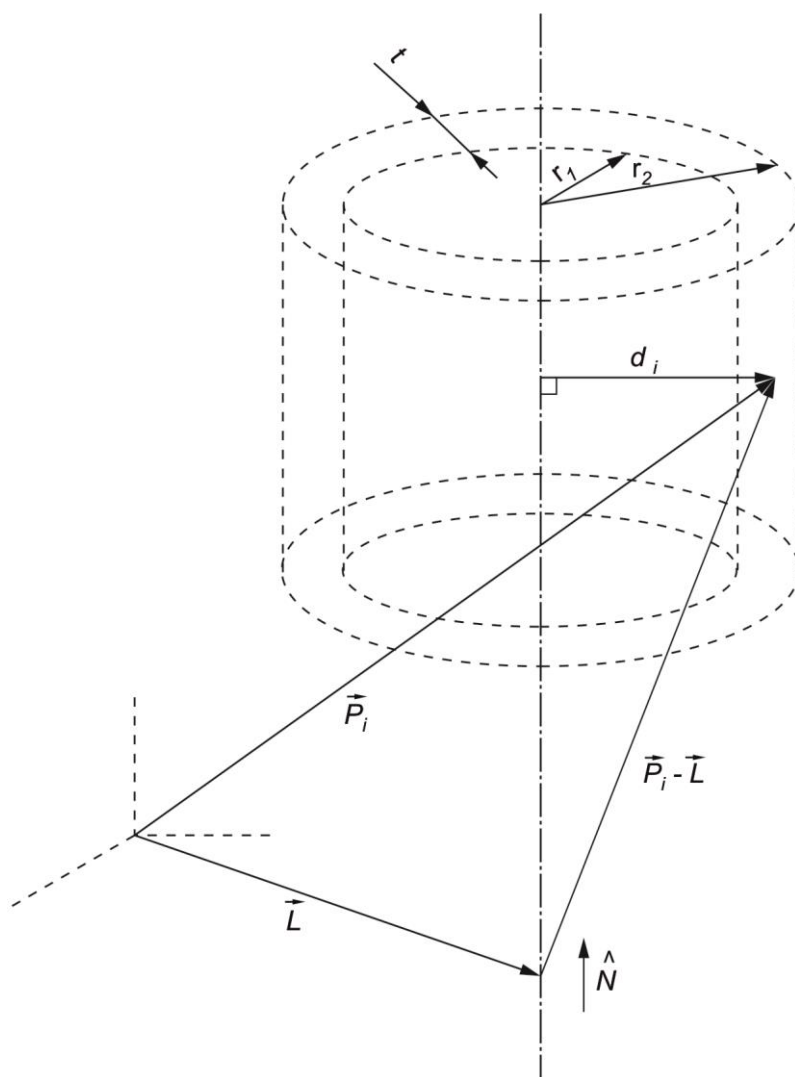
Σχήμα 3.5: Ακτίνα κορυφής - κοιλάδας κυλίνδρου

- **Γωνία κωνικής κλίσης κυλίνδρου:** Η γωνία η που σχηματίζεται ανάμεσα στον άξονα αναφοράς και την νοητή προέκταση της τυπικής ακτίνας.



Σχήμα 3.6 : Γωνία κωνικής κλίσης κυλίνδρου

3.2 Μαθηματικός προσδιορισμός της κυλινδρικής απόκλισης ενοποιημένων χαρακτηριστικών



Σχήμα 3.7: κυλινδρική απόκλιση τεμαχίου ενοποιημένων χαρακτηριστικών

Η ζώνη ανοχής της κυλινδρικότητας ενός ενοποιημένου χαρακτηριστικού ονομαστικής διαμέτρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7 αποτελείται από ένα σύνολο σημείων P_i , τα οποία τηρούν τις εξής προϋποθέσεις:

\vec{L}, \hat{N}

Σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων, ένας άξονας ορίζεται από ένα σημείο \vec{L} και ένα διάνυσμα κατεύθυνσης \hat{N} .

$$d_i = | \hat{N} \times (\vec{P}_i - \vec{L}) |$$

Τα σημεία \vec{P}_i απέχουν ακτινική απόσταση d_i από τον άξονα.

$$r_1 \leq d_i \leq r_2$$

Τα σημεία \vec{P}_i πρέπει να βρίσκονται ανάμεσα σε δυο ομοαξονικούς κυλίνδρους ακτίνας r_1 και r_2 αντίστοιχα, των οποίων το κέντρο βρίσκεται πάνω στον άξονα.

$$t = r_2 - r_1, r_2 > r_1$$

Η διαφορά της ακτίνας των δυο ομοαξονικών κυλίνδρων ισούται με την ανοχή κυλινδρικότητας t .

3.3 Εκτίμηση απόκλισης κυλινδρικότητας

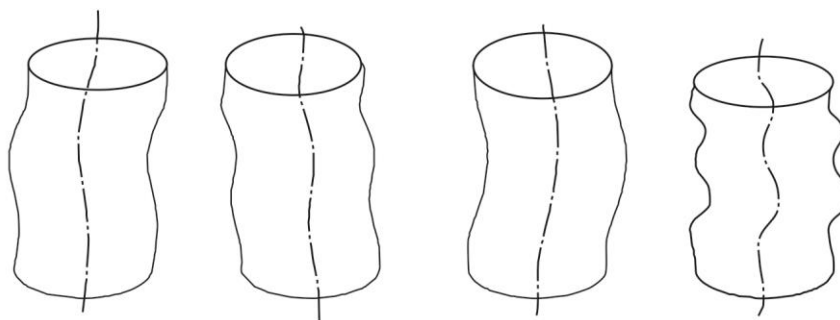
Η ανάλυση σφάλματος θεωρεί πως η πραγματική απόκλιση από την κυλινδρική μορφή οφείλεται στον συνδυασμό ορισμένων απλών στοιχείων, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία σφαλμάτων και λαθών κατά την κατεργασία.

Τα είδη αποκλίσεων μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

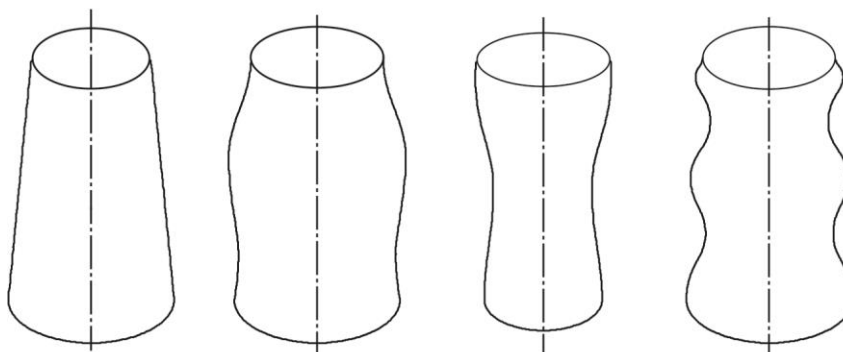
- **Αποκλίσεις κεντρικής γραμμής:** Αναφέρεται στην απόκλιση ενός κυλίνδρου ονομαστικής διαμέτρου, του οποίου ο άξονας είναι κυρτός (είτε με επίπεδο είτε με χορικό τρόπο) και έχει κυκλική διατομή με σταθερή ακτίνα.
- **Αποκλίσεις ακτίνας:** Αναφέρεται στην απόκλιση ενός ονομαστικού κυλινδρικού, προς κατεργασία τεμαχίου του οποίου οι διατομές, ενώ είναι κυκλικές και ομόκεντρες ως προς έναν ευθύ άξονα, έχουν διαμέτρους οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους. Οι διάμετροι ποικίλουν κατά μήκος του άξονα με απλό, περίπλοκο η και τυχαίο τρόπο. (Τυπικές αποκλίσεις αυτής της μορφής περιλαμβάνουν σχήματα κωνικής μορφής, σχήματα με μορφή βαρελιού η και σχήματα τα οποία έχουν ακόμα πιο σύνθετη μορφή.)
- **Αποκλίσεις διατομής:** Αναφέρεται στην απόκλιση ενός ονομαστικού κυλινδρικού, προς κατεργασία τεμαχίου του οποίου ενώ όλες οι διατομές έχουν το ίδιο μέγεθος και την ίδια μορφή, δεν είναι κυκλικές.

Οι βασικές αιτίες αυτών των αποκλίσεων είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό περιλαμβάνουν:

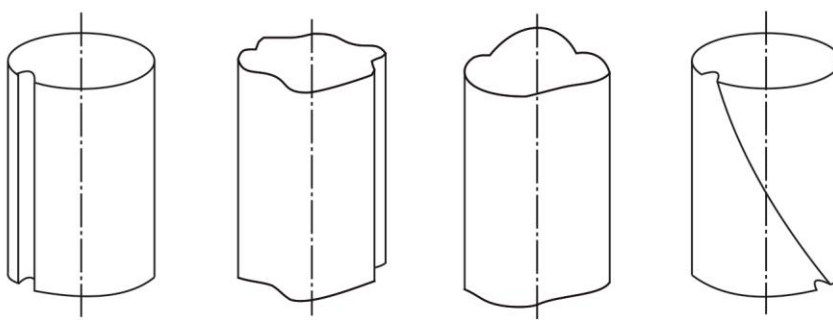
- Λάθη τα οποία προκύπτουν κατά την κατεργασία από την εργαλειομηχανή.
- Παραμορφώσεις οι οποίες προκύπτουν ως αποτέλεσμα θερμικών επιδράσεων και πιέσεων.
- Φθορές εργαλείων.
- Δονήσεις.



α) Αποκλίσεις κεντρικής γραμμής



β) Αποκλίσεις ακτίνας



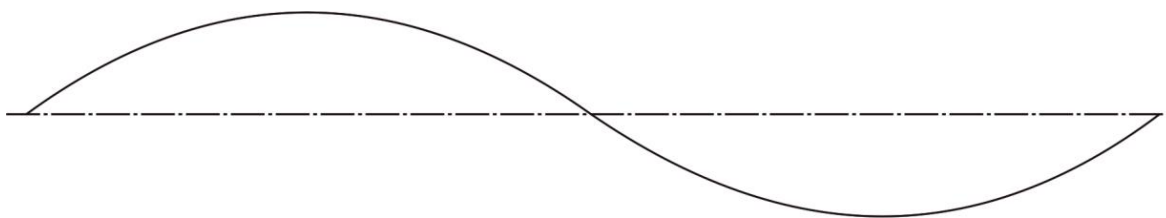
γ) Αποκλίσεις διατομής

Σχήμα 3.8: αποκλίσεις κυλινδρικότητας

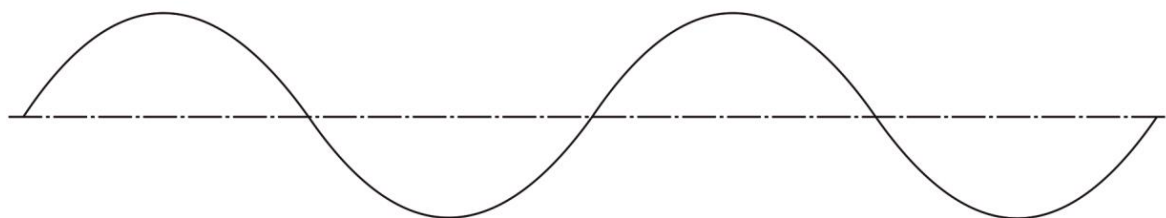
3.4 Αρμονικό περιεχόμενο κυλινδρικού τεμαχίου ονομαστικής διαμέτρου και στρατηγικές εξαγωγής.

3.4.1 Αρμονικό περιεχόμενο

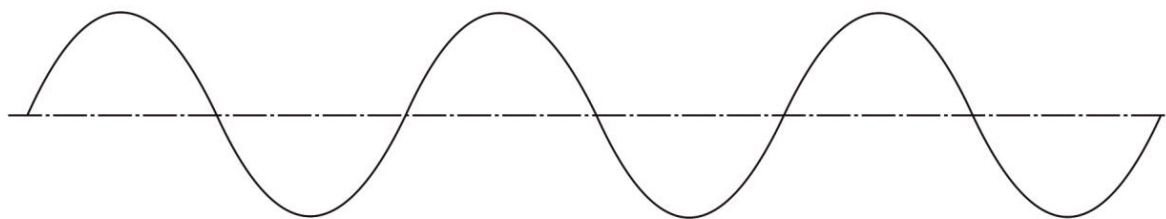
Ένα σήμα πεπερασμένου μήκους μπορεί να αποσυντεθεί σε πολλά ημιτονοειδή τμήματα τα όποια ονομάζονται σειρές Fourier. Μια σειρά Fourier αποτελείται από θεμελιώδη ημιτονοειδή κύματα, των οποίων το μήκος είναι ταυτόχρονα και το μήκος του σήματος· καθώς και από αρμονικά ημιτονοειδή κύματα των οποίων το μήκος διαιρείται σε θεμελιώδη μήκη κύματος. Η θεμελιώδης ημιτονοειδής καμπύλη ονομάζεται πρώτη αρμονική του σήματος. Η ημιτονοειδής καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το μισό του θεμελιώδους μήκους κύματος, ονομάζεται δεύτερη αρμονική. Τέλος, η αρμονική καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το ένα τρίτο του θεμελιώδους μήκους κύματος, ονομάζεται τρίτη αρμονική. Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να συνεχίσουμε στην τέταρτη αρμονική, την πέμπτη αρμονική και ούτω καθεξής. Συνεπώς, η n -οστή αρμονική, συνίσταται από το ημιτονοειδές κύμα, του οποίου το μήκος κύματος διαιρείται σε ακριβώς n θεμελιώδη μήκη κύματος.



