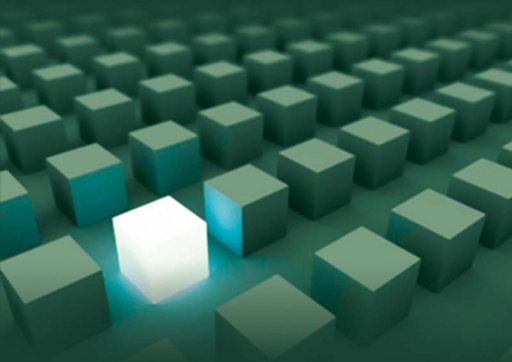


ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ ΚΑΡΑΧΑΛΙΟΥ • ΓΚΑΜΠΡΙΕΛ ΜΑΝΣΟΥΡ

Διαστατική ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑ



Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή των συγγραφέων

ISBN 978-960-456-074-5

© Copyright, 2007, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Καραχάλιου Χαρίκλεια, Μανσούρ Γαμπριέλ

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.



**Φωτοστοιχειοθεσία
Εκτύπωση**

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

180 χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229
e-mail: info@ziti.gr

Βιβλιοπωλείο

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310.203.720, Fax 2310.211.305
e-mail: sales@ziti.gr

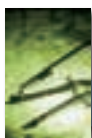
www.ziti.gr

Οι διαστατικές μετρήσεις είναι ένας ζωτικός κρίκος μεταξύ κατασκευαστικού σχεδίου και προϊόντος. Ο σχεδιαστής μηχανικός δίνει λεπτομερειακές προδιαγραφές σε διαστασιολογημένα σχέδια και ο κατασκευαστής μηχανικός τις προσδίδει στην τελική μορφή του προϊόντος με τη βοήθεια κατάλληλων και ποικίλων διαστατικών μετρήσεων. Στη συνέχεια ο ελεγκτής ποιότητας πάλι με διαστατικές μετρήσεις με περισσότερο ή λιγότερο σύνθετα όργανα ελέγχει και εξασφαλίζει την απαιτούμενη ποιότητα. Τόσο οι βασικές όσο και οι πιο εξελιγμένες μέθοδοι μετρήσεων στηρίζονται σε παρεμφερείς αρχές όπως: στήριξη και προσανατολισμός τεμαχίων, ορισμός συστήματος συντεταγμένων και στοιχείων αναφοράς, γεωμετρική συσχέτιση κ.λ.π.

Στην προσπάθεια να περιληφθεί σε ένα βιβλίο όλο το πεδίο των διαστατικών μετρήσεων καθώς η θεωρία των σφαλμάτων μετρήσεων και οι ανοχές διαστάσεων (με τους κατάλληλους πίνακες), δίνεται έμφαση σε αρχές και γενικά χαρακτηριστικά που εφαρμόζονται σε σύνολο μεθοδολογιών και οργάνων.

Το παρόν βιβλίο αφενός καλύπτει διδακτικές ανάγκες της Μετρολογίας και του Ποιοτικού Ελέγχου, αφετέρου είναι χρήσιμο εργαλείο σε όσους ασχολούνται με τις μετρήσεις.

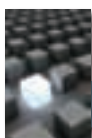
Οι συγγραφείς



Κεφάλαιο 1

Γενικά

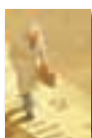
3



Κεφάλαιο 2

Μονάδες και Πρότυπα

2.1	Γενικά	11
2.2	Σύστημα SI	12
2.3	Πρωτότυπα και πρότυπα μέτρησης	16
2.3.1	Πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς	17
2.3.2	Ιεράρχηση προτύπων	18
2.4	Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας	20
2.5	Ορολογία	20



Κεφάλαιο 3

Διαστατική Μετρολογία (DIN 2257 PART I)

3.1	Γενικά	25
3.2	Μονάδες	25
3.2.1	Μονάδες μήκους (DIN 1301 Part 1)	25
3.2.2	Μονάδες γωνίας (DIN 1315)	26
3.3	Μετρολογικές έννοιες	27



Κεφάλαιο 4

Μέτρηση Μήκους

4.1	Βιομηχανικά πρότυπα μέτρησης μήκους	33
4.1.1	Πρότυπα πλακίδια (gage block ή slip gage)	33
4.1.2	Πρότυποι κανόνες	36
4.1.3	Ειδικά πρότυπα (master gage)	36
4.1.4	Πρότυπα ορίου (limit gage)	36
4.2	Συνήθη όργανα μέτρησης μηκών	36
4.2.1	Μετρητικοί κανόνες (rules)	36
4.2.2	Όργανα αρχής βερνιέρου	39
4.2.3	Μικρόμετρο (micrometer)	47
4.3	Όργανα σύγκρισης μηκών	58
4.3.1	Μετρητικό ρολόι (dial indicator)	59
4.3.2	Μετρητικός βραχίονας (lever gauge)	64
4.3.3	Ηλεκτρομηχανικός και ηλεκτρονικός συγκριτής μηκών (electromechanical and electronic comparator)	68
4.3.4	Οπτικός συγκριτής (optical comparator)	69
4.3.5	Πνευματικοί συγκριτές (air gauges) (DIN 2271, Part1-4)	70



Κεφάλαιο 5

Συμβολομετρία

5.1	Φύση του φωτός	77
5.2	Συμβολή φωτεινών κυμάτων	80
5.2.1	Συμβολή κατά την ανάκλαση επί διαφανών πλακιδίων	81
5.3	Οπτικά πλακίδια (optical flats)	86
5.4	Μέτρηση με οπτικά πλακίδια	87
5.4.1	Έλεγχος μορφής επιφάνειας- μέτρηση επιπεδότητας	87
5.4.2	Μέτρηση παραλληλότητας	89
5.4.3	Συγκριτική μέτρηση μήκους	92
5.5	Συμβολόμετρα (interferometers)	94
5.5.1	Συμβολόμετρο Michelson	95
5.5.2	Συμβολόμετρο Hilger για απόλυτη μέτρηση	97
5.5.3	Συμβολόμετρο μεγάλης διαδρομής (long-path interferometer)	99

5.6	Φωτεινές πηγές συμβολομέτρων	101
5.6.1	Ενισχυτές φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή (laser=light amplification by stimulated emission of radiation)	102

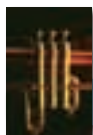


Κεφάλαιο 6

Σφάλματα μέτρησης

6.1	Πηγές σφάλματος	107
6.2	Τύποι σφαλμάτων	107
6.2.1	Συστηματικά σφάλματα, e_s	107
6.2.1.1	Συστηματικά σφάλματα που μπορούν να προσδιοριστούν (γνωστά), $e_{s,k}$	107
6.2.1.2	Συστηματικά σφάλματα που δεν μπορούν να προσδιοριστούν(άγνωστα), $e_{s,u}$	108
6.2.2	Τυχαία σφάλματα, e_r	108
6.3	Υπολογισμός τυχαίων σφαλμάτων	109
6.3.1	Αριθμητική μέση τιμή (mean value)	109
6.3.2	Τυπική απόκλιση s_n (standard variation)	110
6.3.3	Εύρος R (range), τυπική απόκλιση s_R	111
6.4	Κανονική κατανομή (Gaussian distribution)	112
6.5	Διάστημα εμπιστοσύνης μεμονωμένων τιμών (confidence interval)	114
6.6	Διάστημα εμπιστοσύνης μέσης τιμής, VB_x	114
6.7	Αβεβαιότητα μέτρησης (measurement uncertainty)	114
6.8	Υπολογισμός αβεβαιότητας μέτρησης	115
6.8.1	Αποτέλεσμα μέτρησης	115
6.8.2	Αβεβαιότητα αποτελέσματος μέτρησης ενός μεγέθους	115
6.8.3	Αβεβαιότητα αποτελέσματος μέτρησης εξαρτώμενο από περισσότερα μεγέθη	116
6.8.4	Τελικό αποτέλεσμα μέτρησης	116
6.9	Εκτίμηση της μεθόδου μέτρησης	116
6.10	Παραδείγματα	117
A.	Διακρίβωση μικρομέτρου	117
B.	Υπολογισμός σφαλμάτων	118
Γ.	Αβεβαιότητα αποτελέσματος μέτρησης εξαρτώμενο από ένα μετρημένο μέγεθος	120

Δ. Αβεβαιότητα αποτελέσματος μέτρησης εξαρτώμενο από περισσότερα μετρημένα μεγέθη	121
Ε. Εκτίμηση μεθόδων μέτρησης	122



Κεφάλαιο 7

Ανοχές Διαστάσεων - Συναρμογές

7.1	Γενικά	127
7.2	Ορολογία	127
7.3	Συμβολισμός ανοχής	134
7.4	Ανοχές-βασικές αποκλίσεις για ονομαστικά μεγέθη έως 3150 mm	135
7.5	Γραφική παράσταση πεδίου ανοχών αξόνων και τρυμάτων	140
7.6	Πρότυπα ορίου ή ελεγκτήρες ορίου (limit gages)	145
7.6.1	Γενικά	145
7.6.2	Αρχή λειτουργίας προτύπων ορίου	147
7.6.3	Έλεγχος εξωτερικών- εσωτερικών διαστάσεων	148
7.6.3.1	Ανοχές ελεγκτήρων ορίου	151
7.7	Ασκήσεις	152
7.7.1	Εισαγωγικά	152
Παράρτημα 7.A	Βασικά στοιχεία τυποποιημένων ανοχών και ορίων αποκλίσεων του συστήματος I.S.O	169
7.A.1	Τυποποιημένες ανοχές	169
7.A.2	Τυποποιημένες βασικές αποκλίσεις	172
7.A.3	Παραδείγματα χρήσης κανονισμού ISO 286-1,-2	176
Παράρτημα 7.B	Όρια αποκλίσεων αξόνων α έως zc Όρια αποκλίσεων τρυμάτων A έως ZC	177