α) Πρώτη αρμονική



β) Δεύτερη αρμονική



γ) Τρίτη αρμονική

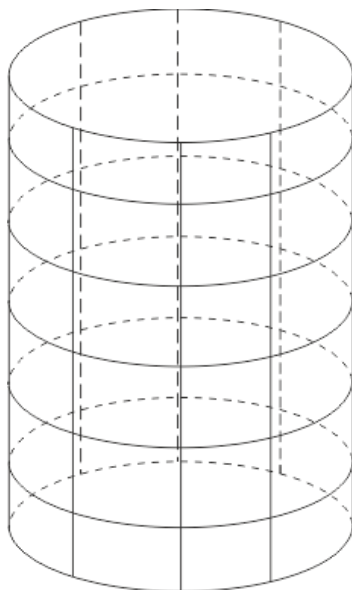
Σχήμα 3.9: Οι τρεις πρώτες αρμόνικες

Ένα διάγραμμα γενέτειρας μπορεί να αποσυντεθεί στα αρμονικά του τμήματα κατά αυτόν τον τρόπο. Ένα κυκλικό προφίλ είναι ελαφρώς διαφορετικό, δεδομένου ότι η αρχή και το τέλος του ενώνονται μεταξύ τους. Στην προκειμένη περίπτωση το θεμελιώδες μήκος κύματος μιας σειράς Fourier θα είναι η περιφέρεια του κύκλου ή ένας κυματισμός ανά

στροφή. Όσο αυξάνεται ο αριθμός της αρμονικής, αντίστοιχα θα αυξάνεται και ο αριθμός κυματισμών ανά στροφή που θα περιέχει. Παραδείγματος χάρη η δεύτερη αρμονική περιέχει δύο κυματισμούς ανά στροφή. Η τρίτη αρμονική περιέχει τρεις κυματισμούς ανά στροφή και ούτω καθεξής. Όλα τα ανωτέρω σήματα τα οποία αποδομούνται σε σειρές Fourier είναι προφίλ, ενώ η επιφάνεια ενός κυλίνδρου είναι περιοχή. Μια περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως ο συνδυασμός δυο προφίλ δεδομένου ότι οι κατευθύνσεις των δυο προφίλ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να καθοριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων για αυτή. Στην περίπτωση που έχουμε κύλινδρο τα δυο προφίλ αποτελούνται από την κυλινδρικότητα και το προφίλ της γενέτειρας. Κάθε θέση πάνω στον κύλινδρο μπορεί να προσδιοριστεί δεδομένων των συντεταγμένων και σε συνάρτηση των αποστάσεων των συντεταγμένων από την περιφέρεια και την γενέτειρα του κυλίνδρου. Με τον ίδιο τρόπο μια περιοχή μπορεί να αποσυμπιεστεί στον συνδυασμό δυο σειρών Fourier. Κάθε ανεξάρτητο τμήμα αυτής της αποσιμπίεσης θα έχει δυο αρμονικούς αριθμούς. Ο πρώτος αναφέρεται στον αριθμό της πρώτης αρμονικής συμφώνα με την κατεύθυνση του πρώτου προφίλ, ενώ ο δεύτερος αντίστοιχα αναφέρεται στη δεύτερη αρμονική συμφώνα με την κατεύθυνση αυτής. Τα ανεξάρτητα τμήματα είναι ένας συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων αρμονικών τμημάτων.

Για έναν κύλινδρο, στην περίπτωση που ο συνδυασμός των συντεταγμένων ορίζεται από την κυκλικότητα και το προφίλ της γενέτειρας η (6,4) αρμονική θα αποτελείται από όρους οι οποίοι είναι συνδυασμός της έκτης αρμονικής του κυκλικού προφίλ (έξι κυματισμοί ανά στροφή) και της τέταρτης αρμονικής του προφίλ της γενέτειρας (τέσσερις κυματισμοί πάνω στη γενέτειρα). Είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπ'οψιν ποιες από αυτές τις αρμονικές βρίσκονται πάνω στο κυλινδρικό τεμάχιο όταν καλούμαστε να προσδιορίσουμε μια κατάλληλη μέθοδο δειγματοληψίας.

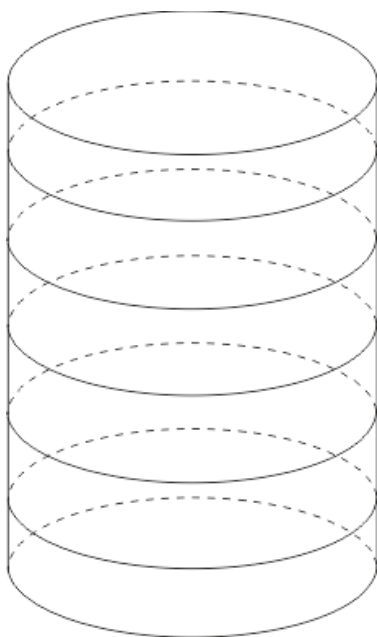
3.4.2 Στρατηγικές εξαγωγής



Μέθοδος εξαγωγής Bird cage

το κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου bird cage είναι η μεγάλη πυκνότητα σημείων κατά μήκος των προφίλ της κυκλικότητας και της γενέτειρας, όπως παρουσιάζεται στο [σχήμα 3.10](#). Παρόλο που η στρατηγική αυτή δεν παρέχει πλήρη κάλυψη της πυκνότητας, έχει την δυνατότητα να αξιολογεί το περιεχόμενο των κυματισμών τόσο προς την διεύθυνση της κυκλικότητας όσο και προς αυτή της γενέτειρας. Ως εκ τούτου αυτή η μέθοδος συνιστάτε ως στρατηγική δειγματοληψίας για την αξιολόγηση του συνόλου των κυλινδρικών τεμαχίων.

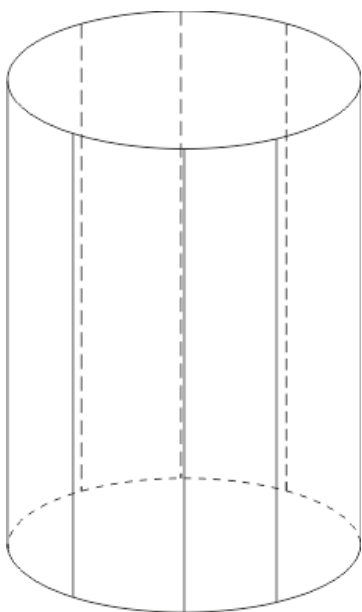
Σχήμα 3.10 : Μέθοδος εξαγωγής Bird cage



Μέθοδος εξαγωγής κυκλικού προφίλ

Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της στρατηγικής εξαγωγής είναι η μεγάλη πυκνότητα σημείων κατά μήκος της περιφέρειας εν συγκρίσει με την πυκνότητα των σημείων κατά μήκος της γενέτειρας, όπως φαίνεται στο [σχήμα 3.11](#). Αυτό το γεγονός δίνει τη δυνατότητα στη μέθοδο αυτή να παρέχει περισσότερες πληροφορίες που αφορούν στην αρμονική της κυκλικότητας συγκριτικά με τις πληροφορίες που δίνει για την αρμονική της γενέτειρας. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη τεχνική προτείνεται στις περιπτώσεις που θέλουμε να δώσουμε ιδιαίτερη έμφαση στις πληροφορίες που αφορούν την κυκλικότητα.

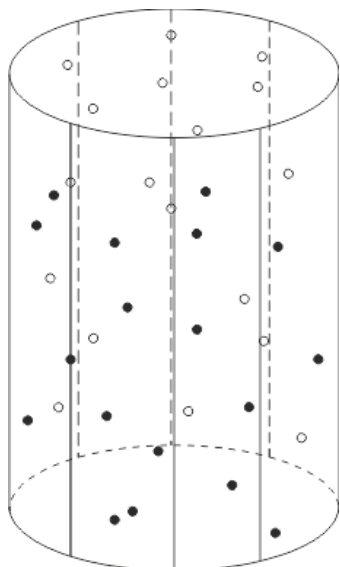
Σχήμα 3.11: Μέθοδος εξαγωγής κυκλικού προφίλ



Μέθοδος εξαγωγής γενέτειρας

Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η μεγάλη πυκνότητα σημείων κατά μήκος της γενέτειρας σε σύγκριση με την πυκνότητα σημείων κατά μήκος της περιφέρειας, όπως ακριβώς φαίνεται στο [σχήμα 3.12](#). Αυτό το γεγονός δίνει την ικανότητα στη μέθοδο αυτή να περιεχέει περισσότερες πληροφορίες για την αρμονική της γενέτειρας από αυτές για την αρμονική της περιφέρειας. Η μέθοδος αυτή προτείνεται όταν θέλουμε να δώσουμε βάση στις πληροφορίες που αφορούν τη γενέτειρα.

Σχήμα 3.12: Μέθοδος εξαγωγής γενέτειρας



Μέθοδος εξαγωγής σημείων

Στη μέθοδο αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.13 η πυκνότητα των σημείων είναι εμφανώς μικρότερη συγκριτικά με τις τρεις προηγούμενες μεθόδους. Το γεγονός αυτό περιορίζει τη δυνατότητα της να παράγει πληροφορίες για το αρμονικό περιεχόμενο του κυλινδρικού τεμαχίου. Ο περιορισμένος αριθμός σημείων δημιουργεί επίσης δυσκολίες κατά το φιλτράρισμα. Για το λόγο αυτό η στρατηγική αυτή δεν συνιστάται παρά μόνο στη περίπτωση που απαιτούνται πληροφορίες για τις παραμέτρους του κυλίνδρου κατά προσέγγιση.

Σχήμα 3.13 : Μέθοδος εξαγωγής σημείων

4. ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ

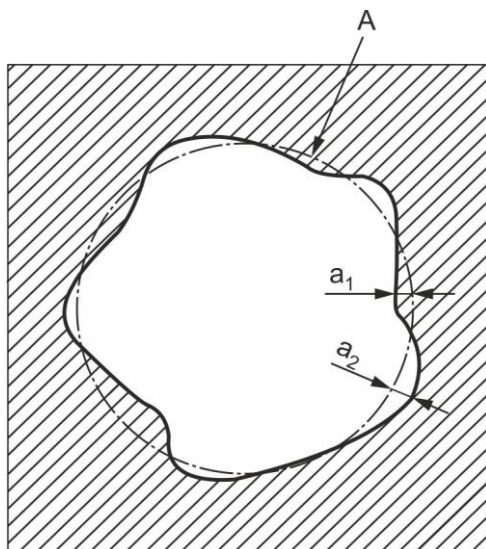
4.1 Γεωμετρικές προδιαγραφές προϊόντος

- **Κυκλικότητα:** Ιδιότητα ενός κύκλου.
- **Άξονας κυκλικότητας:** Ο άξονας ενός κυκλικού τεμαχίου.
- **Επίπεδο κυκλικότητας:** Επίπεδο το οποίο είναι κάθετο στον άξονα κυκλικότητας σε όλη την έκταση του τεμαχίου.

4.1.1 Ορισμοί που σχετίζονται με τα προφίλ

- **Πραγματική επιφάνεια δοκιμίου:** Το σύνολο των ενοποιημένων χαρακτηριστικών που αποτελούν ένα τεμάχιο προς κατεργασία.
- **Εξαγόμενη περιφερειακή γραμμή:** Η ψηφιακή αναπαράσταση των διατομών της πραγματικής επιφάνειας και του επίπεδου κυκλικότητας.
- **Κυκλικό προφίλ:** Η εξαγόμενη περιφερειακή γραμμή, η οποία είναι σκόπιμα τροποποιημένη από ένα φίλτρο.
- **Τυπική απόκλιση κυκλικότητας (local roundness deviation LRD):** Η ελάχιστη απόσταση του κύκλου αναφοράς από ένα σημείο πάνω στο κυκλικό προφίλ, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 και 4.2.

Σημείωση: Η απόκλιση είναι αρνητική όταν το σημείο βρίσκεται εντός του υλικού, αλλά εξωτερικά του κύκλου αναφοράς.



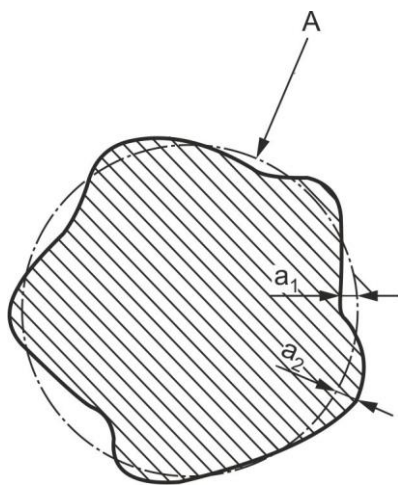
A: Κύκλος αναφοράς
 a_1 : Θετική τυπική απόκλιση
 a_2 : Αρνητική τυπική απόκλιση

Σχήμα 4.1: Τυπική απόκλιση μορφής κυκλικού τεμαχίου

4.1.2 Ορισμοί που σχετίζονται με την επιφάνεια

Οι ακόλουθοι ορισμοί συμβάλλουν ώστε να είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της εκάστοτε επιφάνειας προς κατεργασία.

- **Πραγματική επιφάνεια τεμαχίου:** Το σύνολο των ενοποιημένων χαρακτηριστικών που αποτελούν ένα τεμάχιο προς κατεργασία.
- **Εξαγόμενη επιφάνεια:** Η ψηφιακή αναπαράσταση της πραγματικής επιφάνειας.
- **Κυκλικότητα επιφάνειας:** Η εξαγόμενη επιφάνεια η οποία έχει σκόπιμα τροποποιηθεί από ένα φίλτρο.
- **Τυπική απόκλιση κυλινδρικότητας (local cylindricity deviation LCD):** Η απόκλιση από ένα σημείο που ανήκει στον κύλινδρο αναφοράς. Η απόκλιση είναι πάντα κάθετη ως προς τον κύλινδρο αναφοράς.



A: Κύκλος αναφοράς
 a_1 : Θετική τυπική απόκλιση
 a_2 : Αρνητική τυπική απόκλιση

Σχήμα 4.2: Τυπική απόκλιση μορφής κυκλικού τεμαχίου

Σημείωση: Η απόκλιση είναι αρνητική όταν το σημείο βρίσκεται εντός του υλικού, αλλά εξωτερικά του κύκλου αναφοράς.

4.1.3 Ορισμοί που σχετίζονται με τον κύκλο αναφοράς

- **Κύκλος αναφοράς:** Ο κύκλος ο οποίος εφαρμόζει απόλυτα στην κυκλική διατομή, σύμφωνα με καθορισμένες συμβάσεις. Οι παράμετροι της κυκλικότητας καθώς και οι αποκλίσεις αυτής αναφέρονται.
- **Ελάχιστη ζώνη κύκλου αναφοράς:** Δημιουργείται από ομόκεντρους κύκλους, οι οποίοι περικλείουν το κυκλικό προφίλ και έχουν μεταξύ τους την ελάχιστη δυνατή ακτινική διαφορά.
- **Εξωτερική ελάχιστη ζώνη κύκλου αναφοράς:** Ο εξωτερικός κύκλος της ελάχιστης ζώνης του κύκλου αναφοράς.
- **Εσωτερική ζώνη κύκλου αναφοράς:** Ο εσωτερικός κύκλος της ελάχιστης ζώνης του κύκλου αναφοράς.
- **Μέση ελάχιστη ζώνη κύκλου αναφοράς:** Η αριθμητική μέση τιμή του κύκλου, της ελάχιστης ζώνης του κύκλου αναφοράς.

- **Κύκλοι αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων:** Κύκλος του οποίου το άθροισμα των τετραγώνων των τοπικών κυκλικών αποκλίσεων είναι ελάχιστο.
- **Ελάχιστος περιγεγραμμένος κύκλος αναφοράς:** Ο μικρότερος κύκλος ο οποίος μπορεί να εφαρμόσει απόλυτα γύρω από το κυκλικό προφίλ.
- **Μέγιστος εγγεγραμμένος κύκλος αναφοράς:** Ο μεγαλύτερος κύκλος ο οποίος μπορεί να εφαρμόσει στο εσωτερικό του κυκλικού προφίλ.

4.1.4 Ορισμοί σχετικοί με την περίμετρο

- **Κυματισμοί ανά στροφή:** Ο αριθμός των ημιτονοειδών κυματισμών που περιέχονται σε ένα κυκλικό προφίλ.
- **Περιφερειακό μήκος κύματος:** Τα τμήματα της περιφέρειας του κύκλου αναφοράς τα οποία χωρίζονται από τους ημιτονοειδείς κυματισμούς.
- **Φίλτρο κυματομορφής:** Φίλτρο που εφαρμόζεται σε ένα κλειστό προφίλ το οποίο εκπέμπει ένα εύρος ημιτονοειδών κυματισμών, των οποίων η αναλογία πλάτους εισόδου και εξόδου είναι γνωστές. Καθώς το εύρος των κυματισμών μειώνεται η αναλογία τους τείνει να βρεθεί εκτός εμβέλειας στα άκρα.
- **Χαρακτηριστικά εκπομπής ενός φίλτρου:** Αναπαριστούν το ποσό κατά το οποίο το εύρος ενός ημιτονοειδούς προφίλ μειώνεται ως συνάρτηση της κυματομορφής του.

4.2 Λεξιλόγιο και παράμετροι κυκλικότητας

- **Απόκλιση κορυφής – κοιλάδας κυκλικότητας:** Το άθροισμα της μέγιστης θετικής με τη μέγιστη απόλυτη αρνητική τιμή της τυπικής κυκλικής απόκλισης.
- **Απόκλιση γραμμής αναφοράς – κορυφής κυκλικότητας:** Η τιμή της μέγιστης αρνητικής κυκλικής απόκλισης από τον κύκλο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.
- **Απόκλιση γραμμής αναφοράς – κοιλάδας κυκλικότητας:** Η απόλυτη τιμή της μεγαλύτερης θετικής τυπικής απόκλισης από τον κύκλο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

Σημείωση: Η απόκλιση γραμμής αναφοράς – κοιλάδας κυκλικότητας ορίζεται μόνο για κύκλους αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

- **Μέση τετραγωνική ριζά της κυκλικής απόκλισης (RON_q):** Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των τοπικών κυκλικών αποκλίσεων.

Σημείωση: Η μέση τετραγωνική ρίζα κυκλικής απόκλισης προσδιορίζεται μόνο για κύκλους αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

$$RONq = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} LRD^2 d\theta}$$

Όπου :

LRD : Η τυπική απόκλιση κυκλικότητας.

θ : Η στιγμιαία γωνία του κυκλικού προφίλ.

4.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

$$\vec{A}_j = \vec{L} + c_j \hat{N}$$

Σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων τα σημεία \vec{A}_j βρίσκονται πάνω σε ευθεία (άξονα κυκλικότητας), η οποία ορίζεται από ένα σημείο \vec{L} , το διάνυσμα κατεύθυνσης και την βαθμωτή απόσταση c_j .

$$(\vec{A}'_j - \vec{A}_j) \cdot \hat{N} = 0$$

Τα σημεία \vec{A}'_j βρίσκονται πάνω σε ένα κάθετο (κυκλικό) επίπεδο, το οποίο περιέχει το σημείο \vec{A}_j . Το σημείο \vec{A}'_j αποτελεί το κέντρο του κύκλου αναφοράς.

$$(\vec{P}_i - \vec{A}'_j) \cdot \hat{N} = 0$$

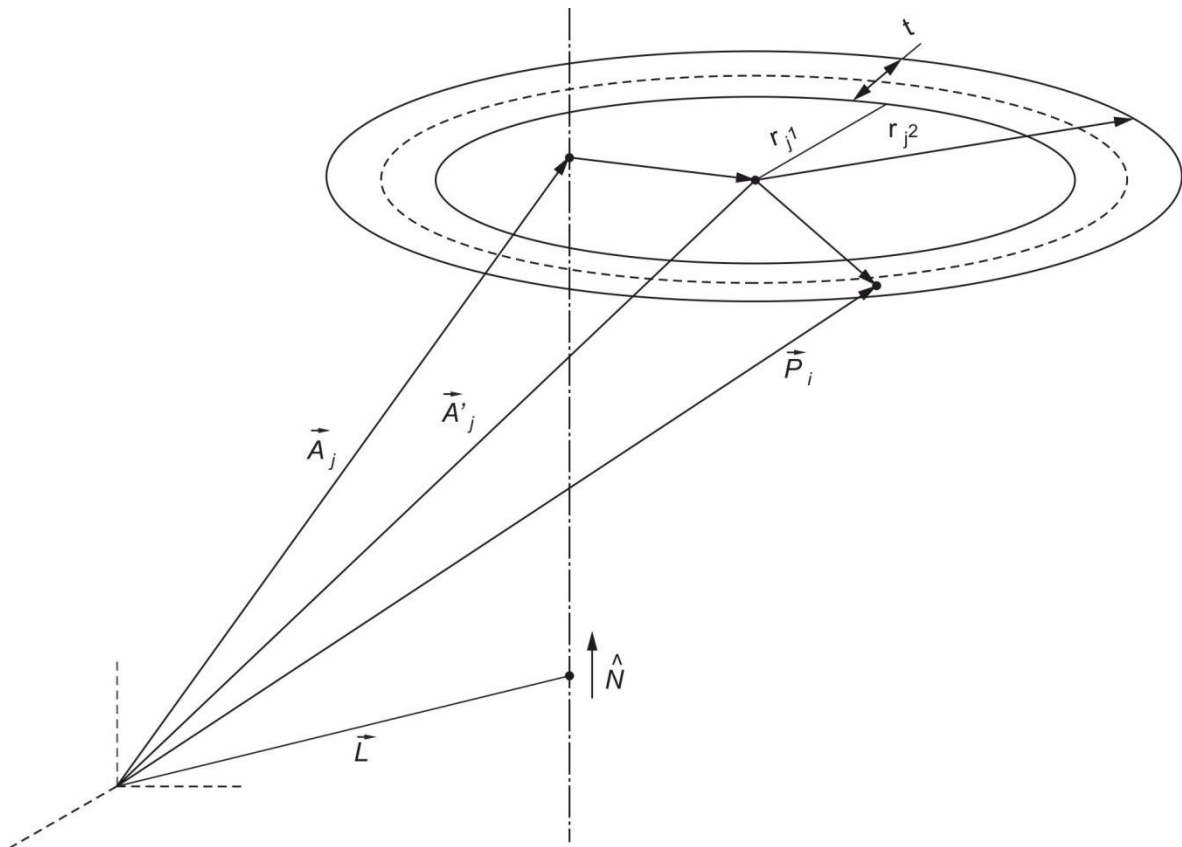
Τα σημεία \vec{P}_i βρίσκονται πάνω σε ένα κάθετο (κυκλικό) επίπεδο, το οποίο περιέχει το σημείο \vec{A}'_j .

$$r_{j1} \leq |\vec{P}_i - \vec{A}'_j| \leq r_{j2}$$

Τα σημεία \vec{P}_i πρέπει να βρίσκονται ανάμεσα σε δυο ομόκεντρους κύκλους ακτίνας r_{j1} και r_{j2} αντίστοιχα, των οποίων το κέντρο βρίσκεται πάνω στο \vec{A}'_j .

$$t = r_{j2} - r_{j1}, r_{j2} > r_{j1}$$

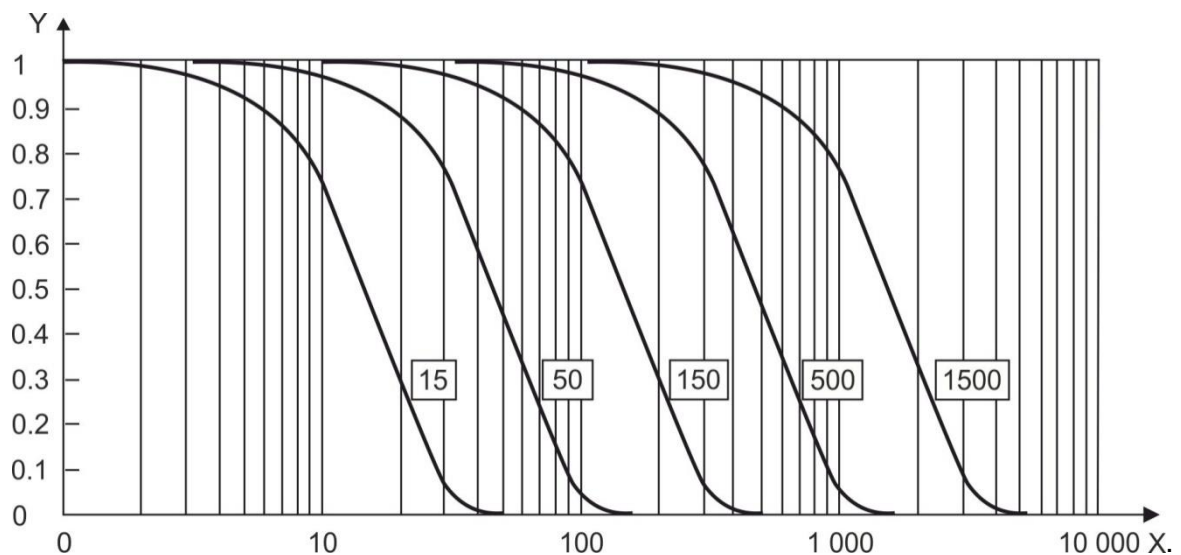
Για κάθε κάθετο (κυκλικό) επίπεδο, η διαφορά των ακτίνων των ομόκεντρων κύκλων ισούται με την ανοχή κυκλικότητας t .



Σχήμα 4.3: Ζώνη απόκλισης κυκλικότητας

4.3.1 Τελεστές προδιαγραφών - Ζώνη εκπομπής

Φίλτρο μεγάλου μήκους κύματος: Το φίλτρο μεγάλου μήκους κύματος μεταδίδει κύματα, τα οποία ξεκινούν από τον ένα κυματισμό ανά στροφή (UPR) και δημιουργούν ένα προφίλ σταδιακής εξασθένησης στην περιοχή γύρω από τη συχνότητα αποκοπής.



X : Κυματισμοί ανά στροφή (UPR).

Y : Μετάδοση (σε κυματισμούς ανά στροφή)

Σχήμα 4.4: Χαρακτηριστικά μετάδοσης για μεγάλου μήκους κύματα με συχνότητες αποκοπής. ($f_c = 15$ UPR; 50 UPR; 150 UPR; 500 UPR; 1 500 UPR)

Σημείωση: Οι τιμές των φίλτρων μπορούν να τροποποιηθούν σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.

Η εξίσωση εξασθένησης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_0} = e^{-\pi \left(\frac{\alpha x f}{f_c} \right)^2}$$

Όπου:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln(2)}{\pi}} = 0,4697$$

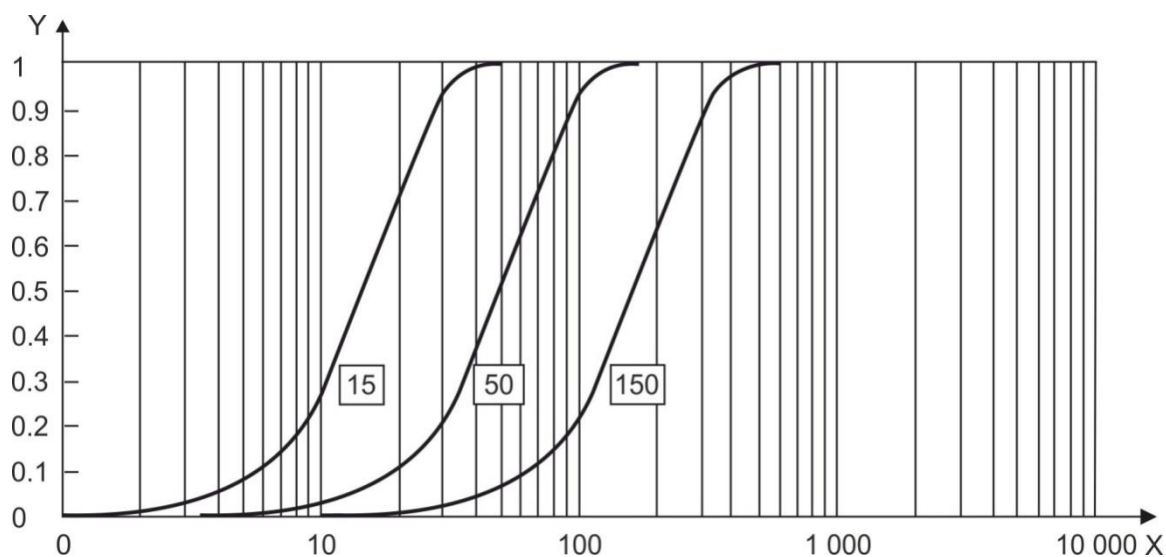
α_0 : Η εξασθένηση του κυματισμού του ημιτονοειδούς κύματος πριν την εφαρμογή του φίλτρου.