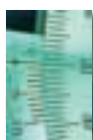
Κεφάλαιο 8

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Τεχνολογικών Επιφανειών

8.1	Γενικές έννοιες – ορισμοί	213
8.2	Τυποποίηση τραχύτητας επιφάνειας	218
A.	Σύστημα ανεστραμμένων τριγώνων (▽)	218
B.	Σύστημα Μέσης Γραμμής M (Mean line)	220
Γ.	Σύστημα Περιβάλλουσας ή σύστημα E (Envelope)	221

8.2.1 Παρατηρήσεις επί των συστημάτων Μ και Ε	222
8.3 Χαρακτηριστικές παράμετροι επιφάνειας κατά το σύστημα Μ	222
8.3.1 Γενικά	222
8.3.2 Μήκη μέτρησης	223
8.3.2.1 Σημασία σωστής επιλογής δειγματοληπτικού μήκους	225
8.3.3 Συμβολισμός παραμέτρων	226
8.3.4 Οι όροι – κορυφή (peak) και εσοχή (valley) – περιγράμματος επιφάνειας	227
8.4 Ορισμοί παραμέτρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών τεχνολογικών επιφανειών	228
8.4.1 Καθύψος παράμετροι	228
8.4.2 Κατά μήκος παράμετροι	235
8.4.3 Υβριδικές παράμετροι	237
8.5 Στατιστική ανάλυση γεωμετρικών χαρακτηριστικών επιφανειών ...	241
8.5.1 Συμβατική στατιστική ανάλυση	241
8.5.2 Ανάλυση στοχαστικών διαδικασιών	242
8.5.2.1 Συνάρτηση στατιστικής κατανομής υψών $f(z)$ (Amplitude Density Function, ADF)	242
8.5.2.2 Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης $R(\lambda)$ (AutoCorrelation Function, ACF) και συνάρτηση φασματικής πυκνό- τητας $S(\omega)$ (Power Spectrum Density Function, PSDF)	244
8.6 Συμβολισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών τεχνολογικών επιφανειών	247
8.7 Βαθμοί τραχύτητας που επιτυγχάνονται με τις διάφορες κατερ- γασίες κοπής	251
8.7.1 Επίδραση μεταβλητών κοπής στην τραχύτητα επιφάνειας	251
8.8 Συσχέτιση τραχύτητας επιφάνειας-ανοχών-λειτουργίας επιφάνειας-κόστους κατεργασίας	255
8.9 Απαιτήσεις τραχύτητας κατά τη σχεδίαση τεμαχίων	259
8.10 Μετρήσεις, Έλεγχος και Οργανολογία της τραχύτητας	260
8.10.1 Οπτικά όργανα	260
8.10.2 Μηχανικά όργανα τύπου στυλίσκου (προφίλομετρία) (stylus type)	269
8.10.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο ομάδων οργάνων μελέτης τραχύτητας επιφανειών	276
8.11 Κανόνες και μεθοδολογία μέτρησης τραχύτητας τεχνολογικών επιφανειών με μέθοδο αρχής στυλίσκου (EN ISO 4288 :1997)	281
8.11.1 Σημασία των δηλωμένων τιμών τραχύτητας επί του μηχανολο- γικού σχεδίου	281

8.11.2 Μέθοδοι γρήγορου ελέγχου τραχύτητας επιφάνειας	281
8.11.3 Μέτρηση τραχύτητας επιφάνειας	282
8.11.4 Συνθήκες μέτρησης	283
8.11.4.1 Κατεύθυνση διαδρομής μέτρησης	283
8.11.4.2 Μήκη κύματος αποκοπής και δειγματοληπτικά μήκη	283
8.11.4.3 Ενεργό μήκος	285



Κεφάλαιο 9

Μέτρηση Γωνιών

9.1 Γενικά	289
9.2 Συγκριτικές μέθοδοι μέτρησης	297
9.3 Άμεση μέτρηση	305
9.3.1 Γωνιόμετρο (bevel protractor)	305
9.4 Μέτρηση γωνιακής απόστασης με κυκλικό διαιρέτη (circular dividing)	308
9.4.1 Βαθμονόμηση κυκλικού διαιρέτη οργάνων	311
9.4.2 Σφάλμα ομοκεντρότητας κύκλων	312
9.5 Οπτικά όργανα	313
9.6 Όργανα με αρχή το φαινόμενο της βαρύτητας	315
9.6.1 Στάθμη (level)	315
9.6.2 Κλινόμετρο (clinometer)	318



Κεφάλαιο 10

Μέτρηση Ευθυγραμμότητας, Επιπεδότητας, Καθετότητας

10.1 Γενικά	323
10.2 Οπτική μεθοδολογία	324
10.3 Ευθυγραμμότητα	328
10.4 Επιπεδότητα	335
10.5 Καθετότητα	341
10.5.1 Μηχανικά όργανα για τον έλεγχο καθετότητας	344
10.5.2 Οπτικά όργανα μέτρησης καθετότητας	346
10.5.3 Από την παραλληλότητα στην καθετότητα	346

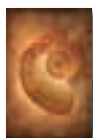
10.6	Παραδείγματα εφαρμογών οργάνων με αυτοδιευρυντή δέσμης στη διαστατική μετρολογία	347
------	----------------------------------------------------------------------------------------	-----



Κεφάλαιο 11

Σφαιρικότητα - Κυκλικότητα

11.1	Γενικά	355
11.2	Ορισμοί- έννοιες (ISO 1101:1983/Ext 1:1983)	356
11.3	Μέτρηση κυκλικότητας: πως επιτυγχάνεται	361
11.4	Χαρακτηριστικές μορφές σφάλματος κυκλικότητας	363
11.5	Λειτουργική ανάγκη μελέτης κυκλικότητας	367
11.6	Συστήματα μέτρησης κυκλικότητας	370
11.6.1	Συστήματα μέτρησης κυκλικότητας με αναφορά ως προς εσωτερικά στοιχεία	371
11.6.1.1	Διαμετρική μέτρηση	371
11.6.1.2	Μέτρηση με στήριξη σε πρότυπα τύπου-V (V-block) (BS3731:1987)	373
11.6.1.3	Μέτρηση με στήριξη σε κέντρα	378
11.6.2	Συστήματα μέτρησης κυκλικότητας με αναφορά ως προς εξωτερικά στοιχεία	380
11.6.2.1	Αρχή λειτουργίας	381
11.6.2.2	Όργανα μέτρησης	382
11.6.2.3	Σύγκριση των δύο οργάνων	383
11.6.2.4	Εκτίμηση γεωμετρίας τεμαχίου	384
11.6.2.5	Μετρήσεις σε οριζόντιες επιφάνειες	386
11.6.2.6	Μέτρηση ευθυγραμμότητας	388
11.6.2.7	Μετρήσεις σε ασυνεχείς επιφάνειες	389
11.6.2.8	Μορφή στυλίσκου σε όργανα μέτρησης κυκλικότητας	389
11.6.2.9	Μελέτη πολικού διαγράμματος	390
11.6.2.10	Αποτίμηση κυκλικότητας από πολικό διάγραμμα	393
11.7	Κυλινδρικότητα	398
11.7.1	Μέτρηση κυλινδρικότητας	398
11.7.2	Τεχνική μέτρησης κυλινδρικότητας	402
11.7.3	Επισημάνσεις κατά τη μέτρηση της κυκλικότητας	404
11.8	Μέτρηση σφαιρικότητας χωρίς επαφή	407
11.8.1	Συμβολόμετρο σφαιρικότητας	407



Κεφάλαιο 12

Σπειρώματα

12.1	Ιστορικά στοιχεία	411
12.2	Γενικά	411
12.3	Βασικά χαρακτηριστικά σπειρωμάτων	411
12.4	Είδη σπειρωμάτων	414
12.5	Προτυποποίηση σπειρωμάτων – ανοχές σπειρωμάτων	414
12.6	Μετρικό σύστημα σπειρωμάτων γενικής χρήσης κατά ISO	418
12.6.1	Επιλογή διαμέτρου και βήματος (ISO 261:1998)	418
12.6.2	Ανοχές (ISO 965-1)	422
12.6.2.1	Δομή του συστήματος ανοχών	423
12.6.2.2	Συμβολισμός	423
12.6.2.3	Ποιότητα ανοχής	426
12.6.2.4	Κατηγορία ανοχής	426
12.6.2.5	Μήκος κοχλίωσης	426
12.6.2.6	Ανοχές διαμέτρων κορυφής	427
12.6.2.7	Ανοχές μέσης διαμέτρου	427
12.6.2.8	Συνιστώμενες κλάσεις ανοχών	437
12.6.2.9	Τύποι	438
12.7	Σφάλματα σπειρωμάτων	441
12.7.1	Σφάλμα βήματος	441
12.7.2	Σφάλμα γωνίας πλευρών	442
12.8	Έλεγχος σπειρωμάτων	444
12.9	Ελεγκτήρες σπειρωμάτων (Thread Gages)	445
12.9.1	Ελεγκτήρες εσωτερικών σπειρωμάτων (Limit Thread Plug Gages)	445
12.9.2	Ελεγκτήρες εξωτερικών σπειρωμάτων (Thread Ring Gages)	445
12.10	Ελεγκτήρες με ένδειξη	447
12.11	Εργαλεία χειρός για τη μέτρηση σπειρωμάτων	449
12.10.1	Πρότυποι κανόνες σπειρωμάτων (center gages)	449
12.10.2	Σπειρόμετρα (screw pitch gages)	450
12.10.3	Μικρόμετρο σπειρωμάτων (screw thread micrometer)	450
12.12	Μέτρηση χαρακτηριστικών στοιχείων σπειρωμάτων	451
12.12.1	Μέτρηση μέσης διαμέτρου με τη μέθοδο των συρμάτων	452
12.12.2	Μικρή διάμετρος	456
12.12.3	Μέτρηση βήματος	457
12.12.4	Έλεγχος μορφής ελικοειδούς γραμμής.	457