α_1 : Η εξασθένηση του κυματισμού του ημιτονοειδούς κύματος μετά την εφαρμογή του φίλτρου.

f_c : Η συχνότητα αποκοπής σε κυματισμούς ανά στροφή μεγάλου μήκους κύματος.

f : Η συχνότητα του ημιτονοειδούς κύματος (σε κυματισμούς ανά στροφή).

Φίλτρο μικρού μήκους κύματος: Το φίλτρο μικρού μήκους κύματος μεταδίδει κύματα τα οποία ξεκινούν από τον ένα κυματισμό ανά στροφή (UPR). Οι κυματισμοί που μεταδίδονται είναι μικρότεροι από την συχνότητα αποκοπής.



X : Κυματισμοί ανά στροφή (UPR).

Y : Μετάδοση (σε κυματισμούς ανά στροφή).

Σχήμα 4.5: Χαρακτηριστικά μετάδοσης για μικρού μήκους κύματα με συχνότητες αποκοπής ($f_c = 15$ UPR; 50 UPR; 150 UPR).

Σημείωση : Οι τιμές των φίλτρων μπορούν να τροποποιηθούν σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.

Η εξίσωση εξασθένησης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο :

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_0} = 1 - e^{-\pi \left(\frac{\alpha x f}{f_c} \right)^2}$$

Όπου:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln(2)}{\pi}} = 0,4697$$

α_0 : Η εξασθένηση του κυματισμού ημιτονοειδούς κύματος πριν την εφαρμογή του φίλτρου.

α_2 : Η εξασθένηση του κυματισμού ημιτονοειδούς κύματος μετά την εφαρμογή του φίλτρου.

F_c : Η συχνότητα αποκοπής σε κυματισμούς ανά στροφή μεγάλου μήκους κύματος.

f : Η συχνότητα του ημιτονοειδούς κύματος (σε κυματισμούς ανά στροφή).

4.3.2 Περιορισμός τιμής κυματισμών ανά στροφή

Το φίλτρο του κύματος ευθύνεται για το εύρος του περιοδικού ημιτονοειδούς κυματισμού ανά στροφή κατά την εκτίμηση της κυκλικότητας. Το εύρος αυτό περιορίζεται από τις τιμές του πινάκα 4.1. Επιπρόσθετα οι τιμές του ακόλουθου πίνακα μας δίνουν τον ελάχιστο αριθμό σημείων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τη δημιουργία της εξαγόμενης περιφερειακής γραμμής, καθώς και την ελάχιστη αναλογία μεταξύ της διαμέτρου και της ακτίνας αναπαραγωγής ($d:r$) η οποία είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφευχθεί η παραμόρφωση του κυκλικού προφίλ.

ΦΙΛΤΡΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ		
Μετάδοση φίλτρου	Ελάχιστος αριθμός σημείων	Ελάχιστη αναλογία $d:r$
15	105	5
50	350	15
150	1050	50
500	3500	150
1500	10500	500

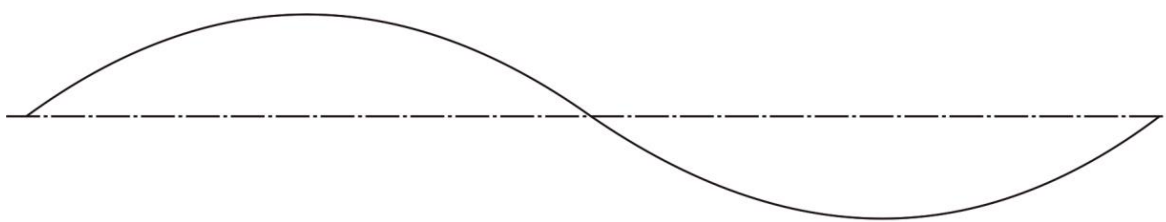
Πίνακας 4.1

Στην περίπτωση που ένα φίλτρο μικρού μήκους κύματος προσδιορίζεται τότε το αντίστοιχο φίλτρο μεγάλου μήκους κύματος θα πρέπει να προσδιορίζεται επίσης με συνέπεια, προκειμένου να έχουμε μια σωστά ορισμένη ζώνη μετάδοσης κυματισμών ανά στροφή. Το βασικό χαρακτηριστικό τόσο των αναλογικών όσο και των ψηφιακών κυμάτων είναι ότι η αναλογία τους εξαρτάται μόνο από το μήκος κύματος τους, ενώ είναι τελείως ανεξάρτητη από τη μείωσή τους. Σε αντίθεση με τις μηχανικές μεθόδους φιλτραρίσματος οι οποίες επηρεάζονται ταυτόχρονα από το μήκος κύματος αλλά και από τη μείωσή τους. Επιπρόσθετα εάν ένα φίλτρο μεγάλου μήκους κύματος δεν ορίζεται κατάλληλα η αναμενόμενη απόκλιση κυκλικότητας δεν θα μπορεί να προσδιοριστεί. Τέλος προκειμένου να εφαρμοστεί ένα φίλτρο μεγάλου μήκους κύματος θα πρέπει να υποδεικνύεται τόσο ο αριθμός των δηγμάτων που έχουν ληφθεί όσο και η ελάχιστη αναλογία $d:r$.

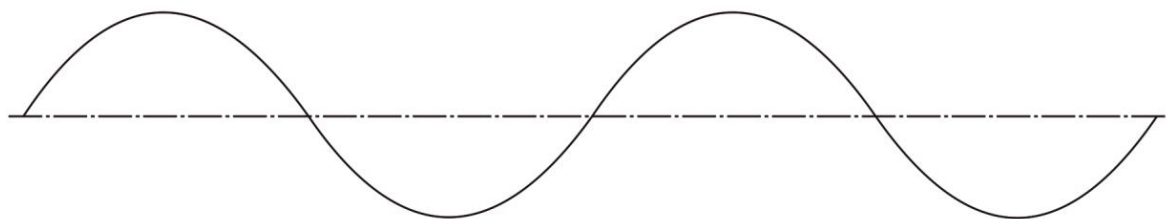
4.4 Αρμονικό περιεχόμενο

Ένα σήμα πεπερασμένου μήκους μπορεί να αποσυμπιεστεί σε πολλά ημιτονοειδή τμήματα τα οποία ονομάζονται σειρές Fourier. Μια σειρά Fourier αποτελείται από θεμελιώδη ημιτονοειδή κύματα, των οποίων το μήκος είναι ταυτόχρονα και το μήκος του σήματος· καθώς και από αρμονικά ημιτονοειδή κύματα των οποίων το μήκος διαιρείται σε θεμελιώδη μήκη κύματος. Η θεμελιώδης ημιτονοειδής καμπύλη ονομάζεται πρώτη αρμονική του σήματος. Η ημιτονοειδής καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το μισό του θεμελιώδους μήκους κύματος, ονομάζεται δεύτερη αρμονική. Τέλος, η αρμονική καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το ένα τρίτο του θεμελιώδους

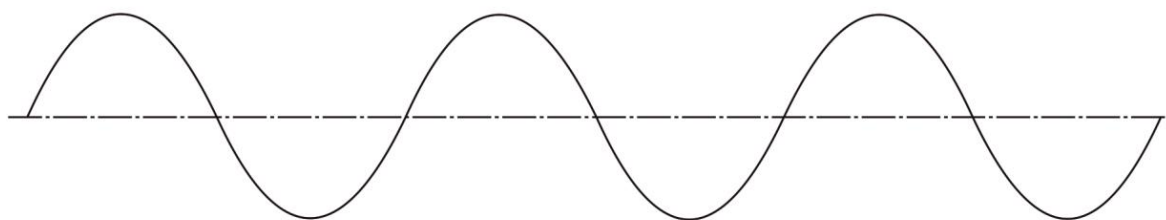
μήκους κύματος, ονομάζεται τρίτη αρμονική. Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να συνεχίσουμε στην τέταρτη αρμονική, την πέμπτη αρμονική και ούτω καθεξής. Συνεπώς, η n -οστή αρμονική, συνίσταται από το ημιτονοειδές κύμα, του οποίου το μήκος κύματος διαιρείται σε ακριβώς n θεμελιώδη μήκη κύματος.



α) Πρώτη αρμονική



β) Δεύτερη αρμονική



γ) Τρίτη αρμονική

Σχήμα 4.6: Αναπαράσταση αρμονικών καμπύλων.

Ένα κυκλικό προφίλ είναι ελαφρώς διαφορετικό, δεδομένου ότι η αρχή και το τέλος του ενώνονται μεταξύ τους. Στην προκειμένη περίπτωση το θεμελιώδες μήκος κύματος μιας σειράς Fourier θα είναι η περιφέρεια του κύκλου ή ένας κυματισμός ανά στροφή. Όσο αυξάνεται ο αριθμός της αρμονικής, αντίστοιχα θα αυξάνεται και ο αριθμός κυματισμών ανά στροφή που θα περιέχει. Για παράδειγμα η δεύτερη αρμονική περιέχει δύο κυματισμούς ανά στροφή. Η τρίτη αρμονική περιέχει τρεις κυματισμούς ανά στροφή και ούτω καθεξής.

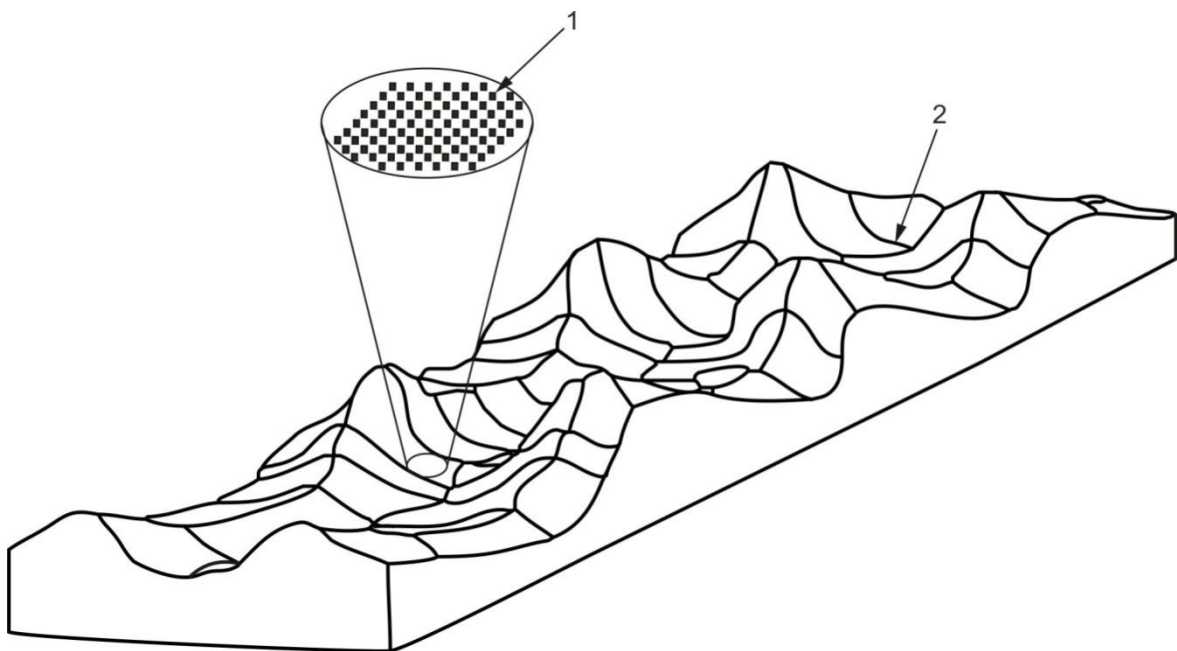
5. ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ

5.1 Γεωμετρικές προδιαγραφές προϊόντος

- **Επιπεδότητα:** Ιδιότητα ενός επιπέδου.
- **Ονομαστικό επίπεδο:** Ένα μαθηματικά ορισμένο επίπεδο, όπως καθορίζεται από το σχέδιο.

5.1.1 Ορισμοί που σχετίζονται με την επιφάνεια

- **Πραγματική επιφάνεια δοκιμίου:** Το σύνολο των ενοποιημένων χαρακτηριστικών που αποτελούν ένα τεμάχιο προς κατεργασία.
- **Εξαγόμενη επιφάνεια:** Η ψηφιακή αναπαράσταση της πραγματικής επιφάνειας όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1.

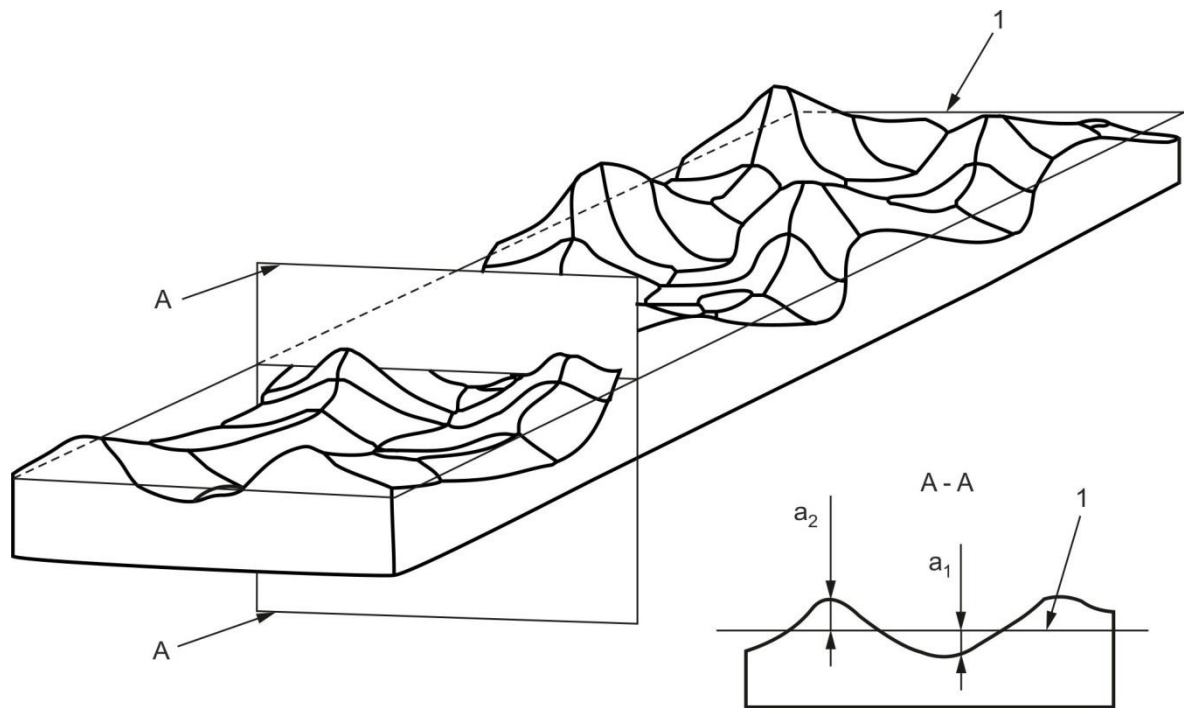


1: Εξαγόμενη επιφάνεια

2: Πραγματική επιφάνεια

Σχήμα 5.1: Εξαγόμενη επιφάνεια

- **Επιφάνεια επιπεδότητας:** Η εξαγόμενη επιφάνεια σκόπιμα τροποποιημένη από ένα φίλτρο.
- **Τυπική απόκλιση επιπεδότητας (local flatness deviation LFD):** Η απόκλιση ενός σημείου πάνω στην επίπεδη επιφάνεια, από το επίπεδο αναφοράς, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 5.2.



A1: Θετική τυπική απόκλιση επιπεδότητας

A2: Αρνητική τυπική απόκλιση επιπεδότητας

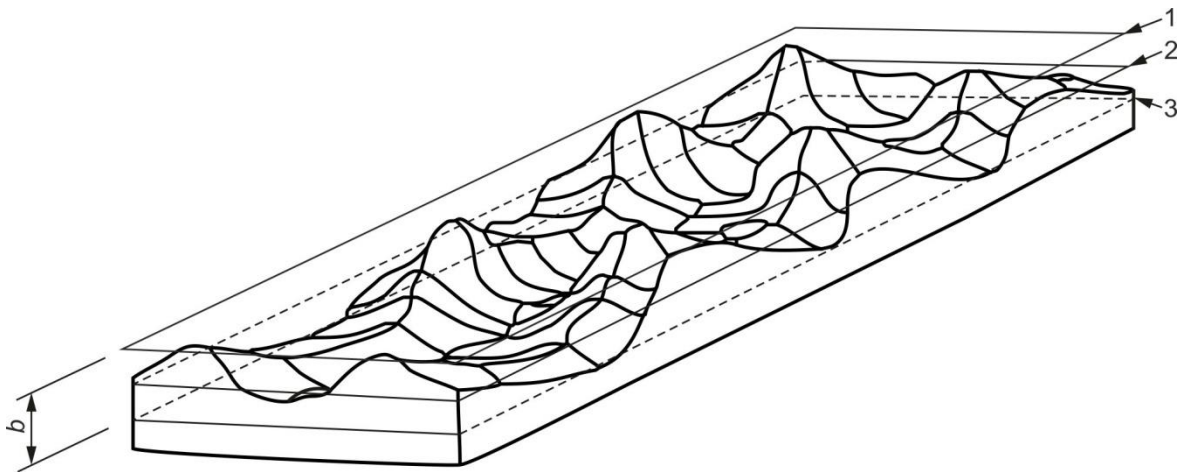
1: Τυχαίο επίπεδο αναφοράς

Σχήμα 5.2: Τυπική απόκλιση επιπεδότητας

- **Προφίλ επιπεδότητας:** Εξαγόμενη γραμμή σκόπιμα τροποποιημένη από ένα φίλτρο.

5.1.2 Όροι οι οποίοι σχετίζονται με το επίπεδο αναφοράς

- **Επίπεδο αναφοράς:** Επίπεδο που εφαρμόζει στην επίπεδη επιφάνεια σύμφωνα με καθορισμένες συμβάσεις, του οποίου οι αποκλίσεις από το επίπεδο και οι παράμετροι της επιπεδότητας αναφέρονται.
- **Ελάχιστη ζώνη επιπέδων αναφοράς (minimum zone reference planes MZPL):** Δύο παράλληλα επίπεδα τα οποία περικλείουν την επίπεδη επιφάνεια και έχουν μεταξύ τους την ελάχιστη δυνατή απόσταση.
- **Εξωτερική ελάχιστη ζώνη επιπέδου αναφοράς:** Η ελάχιστη ζώνη του επιπέδου αναφοράς εξωτερικά του δοκιμίου, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3.
- **Εσωτερική ελάχιστη ζώνη επιπέδου αναφοράς:** Η ελάχιστη ζώνη του επιπέδου αναφοράς εσωτερικά του δοκιμίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.
- **Μέση ελάχιστη ζώνη επιπέδου αναφοράς:** Το αριθμητικά μέσο επίπεδο της ελάχιστης ζώνης των επιπέδων αναφοράς, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 5.3.



b: Ελάχιστη απόσταση

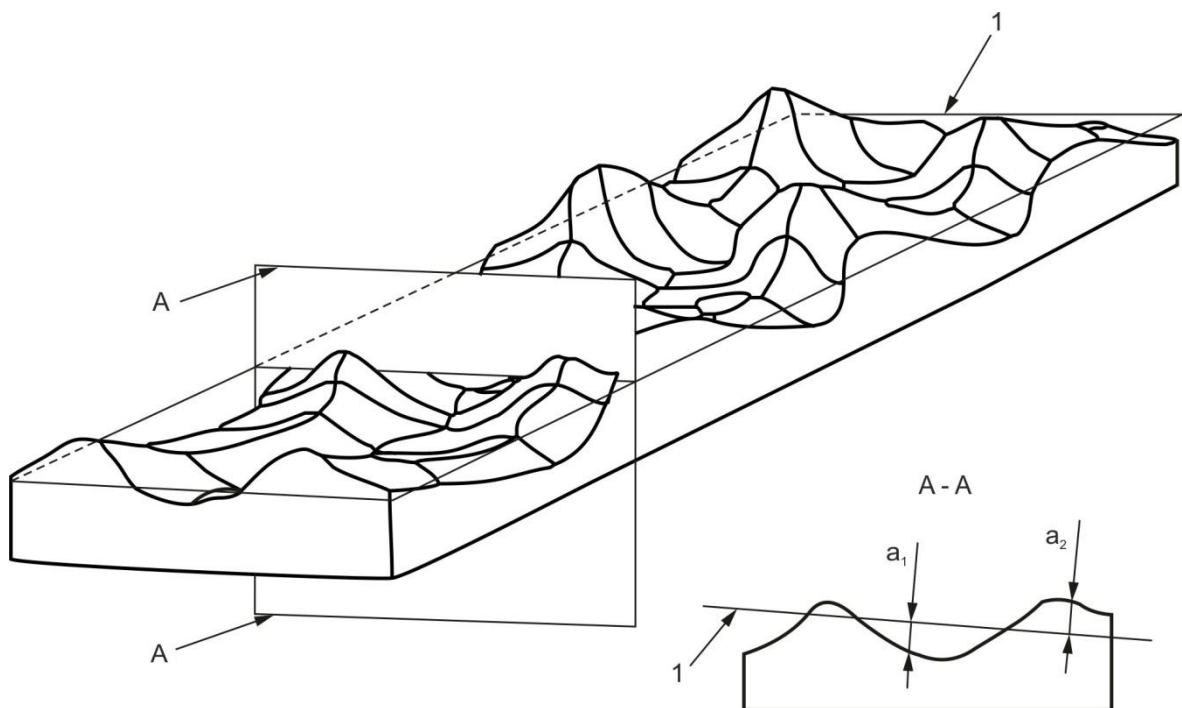
1: Εξωτερική ελάχιστη ζώνη επιπέδου αναφοράς

2: Μέση ελάχιστη ζώνη επιπέδου αναφοράς

3: Εσωτερική ελάχιστη ζώνη επιπέδου αναφοράς

Σχήμα 5.3: Ελάχιστη ζώνη επιπέδων αναφοράς

- **Επίπεδο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων:** Επίπεδο τέτοιο ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των τοπικών αποκλίσεων επιπεδότητας να είναι ελάχιστο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4.



A2: Αρνητική τυπική απόκλιση επιπεδότητας

1: Επίπεδο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων

Σχήμα 5.4: Επίπεδο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων

5.1.3 Όροι που σχετίζονται με τη λειτουργία των φίλτρων

- **Φίλτρο προφίλ:** Φίλτρο το οποίο εφαρμόζεται πάνω σε ένα ανοικτό προφίλ, που εκπέμπει ένα εύρος ημιτονοειδών κυματισμών, των οποίων η αναλογία πλάτους εισόδου και εξόδου είναι γνωστή. Καθώς το εύρος των κυματισμών μειώνεται η αναλογία τους τείνει να βρεθεί εκτός εμβέλειας στα άκρα.
- **Χαρακτηριστικά μετάδοσης ενός φίλτρου:** Χαρακτηριστικά τα οποία προσδιορίζουν το ποσοστό κατά το οποίο μειώνεται το εύρος ενός ημιτονοειδούς προφίλ ως συνάρτηση του μήκους κύματος του.
- **Απόκλιση κορυφής- κοιλάδας κυλινδρικότητας:** Το άθροισμα της μέγιστης θετικής με τη μέγιστη απόλυτη αρνητική τιμή της τυπικής απόκλισης επιπεδότητας.
- **Απόκλιση γραμμής αναφοράς – κορυφής επιπεδότητας (LSPL) FLT_p :** Η τιμή της μέγιστης θετικής τυπικής απόκλισης επιπεδότητας από το επίπεδο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.
- **Απόκλιση γραμμής αναφοράς – κοιλάδας επιπεδότητας: (LSPL) FLT_v :** Η απόλυτη τιμή της μέγιστης τυπικής απόκλισης επιπεδότητας από το επίπεδο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.
- **Μέση τετραγωνική ρίζα της απόκλισης επιπεδότητας (FLT_q) :** Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των τοπικών αποκλίσεων επιπεδότητας με σημείο αναφοράς το επίπεδο αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

Σημείωση: Η μέση τετραγωνική ρίζα της απόκλισης επιπεδότητας καθορίζεται μονό για επίπεδα αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

$$FLT_q = \sqrt{\frac{1}{A} \int_A LFD^2 dA}$$

Όπου:

LFD: Η τυπική απόκλιση επιπεδότητας

A: Η περιοχή της επιφάνειας του επίπεδου υλικού

\vec{L}, \hat{N}

Σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων, ένας άξονας ορίζεται από ένα σημείο \vec{L} και ένα διάνυσμα κατεύθυνσης \hat{N} .

$$d_i = | \hat{N} \times (\vec{P}_i - \vec{L}) |$$

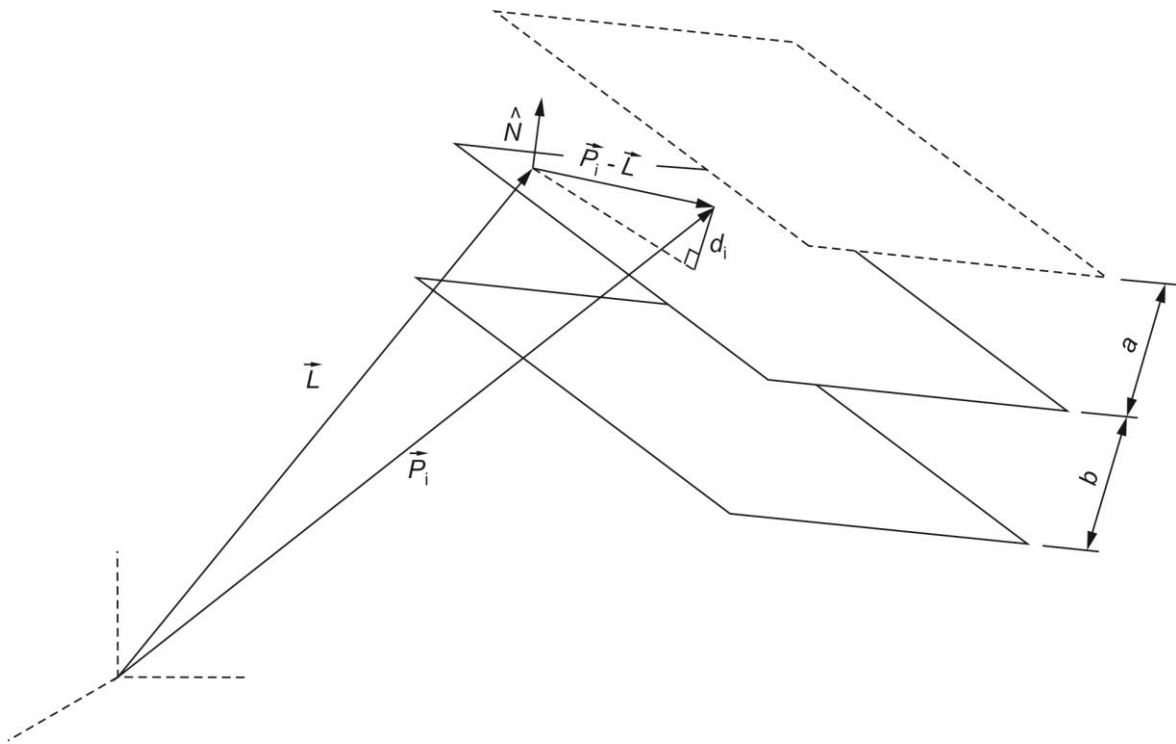
Τα σημεία \vec{P}_i απέχουν ακτινική απόσταση d_i από τον άξονα.

$$r_1 \leq d_i \leq r_2$$

Τα σημεία \vec{P}_i πρέπει να βρίσκονται ανάμεσα σε δυο ομοαξονικούς κυλίνδρους ακτίνας r_1 και r_2 αντίστοιχα, των οποίων το κέντρο βρίσκεται πάνω στον άξονα.

$$t = r_2 - r_1, r_2 > r_1$$

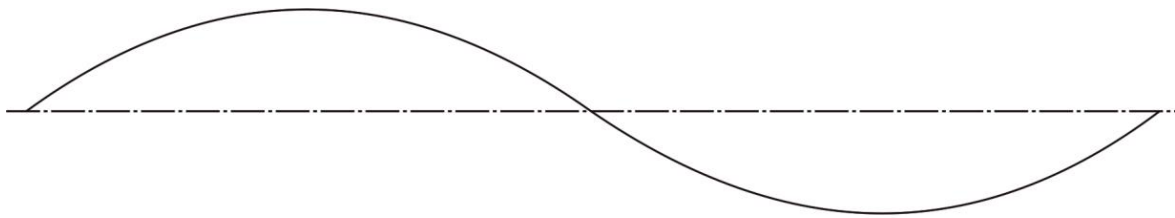
Η διαφορά της ακτίνας των δυο ομοαξονικών κυλίνδρων ισούται με την ανοχή κυλινδρικότητας t .