12.13	Έλεγχος σπειρωμάτων με οπτικά όργανα	458
12.13.1	Οπτικός έλεγχος εσωτερικών σπειρωμάτων	460
12.13.2	Προβολή σπειρώματος	460
12.14	Αναλυτής ελικοειδούς γραμμής	462



Κεφάλαιο 13

Μηχάνες Τρισδιάστατων Μετρήσεων

13.1	Γενικά	467
13.2	Αρχή λειτουργίας	468
13.3	Τύποι μετρητικών μηχανών CMM	470
13.4	Τύποι αισθητήρων	472
13.4.1	Αισθητήρες με επαφή	473
13.4.1.1	Διακρίβωση κεφαλής αισθητήρα	477
13.4.2	Αισθητήρες χωρίς επαφή	479
13.5	CMM καθοδηγούμενες άμεσα με υπολογιστή	480
	(Direct Computer Control, DCC)	480
13.6	Λογισμικό CMM	480
13.6.1	Διαμόρφωση λογισμικού	481
13.7	Συστήματα συντεταγμένων	485
13.8	Διαστασιολόγηση	488
13.8.1	Δισδιάστατη διαστασιολόγηση (2D)	488
13.8.2	Τρισδιάστατη διαστασιολόγηση (3D)	489
13.8.3	Μέτρηση ανοχών	489
13.9	Μετρολογικά χαρακτηριστικά των CMM	491
13.10	Εφαρμογές	491
13.10.1	Έλεγχος διαστάσεων και ανοχών γεωμετρικών χαρακτηριστικών	491
13.10.2	Σάρωση αντικειμένου	497
	Βιβλιογραφία	503
	Ευρετήριο ελληνικών όρων	507
	Ευρετήριο αγγλικών όρων	513

Κεφάλαιο

1

Εισαγωγή



Μετρολογία ή **Μετροτεχνία** είναι η επιστήμη των μετρήσεων. Η επιστήμη αυτή είναι ο θεμέλιος λίθος της συστηματικής προσέγγισης για την ποσολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η συστηματική αυτή προσέγγιση περιέχει:

1. Ορισμό των προτυποποιημένων μονάδων, που λέγονται *μονάδες μέτρησης* και οι οποίες επιτρέπουν τη μετατροπή γενικών εννοιών (π.χ. μήκος, μάζα) σε μια μορφή προσδιορισμένης ποσότητας (π.χ. μέτρο, χιλιόγραμμα).
2. Όργανα τα οποία βαθμονομούνται με τις κατάλληλες μονάδες μέτρησης.
3. Χρήση των οργάνων αυτών για την ποσολόγηση ή προσδιορισμό της έκτασης, που το προϊόν ή η διαδικασία κατέχει το υπό μελέτη χαρακτηριστικό. Η διαδικασία αυτή καλείται *μέτρηση*.

Η λέξη μέτρηση έχει διάφορες έννοιες με κυρίαρχες :

- ▀ τη διαδικασία ποσολόγησης, π.χ. η μέτρηση έγινε στο εργαστήριο και
- ▀ το αριθμητικό αποτέλεσμα, π.χ. η μέτρηση βρίσκεται εντός των ανοχών.

Αν μετρολογία είναι η επιστήμη των μετρήσεων, τότε η μέτρηση είναι η γλώσσα της επιστήμης αυτής. Είναι η γλώσσα που χρησιμοποιείται για επικοινωνία σε θέματα σχετικά με το μέγεθος, την ποσότητα, τη θέση, τις συνθήκες, το χρόνο.

Τρεις είναι οι λόγοι που επιβάλουν στην επικοινωνία μας τις μετρήσεις. Πρώτον, για να μπορεί κανείς να κάνει μία επιστημονική περιγραφή. Δεύτερον, οι μετρήσεις χρειάζονται για να κατασκευάζονται πράγματα και τρίτον, χρειάζονται μετρήσεις για να ελεγχθεί ο τρόπος με τον οποίο έχουν κατασκευαστεί αυτά. Αυτός είναι ο ρόλος του επιθεωρητή και του ποιοτικού ελέγχου. Για να γίνει αυτό απαιτούνται όργανα μέτρησης-ελέγχου και ειδικοί.

Δεν είναι δυνατόν να δοθεί μία ολοκληρωμένη πληροφορία για οποιοδήποτε πράγμα χωρίς μέτρηση. Η μέτρηση είναι απαραίτητη σε οποιαδήποτε κατασκευή. Προτού να καθιερωθούν οι αριθμητικές τιμές, η εφαρμογή των αντικειμένων μεταξύ τους γινόταν με δοκιμές και διορθώσεις (trial and error). Οι μετρήσεις γίνονται από τον ίδιο τον κατασκευαστή για να ελέγξει την πορεία της εργασίας του ή και από τον επιθεωρητή ή τον υπεύθυνο του ποιοτικού ελέγχου. Οποιαδήποτε απόφαση των ανθρώπων του ποιοτικού ελέγχου εξαρτάται από τις πληροφορίες (δεδομένα) που παίρνουν. Φυσικά, οι μετρήσεις που απαιτούνται σε ένα πεδίο μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικές από αυτές που απαιτούνται σε ένα άλλο.

Η πρόοδος στην ανθρωπότητα συμβαδίζει με την ικανότητα μέτρησης. Η μέτρηση στην πράξη είναι μία διεθνής γλώσσα. Η εναλλαξιμότητα τεμαχίων, που στις μέρες μας κατασκευάζονται ακόμα και σε διαφορετικές χώρες, οδήγησαν στη δημιουργία προτύπων. Όλοι οι άνθρωποι της βιομηχανίας σήμερα αναγνωρίζουν τα ίδια πρότυπα και χρησιμοποιούν τα ίδια συστήματα μέτρησης. Ο βαθμός ακρι-

βείας που επιτυγχάνεται στις μετρήσεις (και αναφέρεται στις κατασκευές), αποτελεί ασφαλή δείκτη του τεχνολογικού επιπέδου μιας χώρας.

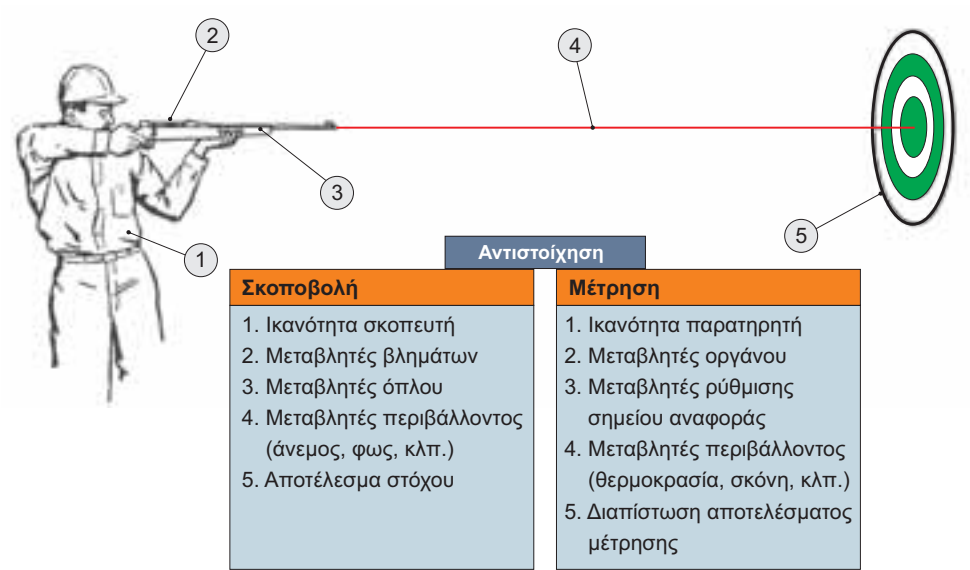
Για να είμαστε ειλικρινείς, μετρολογία είναι η μέτρηση μάζας, μήκους, χρόνου. Όλες οι άλλες ποσότητες που περιέχονται στη μηχανική, ηλεκτρονική, χημεία, υδραυλική προέρχονται από αυτές.