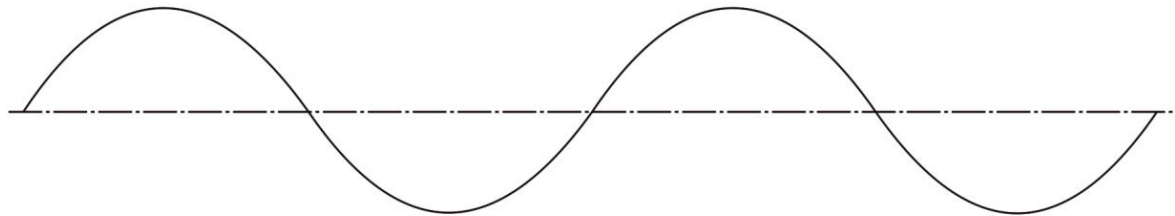
Σχήμα 5.5: Ζώνη ανοχής επιπεδότητας ενοποιημένου χαρακτηριστικού

5.2 Αρμονικό περιεχόμενο

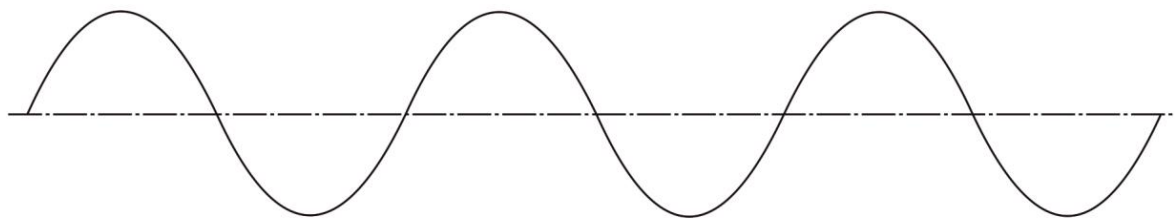
Ένα σήμα πεπερασμένου μήκους μπορεί να αποσυμπιεστεί σε πολλά ημιτονοειδή τμήματα τα όποια ονομάζονται σειρές Fourier. Μια σειρά Fourier αποτελείται από θεμελιώδη ημιτονοειδή κύματα, των οποίων το μήκος είναι ταυτόχρονα και το μήκος του σήματος· καθώς και από αρμονικά ημιτονοειδή κύματα των οποίων το μήκος διαιρείται σε θεμελιώδη μήκη κύματος. Η θεμελιώδης ημιτονοειδής καμπύλη ονομάζεται πρώτη αρμονική του σήματος. Η ημιτονοειδής καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το μισό του θεμελιώδους μήκους κύματος, ονομάζεται δεύτερη αρμονική. Τέλος, η αρμονική καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το ένα τρίτο του θεμελιώδους μήκους κύματος, ονομάζεται τρίτη αρμονική. Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να συνεχίσουμε στην τέταρτη αρμονική, την πέμπτη αρμονική και ούτω καθεξής. Συνεπώς, η n -οστή αρμονική, συνίσταται από το ημιτονοειδές κύμα, του οποίου το μήκος κύματος διαιρείται σε ακριβώς n θεμελιώδη μήκη κύματος.



α) Πρώτη αρμονική



β) Δεύτερη αρμονική



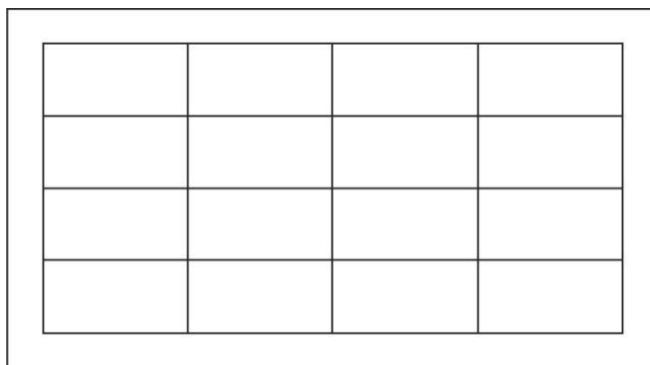
γ) Τρίτη αρμονική

Σχήμα 5.6: Αναπαράσταση αρμονικών καμπύλων

Όλα τα ανωτέρω σήματα τα οποία αποδομούνται σε σειρές Fourier είναι προφίλ, ενώ η επιφάνεια ενός κυλίνδρου είναι περιοχή. Μια περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως ο συνδυασμός δυο προφίλ, δεδομένου ότι οι κατευθύνσεις των δύο προφίλ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να καθοριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων για αυτή. Στην περίπτωση που εξετάζουμε ένα επίπεδο, τα δύο προφίλ είναι κάθετα μεταξύ τους μέσα στο σε αυτό, ενώ κάθε θέση πάνω στο επίπεδο μπορεί να προσδιοριστεί με βάση τις συντεταγμένες του, δίνοντας προσοχή στην απόσταση του πάνω στην κατεύθυνση ενός προφίλ και στην απόσταση του από την κατεύθυνση των άλλων προφίλ από ένα όριο. Με τον ίδιο τρόπο μια περιοχή μπορεί να αποσυμπιεστεί στον συνδυασμό δυο σειρών Fourier. Στην πράξη, η περιοχή αυτή θα έχει πεπερασμένο μήκος προς τις δύο κατευθύνσεις, το οποίο θα προσδιορίζεται από τα ορθογώνια προφίλ. Κάθε ανεξάρτητο τμήμα αυτής της αποσυμπίεσης θα έχει δύο αρμονικούς αριθμούς. Ο πρώτος αναφέρεται στον αριθμό της πρώτης αρμονικής σύμφωνα με την κατεύθυνση του πρώτου προφίλ, ενώ ο δεύτερος αντίστοιχα αναφέρεται στη δεύτερη αρμονική σύμφωνα με την κατεύθυνση του δεύτερου προφίλ. Τα ανεξάρτητα τμήματα είναι ένας συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων αρμονικών τμημάτων. Για παράδειγμα η (6,4) αρμονική θα αποτελείται από όρους οι οποίοι είναι συνδυασμός της έκτης αρμονικής του πρώτου προφίλ (6 κύματα κατά το μήκος του) και την τέταρτη αρμονική του άλλου προφίλ (4 κύματα κατά το μήκος του). Είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπ'οψιν ποιες από αυτές τις αρμονικές βρίσκονται πάνω στο επίπεδο τεμάχιο, όταν καλούμαστε να προσδιορίσουμε μία κατάλληλη μέθοδο δειγματοληψίας.

Μέθοδος εξαγωγής ορθογωνίου πλέγματος

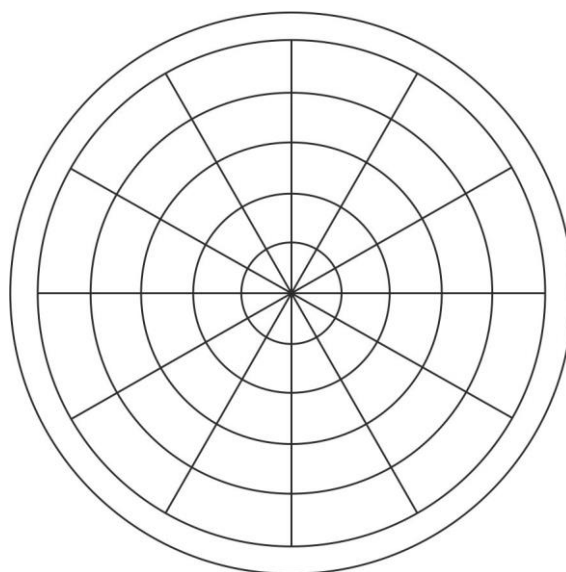
Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.7 είναι η υψηλή πυκνότητα σημείων κατά μήκος και των δύο ορθογωνίων προφίλ. Παρόλο που δεν παρέχεται πλήρης κάλυψη του επίπεδου τεμαχίου, δίνεται η δυνατότητα στην εν λόγω μέθοδο να αξιολογεί το αρμονικό περιεχόμενο και στις δύο κατευθύνσεις. Ως εκ τούτου αυτή η μέθοδος εξαγωγής συνιστάται για την αξιολόγηση πλήρως επίπεδων τεμαχίων.



Σχήμα 5.7: Μέθοδος εξαγωγής ορθογωνίου πλέγματος

Μέθοδος εξαγωγής πολικού πλέγματος

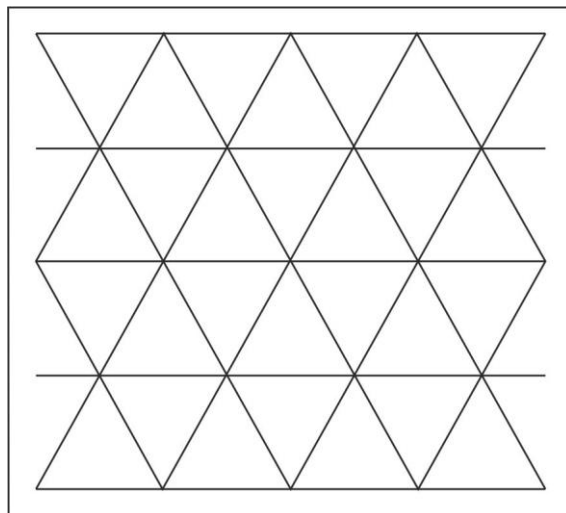
Το κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5.8 είναι η υψηλή πυκνότητα σημείων κατά μήκος και των δύο ορθογωνίων προφίλ. Παρόλο που δεν παρέχεται πλήρης κάλυψη του επίπεδου τεμαχίου, δίνεται η δυνατότητα στην εν λόγω μέθοδο να αξιολογεί το αρμονικό περιεχόμενο τόσο προς την ακτινωτή όσο και προς την περιφερειακή κατεύθυνση. Ως εκ τούτου αυτή η μέθοδος εξαγωγής συνιστάται για την αξιολόγηση πλήρως επίπεδων τεμαχίων τα οποία έχουν την μορφή δίσκου.



Σχήμα 5.8: Μέθοδος εξαγωγής πολικού πλέγματος

Μέθοδος εξαγωγής τριγωνικού πλέγματος

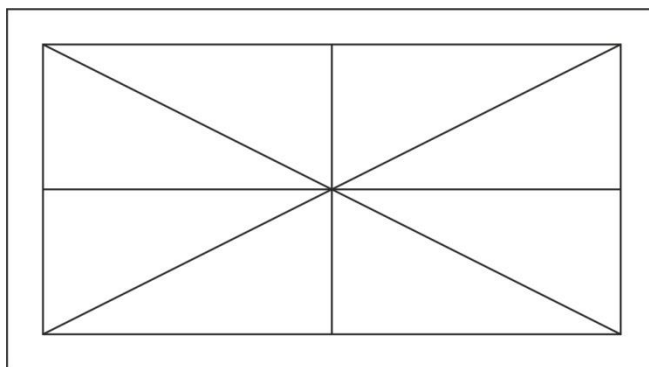
Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.9 είναι η υψηλή πυκνότητα σημείων κατά μήκος των προφίλ που καθορίζουν το «τριγωνικό πλέγμα». Παρόλο που δεν παρέχεται πλήρης κάλυψη του επίπεδου τεμαχίου, δίνεται η δυνατότητα στη μέθοδο αυτή να αξιολογεί το αρμονικό περιεχόμενο προς τις κατευθύνσεις που ορίζουν το τριγωνικό πλέγμα. Η συγκεκριμένη μέθοδος εξαγωγής συνιστάται για την αξιολόγηση πλήρως επίπεδων τεμαχίων ως εναλλακτική των δύο προηγούμενων μεθόδων.



Σχήμα 5.9: Μέθοδος εξαγωγής τριγωνικού πλέγματος

Μέθοδος εξαγωγής Union Jack

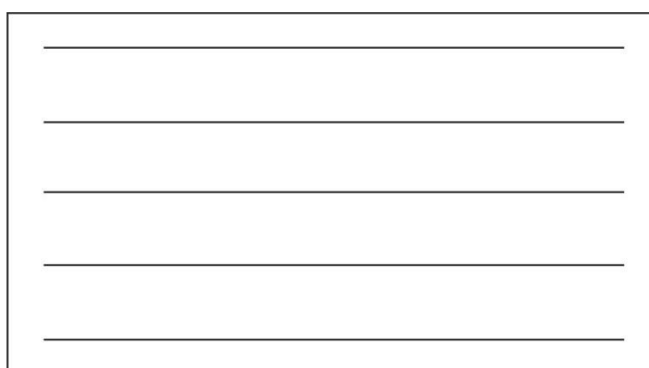
Παρόλο που δεν παρέχεται μια πλήρης κάλυψη του επίπεδου τεμαχίου, δίνεται στην συγκεκριμένη μέθοδο μία περιορισμένη δυνατότητα να αξιολογεί το αρμονικό περιεχόμενο. Η μέθοδος αυτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.10 περιορίζεται από τον μικρό αριθμό των προφίλ που χρησιμοποιούνται και από την μεγάλη έκταση της περιοχής πάνω στην οποία δεν δειγματοληπτεί. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο εάν το μεγαλύτερο μήκος κύματος του περιεχομένου του επίπεδου τεμαχίου είναι αμελητέο, περίπτωση κατά την οποία η μέθοδος αυτή θα εκτελέσει με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Η ορθογώνια, η τριγωνική και η πολική μέθοδος προτιμούνται έναντι της μεθόδου Union Jack για την εξαγωγή σημείων με δειγματοληψία και την αξιολόγηση του επίπεδου τεμαχίου, στην περίπτωση που το περιεχόμενο του μήκους κύματος του τεμαχίου δεν είναι γνωστό.