Το βιβλίο αυτό αναφέρεται στις μετρήσεις και ιδιαίτερα στις διαστατικές μετρήσεις. **Διαστατικές μετρήσεις** είναι εκείνες που χρησιμοποιούμε καθημερινά για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των αντικειμένων που μας περιβάλλουν, όπως επίσης για να εκφράζουμε παλιά, σύγχρονα ή μελλοντικά αντικείμενα. Το βασικό διαστατικό μέγεθος είναι το *μήκος*, το οποίο σχετίζεται στενά με τη *γωνία* και την *καμπυλότητα*. Οποιαδήποτε έκφραση αυτών αναφέρεται ως *διάσταση*. Έτσι με τη χρήση τους μπορούμε π.χ. να περιγράψουμε μορφή επιφάνειας, επιπεδότητα, να γίνει γωνιακή συσχέτιση χαρακτηριστικών κ.ά. Κάθε μέτρηση αρχίζει από το *σημείο αναφοράς* και τελειώνει στο *μετρούμενο σημείο*. Τα σημεία αυτά συνήθως είναι αντιστρέψιμα και βρίσκονται κατά μήκος της *γραμμής μέτρησης*. Η γραμμική μέτρηση εκφράζει την απόσταση μεταξύ των δύο αυτών διακεκριμένων σημείων, που καλούνται *χαρακτηριστικά*. Τα χαρακτηριστικά σε πραγματικά τεμάχια οριοθετούνται από γραμμές και επιφάνειες. Όταν ένα χαρακτηριστικό είναι γνωστό εμπεριέχει μέτρηση. Έτσι, έχει μήκος και διεύθυνση. Ακόμη, έχει χρόνο και θερμοκρασία. Αν ένα τεμάχιο φθείρεται, τότε μία παλιά μέτρηση ενός χαρακτηριστικού του μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την πραγματική του διάσταση. Αν είναι ζεστό, μπορεί να είναι μεγαλύτερο απ'ότι αν είναι κρύο. Συχνά, ο χρόνος και η θερμοκρασία παραβλέπονται, αλλά είναι μεγάλη η σημασία τους και δεν πρέπει να αγνοούνται όταν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια.

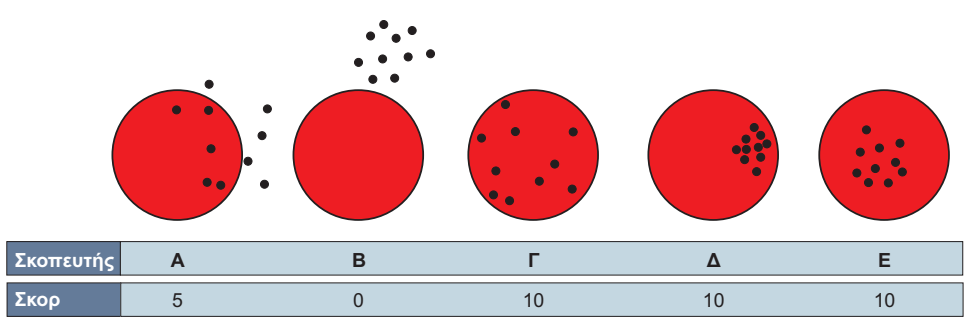
Οι έννοιες που συνήθως συγχέονται στη Μετρολογία και τον Ποιοτικό έλεγχο είναι η *ακρίβεια μετρήσεων* (accuracy), η *διασπορά μετρήσεων* (precision) και η *αξιοπιστία* (reliability). Στο σημείο αυτό θα γίνει μία προσπάθεια να γίνουν οι έννοιες αυτές γενικότερα κατανοητές, ώστε να γίνεται σωστή χρήση τους και αργότερα, στο κατάλληλο κεφάλαιο, θα εκφραστούν με μαθηματικούς όρους.

Ο J.M. Juran, στο βιβλίο του Quality Control Handbook, συγκρίνει πέντε σκοπευτές σ' έναν αγώνα σκοποβολής. Αν κάθε βολή σκοπευτή πετυχαίνει το στόχο ή όχι εξαρτάται από τέσσερες ομάδες μεταβλητών: την ικανότητα σκοποβολής του ανδρός, το όπλο, το φυσίγγιο και το περιβάλλον. Στο *σχήμα 1.1* φαίνονται οι μεταβλητές αυτές καθώς και η αντιστοίχισή τους με αυτές της μέτρησης. Κάθε μια από αυτές μπορεί να διαιρεθεί σε περισσότερες μεταβλητές. Για παράδειγμα το περιβάλλον εμπεριέχει τον άνεμο, τη θερμοκρασία, συνθήκες ηλιοφάνειας και άλλα.

Επίσης η εκτίμησή μας δεν βασίζεται μόνο σε μία βολή, γιατί το αποτέλεσμα μπορεί να είναι τυχαίο. Υπάρχουν δέκα βολές για κάθε άνδρα. Για λόγους απλότητας, ο στόχος θεωρείται στρογγυλός και βολές εντός αυτού είναι καλές ενώ εκτός είναι κακές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο *σχήμα 1.2*. Τα αποτελέσματα για τον Α σκοπευτή είναι 5 καλά, 5 άσχημα. Ο σκοπευτής Β πέτυχε μια σφιχτή αλλά κακή ομάδα βολών. Ο σκοπευτής Γ πετυχαίνει μία ομάδα βολών όμοια με αυτή του Α αλλά όλες εντός του στόχου, καλές. Αν και οι βολές του δεν έχουν τη μικρή διασπορά του Β, αλλά έχουν τη διασπορά του Α, εν τούτοις είναι όλες καλές. Δηλαδή οι βολές του Γ είναι πιο ακριβείς και από τις βολές του



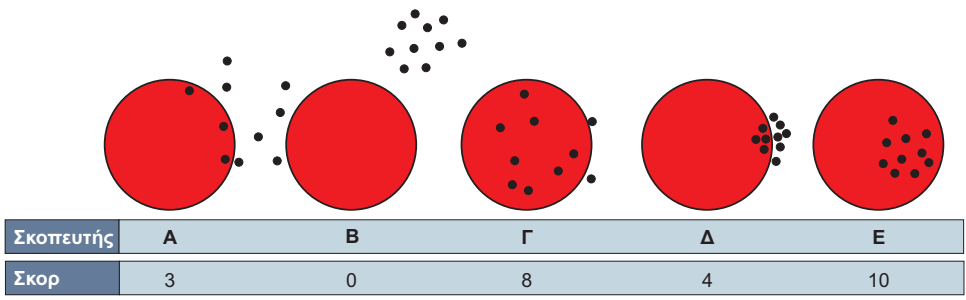
Σχήμα 1.1: Η μέτρηση επηρεάζεται από μεταβλητές όμοιες με εκείνες που επηρεάζουν το σκορ σκοποβολών.



Σχήμα 1.2: Ακρίβεια, διασπορά, αξιοπιστία σκοπευτών.

Α και από τις βολές του Β. Ο Δ πετυχαίνει μια σφιχτή ομάδα βολών (high precision), όλων καλών. Αυτός έχει μικρότερη διασπορά από τον Γ παρόλο που έχουν το ίδιο σκορ.

Τέλος, ο Ε κατορθώνει μία σφιχτή ομάδα βολών γύρω από το κέντρο του στόχου. Πολύ καλές βολές, χωρίς όμως το σκορ του να είναι καλύτερο ούτε του Γ, ούτε του Δ. Αυτό φαίνεται λίγο άδικο και γι' αυτό γίνεται προσπάθεια να ειπωθεί κάτι γι' αυτόν, που να δείχνει ότι είναι ο καλύτερος σκοπευτής. Αυτό το κάτι είναι η λεγόμενη αξιοπιστία. Αν βάζαμε στοίχημα για τα αποτελέσματα μιας επόμενης σειράς βολών των ίδιων ανδρών, προφανώς θα σκοράραμε πολύ περισσότερο στον Ε παρά σε οποιονδήποτε άλλον. Αλλά γιατί; Η σκοπευτική ικανότητα των ανδρών είναι μόνο μία από τις μεταβλητές. Ας υποθέσουμε ότι οι 10 βολές είναι αρκετές για να δείξουν την ικανότητά τους. Μετά ας υποθέσουμε ότι μία από τις άλλες μεταβλητές αλλάζει. Άνεμος σηκώνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά, οπότε τα επόμενα αποτελέσματα ίσως είναι τα του σχήματος 1.3. Ο Α έχει μόνο 3 βολές καλές. Αν όμως, ο άνεμος ήταν από δεξιά προς αριστερά θα μπορούσε να έχει κερδίσει. Είναι μία περίπτωση όχι πολύ αξιόπιστη. Οι βολές του Β με μικρή διασπορά όπως πάντα, αλλά γι' αυτόν ο άνεμος ήταν καταστροφικός. Ο Γ, ευγνώμων στον άνεμο, έχασε μόνον δύο βολές. Αν ο άνεμος ήταν από δεξιά θα έχανε περισσότερες. Αυτός βρίσκεται σε λιγότερο ευνοϊκή θέση από τον Α, γιατί σχεδόν οποιαδήποτε αλλαγή του ανέμου (αριστερός, δεξιός) του προκαλεί απώλειες. Στον Δ η πολύ μικρή διασπορά των βολών τον ανάγκασε να χάσει και να πέσει από σκορ 10 σε 4. Αν οι βολές του είχαν μεγαλύτερη διασπορά πιθανόν περισσότερες βολές του παρέμεναν καλές. Από την άλλη πλευρά, αν ο άνεμος ήταν αντίθετος, αυτή η διασπορά θα τον προστάτευε. Βέβαια δεν είναι αξιόπιστος τρόπος για να κερδίζει κανείς αγώνες σκοποβολής. Ο Ε μπορεί να ανεχθεί επεμβάσεις πέραν του ελέγχου του γιατί έχει άνετο περιθώριο γύρω από την ομάδα των βολών του. Αυτό είναι αξιοπιστία. Υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα για τον Ε, παρά για οποιονδήποτε άλλον, να έχει αποτελέσματα όπως σχεδίαζε.

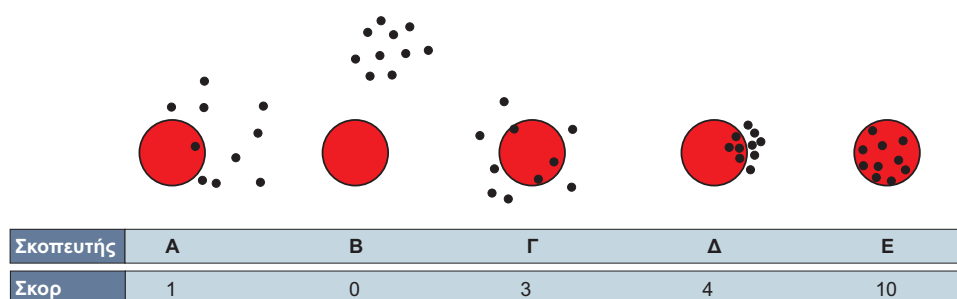


Σχήμα 1.3: Αλλαγή μιας μεταβλητής, άνεμος, αλλάζει το αποτέλεσμα. Ποιος σκοπευτής είναι αξιόπιστος;

Με το παράδειγμα αυτό πρέπει οι έννοιες να έγιναν κατανοητές. Στο παράδειγμα που δόθηκε, έγινε εφαρμογή στη σχετική ικανότητα βολής των πέντε ανδρών. Αν μόνον ένας άνδρας πυροβολούσε αλλά με τη χρήση διαφορετικών όπλων σε κάθε ομάδα βολών, τότε θα προσδιορίζονταν η ακρίβεια, η διασπορά και η αξιοπιστία των όπλων. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται η εκτίμηση και των άλλων μεταβλητών.

Οι ορισμοί αυτοί εφαρμόζονται σε αποτελέσματα αρκετών βολών (ή μετρήσεων ή παρατηρήσιμων φαινομένων). Δεν εφαρμόζονται σε μία απλή παρατήρηση. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να προκύψουν αξιόπιστα συμπεράσματα αν γινόταν μία μόνο βολή από κάθε σκοπευτή; Όχι. Είναι δυνατόν να γίνουν κάποιες προβλέψεις, αλλά μόνον αυτό. Ενώ αν έχουν παρατηρηθεί ομάδες βολών, μετά μπορούν να γίνουν αξιόπιστες προβλέψεις για την επόμενη βολή.

Στο σχήμα 1.4 το μέγεθος του στόχου (νέο πρότυπο στο οποίο πρέπει να γίνει προσαρμογή) έχει ελαττωθεί στο ήμισυ του προηγούμενου. Είναι προφανές ότι για να έχουμε τώρα 10 ακριβείς βολές, η διασπορά των βολών δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη του Β, Δ και Ε. Οι βολές του Γ δεν έχουν αλλάξει αλλά, επειδή ο στόχος απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια, η διασπορά του δεν είναι επαρκής και το σκορ πέφτει από 10 σε 3. Ενώ η διασπορά του Δ είναι ικανή να δώσει σκορ 10 αλλά η ακρίβειά του το μειώνει σε 4. Μόνο ο ικανότατος σκοπευτής Ε έχει και τα δύο, καλή ακρίβεια και μικρή διασπορά, που απαιτούνται για να διατηρήσει το 100% του σκορ. Σημειώνεται επίσης ότι ο σκοπευτής Ε έχει περιθώρια ασφαλείας. Αν επανεμφανισθεί άνεμος οποιασδήποτε φοράς απλώς θα ελαττώσει λίγο το σκορ του. Το συμπέρασμα είναι πως το πρόβλημα της αξιοπιστίας μεγαλώνει όταν οι συνθήκες γίνουν πιο αυστηρές.



Σχήμα 1.4: Η ελάττωση του μεγέθους του στόχου δείχνει ότι η απαίτηση ακρίβειας επιτάσσει και μικρή διασπορά.

Συνοψίζοντας, μπορεί να πει κανείς πως η μέτρηση αναδεικνύει την απόκλιση από την τελειότητα (επιθυμητό). Ακρίβεια είναι μία σχετική υπόθεση. Είναι η

σύγκριση επιθυμητών και μη επιθυμητών αποτελεσμάτων. Στις μετρήσεις συχνά αποδίδεται και με τον όρο σφάλμα, γιατί εκφράζει την απόκλιση της μέσης τιμής πλήθους τιμών από την αληθή (επιθυμητή) τιμή του μεγέθους. Διασπορά είναι το μέτρο απόκλισης των αποτελεσμάτων μεταξύ τους. Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα τα αποτελέσματα να είναι τα αναμενόμενα. Η επίδραση της ακρίβειας και της διασποράς στην πραγματοποίηση των επιθυμητών αποτελεσμάτων αποδίδεται ως αξιοπιστία. Αυξημένη αξιοπιστία απαιτεί μεγάλη ακρίβεια και αυτή απαιτεί μικρή διασπορά. Αν υπάρχει μεγάλη διασπορά δεν υπάρχει ούτε ακρίβεια ούτε αξιοπιστία. Είναι ευκρινώς διαφορετικές έννοιες. Ακρίβεια και διασπορά αναφέρονται στην ιστορία (εκπυρσοκροτήσεις ή αποτελέσματα μετρήσεων που έχουν γίνει). Από τις τιμές αυτών (ιστορία) μπορεί κανείς να μιλήσει για το προσδοκώμενο μέλλον ήτοι την αξιοπιστία τους (βολών ή μετρήσεων).

Στο βιβλίο αυτό θα δοθεί περισσότερη έμφαση στις μεθόδους μέτρησης παρά στα όργανα μέτρησης. Αυτό γιατί η βιομηχανία και η επιστήμη έχουν επίγνωση της εξάρτησής τους από την ικανότητα μέτρησης με μεγάλη ακρίβεια. Η εξέλιξη των οργάνων μέτρησης γίνεται ραγδαία. Τα αυριανά όργανα δε θα μοιάζουν με τα σημερινά, όμως οι αρχές θα παραμένουν οι ίδιες όπως όταν αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά. Η μέτρηση εκτός από επιστημονική μέθοδος είναι και τεχνική. Η τεχνική βέβαια εξελίσσεται με την εμπειρία.

Κεφάλαιο

2

Μονάδες
Πρότυπα &



Είναι θεμελιώδης αρχή να ορίζεται η κατάλληλη μονάδα μέτρησης πριν από οποιαδήποτε μέτρηση. Δύο συστήματα μονάδων έχουν επικρατήσει διεθνώς: το **Μετρικό** και το **Αγγλοσαξονικό**. Το μετρικό σύστημα ανήκει εξ' ολοκλήρου στο δεκαδικό σύστημα και βασίζεται κυρίως σε μονάδες που οι επιστήμονες ανέπτυξαν τον δέκατο-ένατο και τον εικοστό αιώνα. Το αγγλοσαξονικό σύστημα είναι μερικώς δεκαδικό και περιέχει μονάδες μέτρησης που καθιερώθηκαν κατά τη βιομηχανική επανάσταση. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα πολλά κράτη, που χρησιμοποιούσαν το αγγλοσαξονικό ή άλλα συστήματα, άρχισαν να υιοθετούν το μετρικό. Στις αρχές του 1970 όλες οι βιομηχανικές χώρες, με μοναδική εξαίρεση το Ενωμένο Βασίλειο και τις Ηνωμένες Πολιτείες, είτε είχαν υιοθετήσει είτε είχαν πάρει απόφαση να υιοθετήσουν το μετρικό σύστημα. Η αντίσταση των Η.Π.Α. στο μετρικό σύστημα προέρχονταν κυρίως από τη μεγάλη επένδυση στο αγγλοσαξονικό, συνοδευόμενη από το σχετικά μικρό όγκο διεθνούς εμπορίου σε σχέση με το συνολικό μέγεθος της οικονομίας. Γι' αυτό οι βιομηχανίες, που συμμετέχουν δυναμικά στο διεθνές εμπόριο, έχουν ευρέως υιοθετήσει και τα δύο συστήματα ή έκαναν πλήρως τις αλλαγές τους στο μετρικό. Σε καθαρά τεχνολογική βάση το μετρικό σύστημα θεωρείται προτιμότερο του αγγλοσαξονικού. Η σταδιακή μετατροπή συνεχίζεται και εκτιμάται ότι θα ολοκληρωθεί στο μέλλον. Το κόστος αυτής της αλλαγής σε ειδικές περιπτώσεις ποικίλει. Διπλές κλίμακες ανάγνωσης για τα όργανα ή διπλοί πίνακες ένδειξης στις μηχανές μπορεί να στοιχίζουν λιγότερο από την εγκατάσταση ενός νέου δεκαδικού συστήματος. Αλλά εκτός από τις μετατροπές στις εργαλειομηχανές, όργανα και μικρά εργαλεία υπάρχουν και άλλα κόστη, που κυρίως προέρχονται από:

- ◆ αναθεώρηση προδιαγραφών, προτύπων και άλλων τεκμηρίων,
- ◆ προώθηση διπλών συλλογών ανταλλακτικών κατά τη διαδικασία μετατροπής,
- ◆ επανεκπαίδευση προσωπικού.

Γενικώς, υπήρξαν διάφορες μορφές συνύπαρξης των δύο συστημάτων.