Σχήμα 5.10: Μέθοδος εξαγωγής Union Jack

Παράλληλη μέθοδος εξαγωγής

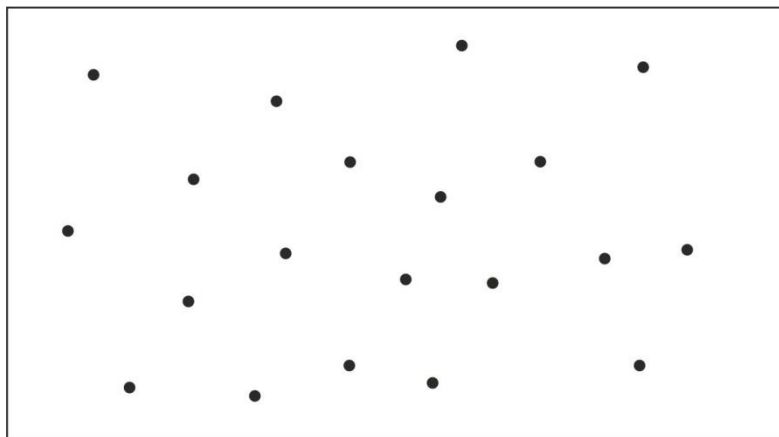
Το κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής, όπως φαίνεται στο [σχήμα 5.11](#) είναι η υψηλή πυκνότητα σημείων στην κατεύθυνση του προφίλ σχετικά με την πυκνότητα των σημείων που βρίσκονται κάθετα σε αυτό. Αυτό το γεγονός δίνει τη δυνατότητα σε αυτή τη μέθοδο εξαγωγής να αξιολογεί σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό το αρμονικό περιεχόμενο του προφίλ σε σύγκριση με το αρμονικό περιεχόμενο που βρίσκεται κάθετα σε αυτό. Η μέθοδος αυτή προτείνεται μόνο στην περίπτωση που ζητούνται ακριβείς πληροφορίες για το αρμονικό περιεχόμενο προς μία κατεύθυνση.



Σχήμα 5.11: Παράλληλη μέθοδος εξαγωγής

Μέθοδος εξαγωγής σημείων

Η πυκνότητα των σημείων είναι εμφανώς μικρότερη σε σύγκριση με τις μεθόδους που έχουν αναφερθεί ως τώρα. Το γεγονός αυτό καθιστά αδύνατο για τη μέθοδο αυτή να αξιολογήσει το αρμονικό περιεχόμενο ενός επίπεδου τεμαχίου. Επίσης ο περιορισμένος αριθμός σημείων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.12 προκαλεί προβλήματα κατά τη δημιουργία προφίλ. Για αυτούς τους λόγους η συγκεκριμένη μέθοδος εξαγωγής σημείων δεν συνιστάται, παρά μόνο σε περιπτώσεις που απαιτούνται παράμετροι για την επιπεδότητα κατά προσέγγιση.



Σχήμα 5.12: Μέθοδος εξαγωγής σημείων

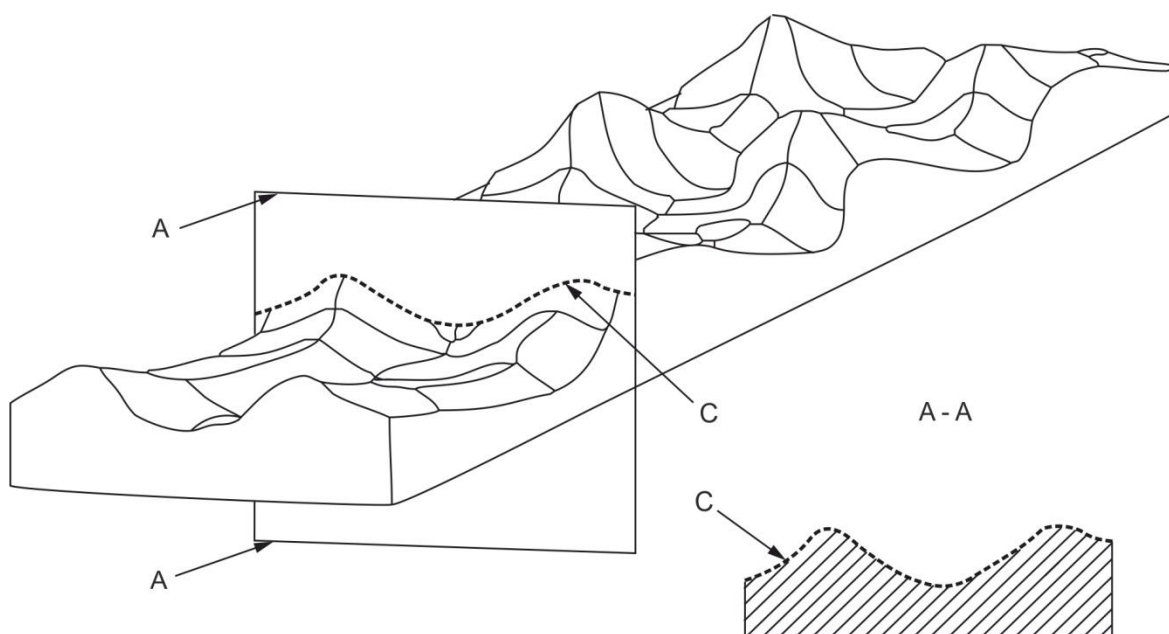
6. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΤΗΤΑ

6.1 Γενικοί όροι

- **Ευθυγραμμότητα:** Ιδιότητα μίας ευθείας γραμμής.
- **Καθετότητα επιφάνειας:** Το κάθετο διάνυσμα σε μια επιφάνεια σε σύγκριση με ένα χαρακτηριστικό.
- **Επίπεδο ευθυγραμμότητας:** Επίπεδο το οποίο χαρακτηρίζεται από το κάθετο διάνυσμα προς μία επιφάνεια, όπως ακριβώς φαίνεται στο σχήμα 6.1.

6.1.1 Όροι που σχετίζονται με τα προφίλ

- **Πραγματική επιφάνεια τεμαχίου:** Τα ενοποιημένα χαρακτηριστικά τα οποία απαρτίζουν την πραγματική επιφάνεια ενός τεμαχίου.
- **Εξαγόμενη γραμμή:** Η ψηφιακή αναπαράσταση του σημείου τομής της πραγματικής επιφάνειας με το επίπεδο ευθυγραμμότητας, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1.

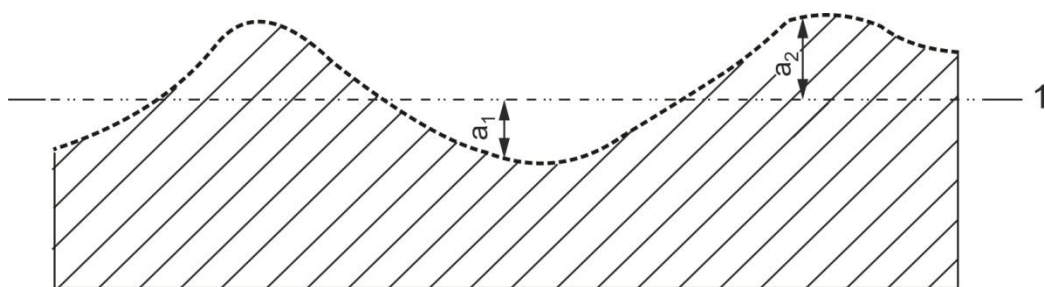


A: επίπεδο ευθυγραμμότητας

C: εξαγόμενη γραμμή

Σχήμα 6.1: εξαγόμενη γραμμή και επίπεδο ευθυγραμμότητας

- **Προφίλ ευθυγραμμότητας:** Η εξαγόμενη γραμμή σκόπιμα τροποποιημένη από ένα φίλτρο.
- **Τυπική απόκλιση ευθυγραμμότητας:** Η απόκλιση ενός σημείου πάνω στο προφίλ ευθυγραμμότητας από τη γραμμή αναφοράς, η απόκλιση είναι πάντοτε κάθετη προς τη γραμμή αναφοράς.



a_1 : θετική τυπική απόκλιση ευθυγραμμότητας

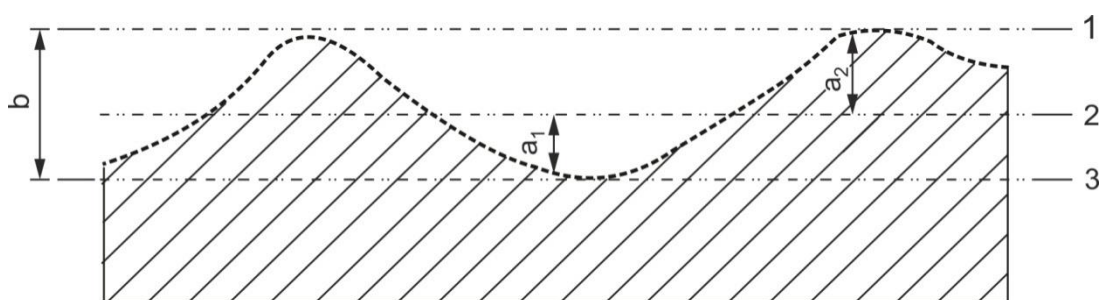
a_2 : αρνητική τυπική απόκλιση ευθυγραμμότητας

1: γραμμή αναφοράς

Σχήμα 6.2: Τυπική απόκλιση ευθυγραμμότητας

6.1.2 Όροι που σχετίζονται με τη γραμμή αναφοράς

- **Γραμμή αναφοράς:** Γραμμή η οποία εφαρμόζει στο προφίλ ευθυγραμμότητας σύμφωνα με καθορισμένες συμβάσεις, των οποίων οι αποκλίσεις και οι παράμετροι αναφέρονται.
- **Ελάχιστη ζώνη γραμμής αναφοράς:** Δύο παράλληλες γραμμές που βρίσκονται πάνω στο επίπεδο ευθυγραμμότητας, οι οποίες περικλείουν το προφίλ ευθυγραμμότητας και έχουν μεταξύ τους την ελάχιστη δυνατή απόσταση.



b : ελάχιστη απόσταση

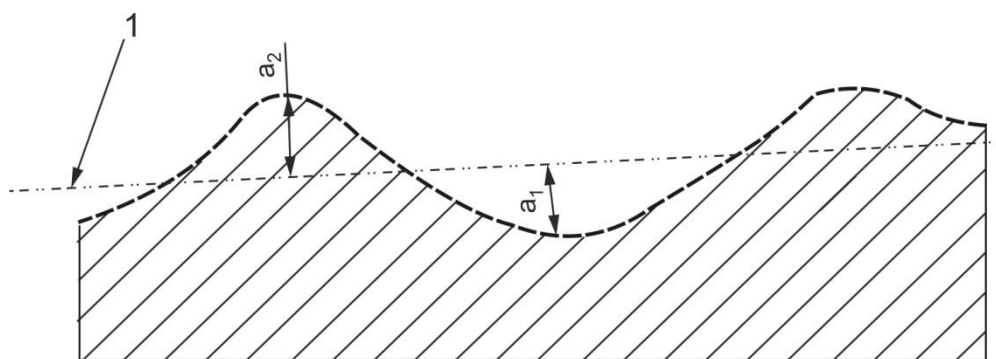
1: εξωτερική ελάχιστη ζώνη γραμμής αναφοράς

2: μέση ελάχιστη ζώνη γραμμής αναφοράς

3: εσωτερική ελάχιστη ζώνη γραμμής αναφοράς

Σχήμα 6.3: Ελάχιστη ζώνη γραμμών αναφοράς

- **Μέση ελάχιστη ζώνη γραμμής αναφοράς:** Η αριθμητικά μέση γραμμή της ελάχιστης ζώνης, των γραμμών αναφοράς.
- **Γραμμή αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων:** Γραμμή τέτοια ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των τοπικών αποκλίσεων της ευθυγραμμότητας, να είναι ελάχιστο.



α_1 : θετική τυπική απόκλιση ευθυγραμμότητας.

α_2 : αρνητική τυπική απόκλιση ευθυγραμμότητας

1: γραμμή αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων

Σχήμα 6.4: Γραμμή αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων

6.1.3 Όροι σχετικοί με τη λειτουργία του φίλτρου

- **Φίλτρο προφίλ:** Φίλτρο το οποίο εφαρμόζεται πάνω σε ένα ανοικτό προφίλ, που εκπέμπει ένα εύρος ημιτονοειδών κυματισμών, των οποίων η αναλογία πλάτους εισόδου και εξόδου είναι γνωστή. Καθώς το εύρος των κυματισμών μειώνεται, η αναλογία τους τείνει να βρεθεί εκτός εμβέλειας στα άκρα.
- **Χαρακτηριστικά μετάδοσης ενός φίλτρου:** Χαρακτηριστικά τα οποία προσδιορίζουν το ποσοστό κατά το οποίο μειώνεται το εύρος ενός ημιτονοειδούς προφίλ, ως συνάρτηση του μήκους κύματός του.
- **Μήκος κύματος αποκοπής:** Το μήκος κύματος αποκοπής του φίλτρου, το οποίο εφαρμόζεται στην εξαγόμενη γραμμή.
- **Ζώνη μετάδοσης των προφίλ ευθυγραμμότητας:** Ζώνη η οποία αποτελείται από ημιτονοειδή προφίλ κυματισμών, τα οποία μεταδίδονται σε ποσοστό μεγαλύτερο από αυτό που καθορίζεται από το φίλτρο. Η ζώνη μετάδοσης χαρακτηρίζεται από τις τιμές του ανώτερου και του κατώτερου μήκους κύματος αποκοπής.

Σημείωση: Συνήθως το καθορισμένο ποσοστό είναι 50%.