Μία νέα απόφαση των περισσότερων χωρών να υιοθετήσουν ένα απλό σύστημα, γνωστό ως "Système Internationale" ή SI, έχει απλοποιήσει πολύ την κατάσταση. Οι μονάδες του SI συστήματος βασίζονται στις μετρικές μονάδες και σε πολλές περιπτώσεις ταυτίζονται με αυτές του MKS συστήματος (MKS είναι μία από τις πιο πρόσφατες παραλλαγές του μετρικού συστήματος, που υιοθετήθηκε από πολλούς κλάδους ηλεκτρικής βιομηχανίας του Ενωμένου Βασιλείου).

Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

1. Επτά βασικές μονάδες μέτρησης (πίνακας 2.1).
2. Δύο συμπληρωματικές μονάδες για γωνίες (πίνακας 2.2).
3. Ένα σύνολο μονάδων που προέρχονται από τις βασικές και συμπληρωματικές (πίνακας 2.3).
4. Προτυποποιημένη ορολογία δεκαδικών πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων όλων των μονάδων μέτρησης (πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.1. Βασικές μονάδες SI συστήματος

α/α	Μέγεθος	Σύμβολο μεγέθους	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
1	Μήκος	<i>l</i>	meter	m
2	Μάζα	m	kilogram	kg
3	Χρόνος	t	second	s
4	Θερμοκρασία	θ , T	Kelvin	°C, K
5	Ένταση ρεύματος	I	ampere	A
6	Φωτεινή ισχύς	–	candela	cd
7	Ποσόν ύλης	–	mole	mol

Πίνακας 2.2. Συμπληρωματικές μονάδες SI συστήματος

α/α	Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
1	Επίπεδη γωνία	ακτίνιο	rad
2	Στερεά γωνία	στερακτίνιο	sr

Πίνακας 2.3. Παράγωγες μονάδες SI συστήματος

α/α	Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
1	Επιφάνεια	τετραγωνικό μέτρο	m ²
2	Όγκος	κυβικό μέτρο	m ³
3	Ανηγμένος όγκος	–	m ³ /kg
4	Ταχύτητα, Συντελεστής μεταφοράς μάζας	–	m/s
5	Γωνιακή ταχύτητα	–	rad/s
6	Επιτάχυνση	–	m/s ²
7	Γωνιακή επιτάχυνση	–	rad/s ²
8	Πυκνότητα	–	kg/m ³
9	Ορμή	–	kg m/s
10	Δύναμη	Newton	N=kg m/s ²
11	Συχνότητα	Hertz	Hz=1/s
12	Επιφανειακή τάση	–	N/m
13	Πίεση, Μηχανική τάση	Pascal	Pa=N/m ² =kg/ms ²
14	Ιξώδες, κινηματικό	–	m ² /s
15	Ιξώδες, δυναμικό	–	N s/m ²
16	Ενέργεια – έργο, Θερμότητα, Ενθαλπία	Joule	J=Nm=W s
17	Ανηγμένη ενέργεια, Ανηγμένη θερμότητα, Ανηγμένη ενθαλπία	–	J/kg
18	Ειδική θερμότητα	–	J/kg K
19	Θερμοχωρητικότητα	–	J/K
20	Εντροπία	–	J/K
21	Ανηγμένη εντροπία	–	J/kg K
22	Ισχύς, ροή ακτινοβολίας	Watt	W=J/s=Nm/s

Πίνακας 2.3 (συνέχεια)

α/α	Μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας
23	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	–	W/m K
24	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	–	W/m ² K
25	Συντελεστής διάχυσης	–	m ² /s
26	Σταθερά ακτινοβολίας	–	J/m ² s K ⁴
27	Συντελεστής διαστολής	–	1/K
28	Μέτρο συμπίεστου	–	1/bar=1/10 ⁵ .Pa
29	Ηλεκτρικό φορτίο, Ποσότητα ηλεκτρισμού	Coulomb	C=A s
30	Ηλεκτρική τάση, Διαφορά δυναμικού, Ηλεκτρεγερτική δύναμη	Volt	V=W/A
31	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου	–	V/m
32	Ηλεκτρική αντίσταση	Ohm	Ω =V/A
33	Ηλεκτρική χωρητικότητα	Farad	F=A s/V
34	Μαγνητική ροή	Weber	Wb=V s
35	Επαγωγή	Henry	H=V s/A
36	Μαγνητική πυκνότητα ροής	Tesla	T=Wb/m ²
37	Ένταση μαγνητικού πεδίου	–	A/m
38	Μαγνητεγερτική δύναμη	Ampere	A
39	Ροή φωτός	lumen	lm=cd sr
40	Πυκνότητα φωτισμού	–	cd/m ²
41	Φωτισμός	lux	lx=lm/m ²
42	Απορρόφηση	Gray	Gy=J/kg=m ² /s ²
43	Ισοδύναμη δόση	Sievert	Sv=J/kg= m ² /s ²
44	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Siemens	S=1/ Ω =s ² A ² /m ² kg

Πίνακας 2.4: Προθέματα και σύμβολα πολ/στών και υπο/στών μονάδων SI συστήματος

α/α	Πρόθεμα	Σύμβολο	Συντελεστής πολλαπλασιασμού
1	yocto	y	10^{-24}
2	zepto	z	10^{-21}
3	atto	a	10^{-18}
4	femto	f	10^{-15}
5	pico	p	10^{-12}
6	nano	n	10^{-9}
7	micro	μ	10^{-6}
8	milli	m	10^{-3}
9	centi	c	10^{-2}
10	deci	d	10^{-1}
11	deca	da	10^1
12	hecto	h	10^2
13	kilo	k	10^3
14	mega	M	10^6
15	giga	G	10^9
16	tera	T	10^{12}
17	peta	P	10^{15}
18	exa	E	10^{18}
19	zetta	Z	10^{21}
20	yotta	Y	10^{24}

Το SI σύστημα είναι πλήρως συμβατό με το μετρικό, αν και παραλείπει κάποιες μονάδες όπως λίτρο, θερμίδα κ.τ.λ., ενώ δεν είναι με το αγγλοσαξονικό. Πάντως, υπάρχουν διαθέσιμοι συντελεστές μετατροπής από το ένα σύστημα στο άλλο (πίνακας 2.5).

Πίνακας 2.5: Συντελεστές μετατροπής μονάδων αγγλοσαξονικού συστήματος σε SI μονάδες

α/α	Μέγεθος	Αγγλοσαξονικό σύμβολο	Συντελεστής μετατροπής σε SI
1	Μήκος	1 ft 1 in	= 304,8 mm = 25,4 mm
2	Μάζα	1 lb	= 0,4536 kg
3	Πυκνότητα	1 lb/ft ³	= 16,02 kg/m ³
4	Πίεση	1 lbf/in ² 1 mmH ₂ O 1 mm Hg	= 6.895 kN/m ² = 9,81 N/m ² * = 133,0 N/m ² *
5	Όγκος	1 ft ³ 1 gal (UK)	= 0,02832 m ³ = 0,004546 m ³ (= 4,546 dm ³ , ή litres)
6	Ιξώδες	1 poise	= 0,1 Ns/m ²
7	Θερμοκρασία	°C	= 5/9 (°F-32)
8	Δύναμη	1 lbf	= 4.448 N
9	Ροπή στρέψης	1 lbf ft	= 1.356 Nm
10	Ενέργεια-έργο	1 ft lbf	= 1.356 J
11	Ισχύς	1 h p	= 745,7 W

* Εξαρτάται από την τιμή της επιτάχυνσης βαρύτητας g

2.3

Πρωτότυπα και πρότυπα μέτρησης

Οι επτά βασικές μονάδες μέτρησης του SI συστήματος ορίζονται παρακάτω (DIN1301 Part 1) και αποτελούν *πρωτότυπα μέτρησης*. Είναι εμφανές ότι εκτός του χιλιογράμμου (το χιλιόγραμμα ορίζεται ως η μάζα ενός ειδικού αντικειμένου), όλες οι υπόλοιπες μονάδες ορίζονται με βάση φυσικά φαινόμενα και επομένως μπορούν να αναπαραχθούν και εγκατασταθούν τοπικά, όπου απαιτείται.

Μέτρο (m)	Μήκος διαδρομής φωτός ^{86}Kr στο κενό εντός χρόνου 1/299.792.458 second ή 1.650.763,73 μήκη κύματος φωτός ^{86}Kr στο κενό (17 th CGPM, 1983)
Χιλιόγραμμα (Kg)	Μάζα διεθνούς πρωτοτύπου χιλιογράμμου στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών των Σεβρών στη Γαλλία (3 rd CGPM, 1901)
Δευτερόλεπτο (s)	Διάρκεια 9.192.631.770 περιόδων ακτινοβολίας Κεσίου, που αντιστοιχεί σε μετάπτωση ατόμου Κεσίου-133 από τη στάθμη F ₄ ;M ₀ στη στάθμη F ₃ ;M ₀ (13 th CGPM, 1967)
Βαθμός Kelvin (°K)	Είναι το 1/273,16 της θερμοδυναμικής θερμοκρασίας του τριπλού σημείου του ύδατος (13 th CGPM, 1967)
Ampere (A)	Το σταθερό ρεύμα το οποίο, αν διατηρηθεί μεταξύ δύο παράλληλων επαφών ορισμένου μήκους και αμελητέας διατομής, σε απόσταση 1 m σε κενό παράγει δύναμη ίση με $2 \cdot 10^{-7}$ M.K.S. μονάδες δύναμης/μέτρο μήκους (9 th CGPM, 1948)
Mole	Το ποσό της ύλης που περιέχει τόση στοιχειώδη ύλη όσα άτομα υπάρχουν σε 0,012kg του ^{12}C (14 th CGPM, 1971)
Candela	Η φωτεινή ισχύς, ορισμένης κατεύθυνσης, πηγής που εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας $540 \cdot 10^{12}$ Hz (16 th CGPM, 1979)

2.3.1 Πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς

Σε όλες τις βιομηχανικές χώρες υπάρχει ένα εθνικό Γραφείο Προτύπων, του οποίου οι δραστηριότητες είναι η δημιουργία και συντήρηση *πρωτευόντων προτύπων αναφοράς*. Τα πρότυπα αυτά είναι αντίγραφα του διεθνούς χιλιογράμμου καθώς και υλοποιημένα συστήματα μέτρησης, που ανταποκρίνονται στους ορισμούς των βασικών μονάδων και των παράγωγων μονάδων. Επιπλέον, με την πάροδο του χρόνου διάφορες εταιρείες (π.χ. American Society for Testing and Materials) ανέπτυξαν προτυποποιημένες μεθόδους για τη μέτρηση πολλών άλλων εκατοντάδων ποιοτικών χαρακτηριστικών, που δεν περιέχονται στον πίνακα 2.3. Αυτές οι πρότυπες μέθοδοι μέτρησης περιγράφουν τις συνθήκες μέτρησης, τα όρ-

γανα, τη διαδικασία κ.τ.λ. που πρέπει να ακολουθούνται. Στη συνέχεια, τα διάφορα εθνικά Γραφεία Προτύπων όπως και άλλα εργαστήρια ανέπτυξαν πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς που ενσωματώνουν τις μονάδες μέτρησης, που αντιστοιχούν σ' αυτές τις πρότυπες μεθόδους μέτρησης. Το πρωτεύον πρότυπο έχει τις υψηλότερες μετρολογικές ιδιότητες και η τιμή του είναι αποδεκτή χωρίς να γίνεται αναφορά σε άλλα πρότυπα του ιδίου μεγέθους. Επειδή στην πράξη δεν είναι δυνατόν για τα εθνικά Γραφεία Προτύπων να διακριβώνουν και να πιστοποιούν την ακρίβεια πελώριου όγκου εξαρτημάτων μέτρησης και ελέγχου, που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες, μηχανουργεία, εργαστήρια ελέγχου κ.τ.λ., κατέφυγαν σε ιεράρχηση δευτερευόντων προτύπων και εργαστηρίων με τη βοήθεια ενός συστήματος αποδεικτικών πιστοποίησης ακριβείας.

2.3.2 Ιεράρχηση προτύπων

Τα πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς αποτελούν την κορυφή ενός συνόλου ιεραρχημένων προτύπων αναφοράς (σχήμα 2.1). Στη βάση της πυραμίδας υπάρχει η μεγάλη ομάδα των *οργάνων ελέγχου* (test equipment). Η ορολογία της ομάδας αυτής ποικίλει, γι' αυτό καλύτερος είναι ο όρος *μετρητικός εξοπλισμός βιομηχανίας*.



Σχήμα 2.1: Ιεράρχηση προτύπων

νίας μια και η ομάδα αυτή περιέχει όλα τα όργανα που χρησιμοποιούνται από τεχνικούς εργαστηρίων, τεχνίτες και ελεγκτές για τη ρύθμιση διεργασιών παραγωγής προϊόντων καθώς και για τη μέτρηση χαρακτηριστικών προϊόντων κατά τον ποιοτικό έλεγχο. Τα όργανα αυτά διακριβώνονται με τα *πρότυπα εργασίας* (working standards), που χρησιμοποιούνται μόνο για τη διακρίβωση του μετρητικού βιομηχανικού εξοπλισμού. Με τη σειρά τους, τα πρότυπα εργασίας συγκρίνονται με τα πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων *δευτερευόντων προτύπων αναφοράς* (transfer standards). Καθένα από αυτά τα επίπεδα της πυραμίδας βοηθά στο να μεταφερθεί η ακρίβεια μέτρησης στο επόμενο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας.

Μέσα στην ιεραρχία των προτύπων υπάρχουν διαφορές τόσο στη φυσική δομή τους όσο και στην ακρίβειά τους. Τα πρωτεύοντα πρότυπα αναφοράς χρησιμοποιούνται από ένα σχετικά μικρό αριθμό, αλλά ιδιαίτερης εξειδίκευσης, μετρολόγων με ζωτική συμβολή στην επίτευξη των δυνατοτήτων μετρήσεων υψηλής ακριβείας των προτύπων αυτών. Κατεβαίνοντας την πυραμίδα, ο αριθμός των τεχνικών αυξάνει σε κάθε επίπεδο και στη βάση υπάρχουν εκατομμύρια τεχνιτών, ελεγκτών και τεχνικών, που χρησιμοποιούν μετρητικό βιομηχανικό εξοπλισμό για τον έλεγχο προϊόντων και διεργασιών. Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας στην επιδεξιότητα, εκπαίδευση και ικανότητα συγκέντρωσης μεταξύ των εκατομμυρίων αυτών ανθρώπων, ο σχεδιαστής και κατασκευαστής του μετρητικού εξοπλισμού πρέπει να του δίνει χαρακτηριστικά σταθερότητας και αξιοπιστίας ώστε να ελαχιστοποιούνται σφάλματα, που δημιουργούνται από τους χρήστες αυτού του εξοπλισμού.

Η ακρίβεια μέτρησης μεταξύ των διαφόρων επιπέδων της πυραμίδας διαφέρει πολύ. Στο επίπεδο των πρωτευόντων προτύπων αναφοράς, η ακρίβεια καθορίζεται από την ανώτατη στάθμη της τεχνολογίας. Στη βάση της πυραμίδας, η ακρίβεια μέτρησης καθορίζεται από τις ανάγκες λειτουργικότητας του προϊόντος και τις ανοχές της παραγωγικής διαδικασίας. Η διαφορά στάθμης ακριβείας μεταξύ πρωτευόντων προτύπων αναφοράς και μετρητικού βιομηχανικού εξοπλισμού μπορεί να ποικίλει από μία ως περισσότερες τάξεις μεγέθους. Αυτή η διαφορά επιμερίζεται μεταξύ του πλήθους των διαφορετικής στάθμης προτύπων και εργαστηρίων (δευτερευόντων και εργασίας), που μεσολαβούν σε κάθε περίπτωση. Όταν ετέθη ο προβληματισμός επιμερισμού για πρώτη φορά, υπήρξε η τάση να γίνει αποδεχτό ότι κάθε στάθμη έχει ακρίβεια 10 φορές μεγαλύτερη της στάθμης που ελέγχει. Πρόσφατα, με την αποδοχή ότι η σύνθεση σφαλμάτων εκπροσωπείται καλύτερα από την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων παρά από το αριθμητικό άθροισμα (βλ. κεφ 6), έχει γίνει, από τους περισσότερους, αποδεκτός ο λόγος 5 παρά 10 για την ακρίβεια των προτύπων εργασίας προς τις ανοχές προϊόντων. Ο ίδιος λόγος ισχύει και μεταξύ των δευτερευόντων προτύπων αναφοράς.

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (Ε.Ι.Μ.) ιδρύθηκε το 1994 και εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Μαζί με το Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ.) και τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ.) αποτελούν τη βασική υποδομή ποιότητας για την Ελλάδα. Ο ΕΛ.Ο.Τ, ως φορέας τυποποίησης, εκδίδει τα σχετικά πρότυπα και τις προδιαγραφές που αφορούν στην παραγωγή και στον έλεγχο προϊόντων και υλικών. Το Ε.ΣΥ.Δ είναι ο φορέας, ο οποίος παρέχει διαπίστευση σε φορείς πιστοποίησης και εργαστήρια διακριβώσεων και δοκιμών. Τέλος το Ε.Ι.Μ είναι ο ανώτατος φορέας του κράτους σε θέματα μετρολογίας, διατηρεί και αναπτύσσει τα εθνικά πρότυπα των μονάδων των φυσικών μεγεθών μέτρησης και είναι ο αντιπρόσωπος της χώρας στους διεθνείς οργανισμούς μετρολογίας. Βασικός σκοπός του είναι η στήριξη των υπάρχοντων μετρολογικών εργαστηρίων της χώρας, ώστε διακριβώσεις των προτύπων τους να πραγματοποιούνται στα Εθνικά Εργαστήρια Μεγεθών του Ε.Ι.Μ.

Διαπίστευση (Accreditation) είναι η διαδικασία κατά την οποία εξουσιοδοτημένος φορέας χορηγεί επίσημη αναγνώριση για την ικανότητα άλλου φορέα ή από μου να εκτελεί συγκεκριμένα καθήκοντα.

Διαπίστευση εργαστηρίου είναι η επίσημη αναγνώριση της ικανότητας ενός εργαστηρίου δοκιμών να εκτελεί συγκεκριμένες δοκιμές ή συγκεκριμένους τύπους δοκιμών.

Πιστοποίηση (Certification) είναι η πράξη του Ε.Ι.Μ. ή οποιουδήποτε άλλου διαπιστευμένου φορέα με την οποία πιστοποιείται η τεκμηρίωση της ακριβείας, σύμφωνα με προκαθορισμένες απαιτήσεις.

Συμμόρφωση (Conformity) είναι η ικανοποίηση προδιαγεγραμμένων απαιτήσεων από προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία.