- **Απόκλιση κορυφής - κοιλάδας ευθυγραμμότητας:** Το άθροισμα των τιμών της μεγαλύτερης και της μικρότερης τυπικής απόκλισης ευθυγραμμότητας.
- **Απόκλιση κορυφής - γραμμής αναφοράς ευθυγραμμότητας (LSLI):** Η τιμή της μεγαλύτερης θετικής απόκλισης της ευθυγραμμότητας, από την γραμμή αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

Σημείωση: Η απόκλιση κορυφής - γραμμής αναφοράς ευθυγραμμότητας καθορίζεται μόνο για γραμμές αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

- **Απόκλιση γραμμής αναφοράς – κοιλάδας ευθυγραμμότητας (LSLI):** Η απόλυτη τιμή της μεγαλύτερης αρνητικής τυπικής απόκλισης ευθυγραμμότητας, από τη γραμμή αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.
- **Μέση τετραγωνική ρίζα της απόκλισης ευθυγραμμότητας (STRq):** Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των τοπικών αποκλίσεων

ευθυγραμμότητας, με σημείο αναφοράς την γραμμή αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

Σημείωση: Η μέση τετραγωνική ρίζα της απόκλισης ευθυγραμμότητας καθορίζεται μόνο για γραμμές αναφοράς ελαχίστων τετραγώνων.

$$\text{STRq} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L \text{LSD}^2 dX}$$

Όπου :

LSD : Η τυπική απόκλιση ευθυγραμμότητας

X : Η στιγμιαία θέση του προφίλ ευθυγραμμότητας

L : Το μήκος της γραμμής αναφοράς

6.2 Μαθηματικός προσδιορισμός της απόκλισης ευθυγραμμότητας ενοποιημένων χαρακτηριστικών

Μία ζώνη ανοχής ευθυγραμμότητας για μία γραμμή πάνω σε μία επιφάνεια ενός ενοποιημένου χαρακτηριστικού, αποτελείται από ένα σύνολο σημείων, τα οποία συμφωνούν με τις ακόλουθες συνθήκες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.5.

$$\hat{K} \cdot (\vec{F} - \vec{P}_i) = 0$$

Σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων το επίπεδο ευθυγραμμότητας που περιέχει τη γραμμή επιφάνειας χαρακτηρίζεται από ένα σημείο \vec{F} και ένα τμήμα κάθετο στο διάνυσμα \hat{K} .

Τα σημεία \vec{P}_i οφείλουν να βρίσκονται πάνω στο επίπεδο ευθυγραμμότητας.

$$\hat{K} \cdot (\vec{F} - \vec{L}) = 0$$

Μία γραμμή αναφοράς ορίζεται στο επίπεδο ευθυγραμμότητας από ένα σημείο \vec{L} και την κατεύθυνση του τεμαχίου \hat{N} .

$$\hat{N} \cdot \hat{K} = 0$$

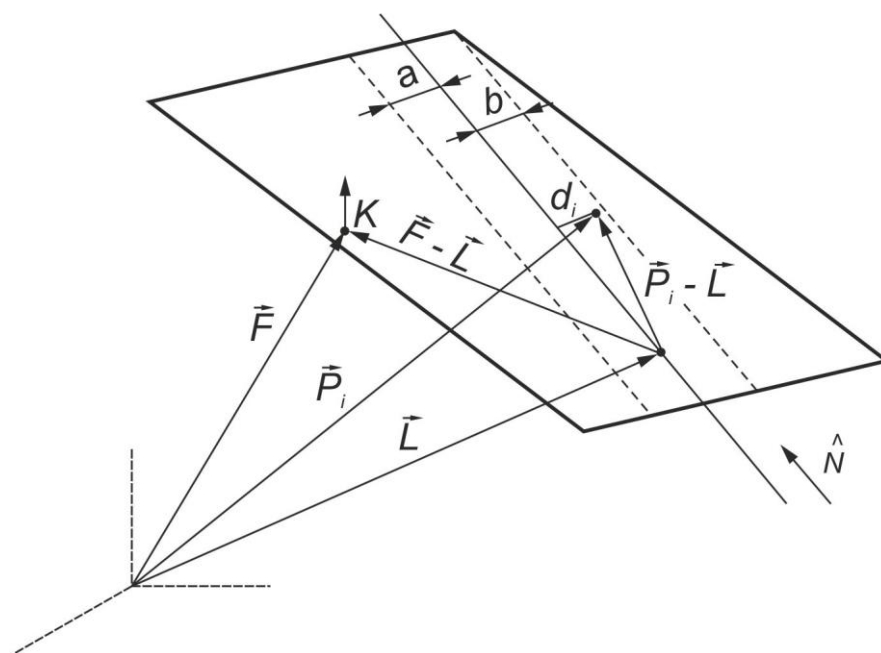
$$d_i = (\hat{K} \times \hat{N}) \cdot (\vec{P}_i - \vec{L})$$

Τα σημεία του διανύσματος \vec{P}_i είναι κάθετα προς τη γραμμή αναφοράς και απέχουν απόσταση d_i από αυτή.

$$b \leq d_i \leq a$$

$$t = a - b, t > 0$$

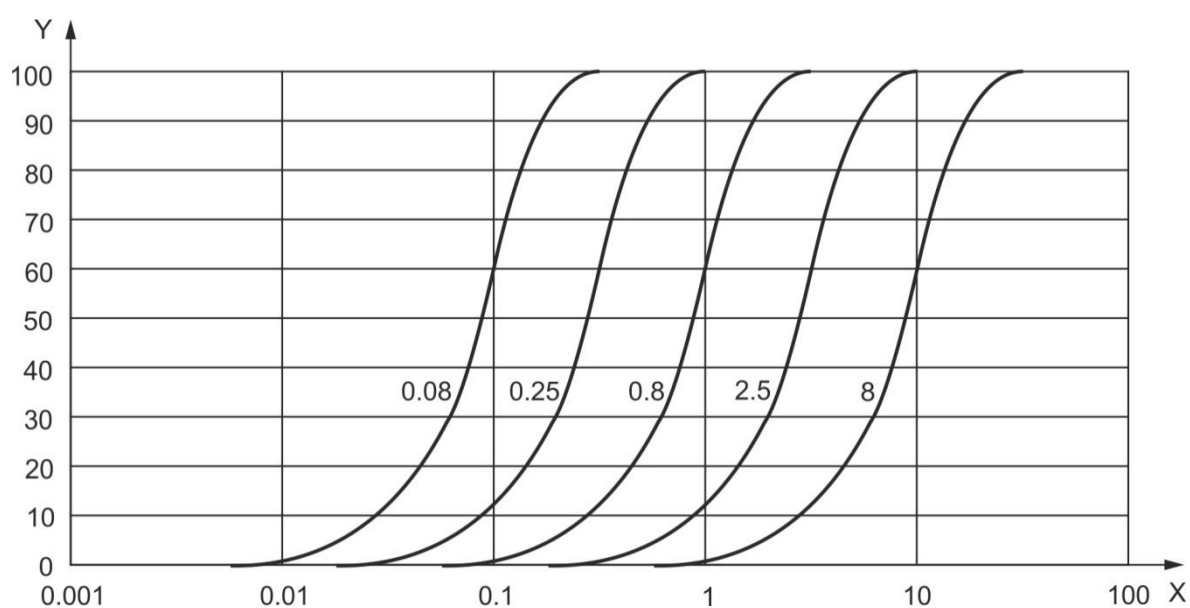
Το σημείο \vec{P}_i πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δυο γραμμές πάνω στο επίπεδο ευθυγραμμότητας. Αυτές οι γραμμές διαχωρίζονται μεταξύ τους από την ανοχή ευθυγραμμότητας t , ενώ είναι παράλληλες προς τη γραμμή αναφοράς.



Σχήμα 6.5: Ζώνη ανοχής ευθυγραμμότητας ενοποιημένου χαρακτηριστικού

6.3 Ζώνη εκπομπής

Φίλτρο μεγάλου μήκους κύματος: Το φίλτρο μεγάλου μήκους κύματος εκπέμπει κύματα απείρου μήκους, των οποίων οι κυματισμοί εξασθενούν σταδιακά γύρω από την περιοχή του μήκους αποκοπής, όπως ακριβώς παρουσιάζεται στο σχήμα 6.6.



X: μήκος κύματος, mm.

Y: εκπομπή, %

Σχήμα 6.6: Χαρακτηριστικά μετάδοσης για φίλτρα μεγάλου μήκους κύματος. Μήκη αποκοπής $\lambda_c = 0,08 \text{ mm}; 0,25 \text{ mm}; 0,8 \text{ mm}; 2,5 \text{ mm}; 8 \text{ mm}$.

Σημείωση: Οι τιμές των φίλτρων μπορούν να τροποποιηθούν σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.

Η συνάρτηση εξασθένησης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_0} = e^{-\pi\left(\frac{a \times \lambda_c}{\lambda}\right)^2}$$

Όπου :

α_0 : Η εξασθένηση του κυματισμού ημιτονοειδούς κύματος πριν την εφαρμογή του φίλτρου.

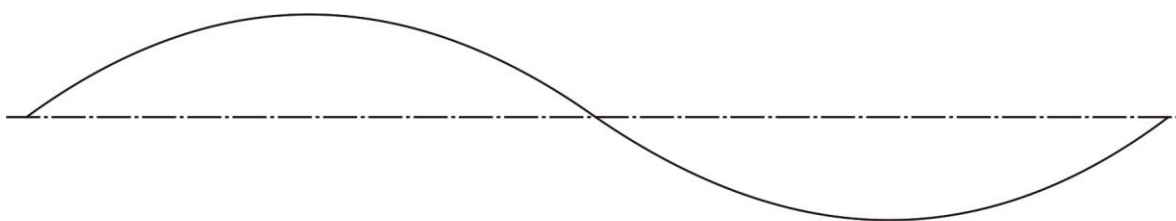
α_1 : Η εξασθένηση του κυματισμού ημιτονοειδούς κύματος μετά την εφαρμογή του φίλτρου.

λ_c : Μήκος αποκοπής προφίλ μεγάλου μήκους κύματος.

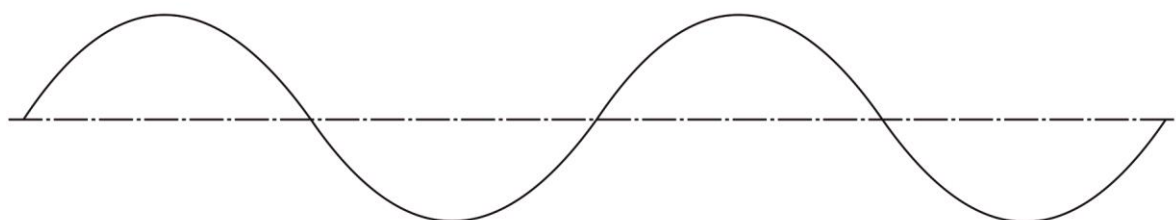
λ : Το μήκος του ημιτονοειδούς κύματος.

6.4 Αρμονικό περιεχόμενο

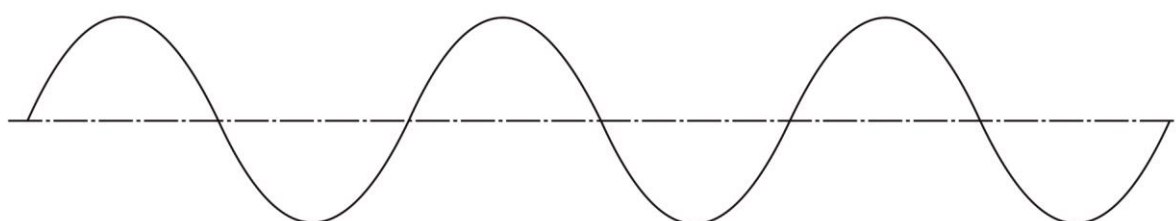
Ένα σήμα πεπερασμένου μήκους μπορεί να αποσυμπιεστεί σε πολλά ημιτονοειδή τμήματα τα όποια ονομάζονται σειρές Fourier. Μια σειρά Fourier αποτελείται από θεμελιώδη ημιτονοειδή κύματα, των οποίων το μήκος είναι ταυτόχρονα και το μήκος του σήματος· καθώς και από αρμονικά ημιτονοειδή κύματα των οποίων το μήκος διαιρείται σε θεμελιώδη μήκη κύματος. Η θεμελιώδης ημιτονοειδής καμπύλη ονομάζεται πρώτη αρμονική του σήματος. Η ημιτονοειδής καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το μισό του θεμελιώδους μήκους κύματος, ονομάζεται δεύτερη αρμονική. Τέλος, η αρμονική καμπύλη, της οποίας το μήκος κύματος ισούται με το ένα τρίτο του θεμελιώδους μήκους κύματος, ονομάζεται τρίτη αρμονική. Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να συνεχίσουμε στην τέταρτη αρμονική, την πέμπτη αρμονική και ούτω καθεξής. Συνεπώς, η n -οστή αρμονική, συνίσταται από το ημιτονοειδές κύμα, του οποίου το μήκος κύματος διαιρείται σε ακριβώς n θεμελιώδη μήκη κύματος.



α) Πρώτη αρμονική



β) Δεύτερη αρμονική



γ) Τρίτη αρμονική

Σχήμα 6.7: Αναπαράσταση αρμονικών καμπύλων

7. ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε καταγραφή των σημαντικότερων κανονισμών, οι οποίοι σχετίζονται με τις γεωμετρικές ανοχές μορφής: Κυλινδρικήτητα, Κυκλικότητα, Ευθυγραμμότητα και Επιπεδότητα. Ειδικότερα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά, οι τρόποι χρήσης και παρουσίασης και οι μέθοδοι χαρακτηρισμού των τεσσάρων αυτών ανοχών μορφής. Παρότι η ελληνική βιβλιογραφία για το παρόν θέμα είναι περιορισμένη, έγινε προσπάθεια να αποδοθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι τεχνικοί οροί λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους κανονισμούς του Διεθνή Οργανισμού Τυποποίησης (ISO).

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, Μηχανολογικό Σχέδιο, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007.
- [2] ISO 1101:2004, Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run-out.
- [3] ISO/TS 12180-1:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) - Cylindricity - Part 1: Vocabulary and parameters of cylindrical form.
- [4] ISO/TS 12181-1:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) - Roundness - Part 1: Vocabulary and parameters of roundness.
- [5] ISO/TS 12780-1:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) - Straightness - Part 1: Vocabulary and parameters of straightness.
- [6] ISO/TS 12781-1:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) - Flatness -- Part 1: Vocabulary and parameters of flatness.
- [7] ISO/TS 12180-2:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) -- Cylindricity -- Part 2: Specification operators.
- [8] ISO/TS 12181-2:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) - Roundness - Part 2: Specification operators.
- [9] ISO/TS 12780-2:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) - Straightness - Part 2: Specification operators
- [10] ISO/TS 12781-2:2003 Geometrical Product Specifications (GPS) - Flatness - Part 2: Specification operators.