Πιστοποιητικό συμμόρφωσης (Certificate of Conformity) είναι το έγγραφο το οποίο εκδίδεται σύμφωνα με τους κανόνες συστήματος πιστοποίησης και υποδηλώνει ότι παρέχονται επαρκή εγγέγραφα για τη συμμόρφωση ενός επαρκώς τυποποιημένου προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας ως προς συγκεκριμένα πρότυπα ή άλλα κανονιστικά έγγραφα.

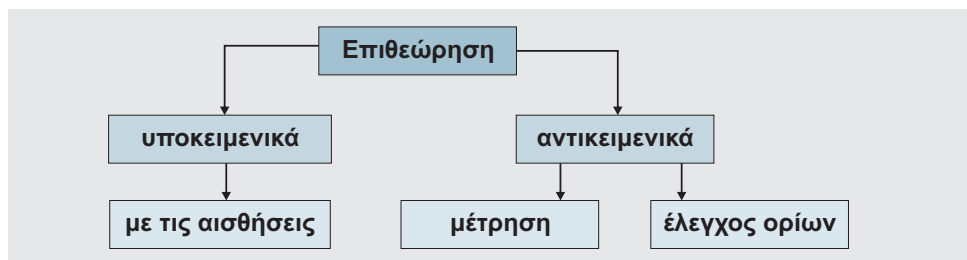
Φορέας πιστοποίησης (Certification body) είναι ο φορέας που διενεργεί πιστοποίηση της συμμόρφωσης.

Βαθμονόμηση (Graduation) είναι η αναγραφή των ενδείξεων στην κενή κλίμακα ενός οργάνου, με βάση ένα γνωστό και καθορισμένης ακριβείας μέγεθος της φυσικής ιδιότητας, την οποία μετρά το όργανο.

Διακρίβωση (Calibration) είναι η σύγκριση μεταξύ δύο συσκευών μέτρησης, από τις οποίες η μία είναι εθνικό πρότυπο ή πρότυπο γνωστής ακριβείας, η οποία έχει μεταφερθεί σ' αυτήν από τα εθνικά πρότυπα. Με τη σύγκριση αυτή βαθμονομείται η υπό έλεγχο συσκευή και διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβειά της. Αιτίες απώλειας της ακριβείας της συσκευής είναι πολλές: τυχαίες βλάβες, πολύ χρήση, φθορά μετακινούμενων εξαρτημάτων. Δεν υπάρχει γενικός κανόνας για τη συχνότητα των ελέγχων διακρίβωσης. Η απόφαση λαμβάνεται παίρνοντας υπόψη την πιθανότητα ανάπτυξης σφαλμάτων και την απαιτούμενη ακρίβεια.

Ρύθμιση (Adjusting) αναφέρεται μόνο σε όργανα και συσκευές μέτρησης. Καλύπτει όλα τα απαραίτητα βήματα που εξασφαλίζουν ώστε οι αποκλίσεις ανάγνωσης να παραμένουν εντός των ορίων σφάλματος της συσκευής.

Επιθεώρηση (Inspecting) είναι η διαδικασία κατά την οποία διαπιστώνεται κατά πόσο το υπό επιθεώρηση αντικείμενο έχει τα χαρακτηριστικά που του αποδίδονται, αν δηλαδή είναι συμμορφωμένο προς τις διαστατικές προδιαγραφές και τις προδιαγραφές μορφής. Η επιθεώρηση γίνεται υποκειμενικά (χωρίς όργανα) ή αντικειμενικά με μέτρηση ή με τη βοήθεια ελεγκτήρων (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Τρόποι επιθεώρησης

Μέτρηση (Measuring) είναι ο προσδιορισμός της τιμής ενός μεγέθους μετά από σύγκριση με ανάλογο πρότυπο. Η τιμή αυτή είναι η μετρημένη τιμή.

Έλεγχος (Gauging) αντικειμένου είναι η διαδικασία κατά την οποία διαπιστώνεται αν τα χαρακτηριστικά, που του αποδίδονται, βρίσκονται εντός των ορίων

των προδιαγραφών ή αν βρίσκονται εκτός προς ποια κατεύθυνση. Το μέγεθος της απόκλισης δεν διαπιστώνεται. Συχνά, για τον έλεγχο χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα ελεγκτήρες διαστάσεων ή μορφής, που κατά γενικό κανόνα σχετίζονται με τις οριακές τιμές του ελεγχόμενου μεγέθους.

Κεφάλαιο

3

Διαστατική Μετρολογία

(DIN 2257 PART I)



Στον όρο *μήκος* ή *λόγος μηκών* περιέχονται τα παρακάτω μεγέθη: εξωτερική διάσταση, εσωτερική διάσταση, διάσταση εξοχών, διαμέτρων, ακτινών, πλάτους, πάχους, γωνιών, αποστάσεις κέντρων οπών. Επίσης περιέχονται διαστάσεις που σχετίζονται με τη μορφή, τη θέση και την επιφάνεια. Οι γραμμικές και γωνιακές διαστάσεις ορίζονται με μία αριθμητική τιμή και μία μονάδα, π.χ. 20,985 mm και αναφέρονται πάντοτε στη θερμοκρασία των 20 °C (θερμοκρασία ορισμού) σύμφωνα με τον διεθνή κανονισμό DIN 102.

3.2.1 Μονάδες μήκους (DIN 1301 Part 1)

Στο SI σύστημα (επομένως και στο μετρικό) μονάδα μήκους είναι το μέτρο με σύμβολο m. Υποδιαιρέσεις μέτρου:

$$1 \text{ dm (decimetre)} = 10^{-1} \text{ m} = 0,1 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm (centimetre)} = 10^{-2} \text{ m} = 0,01 \text{ m}$$

$$1 \text{ mm (millimetre)} = 10^{-3} \text{ m} = 0,001 \text{ m}$$

$$1 \text{ } \mu\text{m (micrometre)} = 10^{-6} \text{ m} = 0,000 \text{ } 001 \text{ m}$$

$$= 10^{-3} \text{ mm} = 0,001 \text{ mm}$$

$$1 \text{ nm (nanometre)} = 10^{-9} \text{ m} = 0,000 \text{ } 000 \text{ } 001 \text{ m}$$

$$= 10^{-6} \text{ mm} = 0,000 \text{ } 001 \text{ mm}$$

$$= 10^{-3} \text{ } \mu\text{m} = 0,001 \text{ } \mu\text{m}$$

Στη Φυσική συχνά χρησιμοποιείται το Angstrom (\AA) $1 \text{ } \text{\AA} = 10^{-7} \text{ mm}$.

Στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδα μήκους είναι η ίντσα (inch) με σύμβολο in ή ". Η ίντσα έχει κλασματικές και δεκαδικές υποδιαιρέσεις. Κλασματικές υποδιαιρέσεις της ίντσας με τις αντίστοιχες ισοδύναμες δεκαδικές είναι:

1/128 in	0,007810 in	1/16 in	0,062500 in
1/64	0,015625	1/8	0,125000
1/32	0,031250	1/4	0,250000
1/20	0,050000	1/2	0,500000

Πολλαπλάσια της ίντσας είναι:

$$1 \text{ yard (Y)} = 3 \text{ feet (ft)} = 36 \text{ in}$$

$$1 \text{ feet} = 12 \text{ in}$$

$$1 \text{ in} = 10^6 \mu\text{in} \text{ (ή } \mu\text{m)}$$

Μεταξύ των μονάδων των δύο συστημάτων ισχύουν τα εξής:

$$1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm} = 2,54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ mm} = 0,03937 \text{ in}$$

$$1 \mu\text{in} = 0,025 \mu\text{m} = 1/40 \mu\text{m}$$

$$1 \mu\text{m} = 39,37 \mu\text{in}$$

$$1 \text{ \AA} = 0,003937 \mu\text{in}$$

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ Y} = 0,9144 \text{ m}$$

3.2.2 Μονάδες γωνίας (DIN 1315)

Στο σύστημα SI και στο αγγλοσαξονικό σύστημα ως μονάδα επίπεδης γωνίας ορίζεται η γωνία, της οποίας ο λόγος του μήκους του τόξου του κύκλου προς την ακτίνα του κύκλου ισούται με τη μονάδα. Η μονάδα αυτή καλείται ακτίνιο (radian ή rad). Υποδιαιρέσεις του rad είναι :

$$1 \text{ mrad (milliradian)} = 10^{-3} \text{ rad} = 0,001 \text{ rad}$$

$$1 \mu\text{rad (microradian)} = 10^{-6} \text{ rad} = 0,000\,001 \text{ rad}$$

Η μοίρα τόξου (σύμβολο : °) είναι το 1: 360 μέρος περιφέρειας κύκλου.

$$1^\circ = \frac{\pi}{360} \text{ rad}$$

Υποδιαιρέσεις της μοίρας :

$$1' \text{ (minute)} = \left(\frac{1}{60} \right)^\circ$$

$$1'' \text{ (second)} = \left(\frac{1}{60} \right)' = \left(\frac{1}{3600} \right)^\circ$$

Ο βαθμός (σύμβολο: gon) είναι το 1:400 μέρος περιφέρειας κύκλου.

$$1 \text{ gon} = \left(\frac{\pi}{200} \right) \text{ rad}$$

Υποδιαιρέσεις του βαθμού είναι :

$$1 \text{ cgon (centigon)} = 10^{-2} \text{ gon} = 0,01 \text{ gon}$$

$$1 \text{ mgon (milligon)} = 10^{-3} \text{ gon} = 0,001 \text{ gon}$$

Όταν η γωνία ορίζεται με μονάδα τη μοίρα, μπορεί να εκφράζεται είτε σε υποδιαιρέσεις της μοίρας (π.χ. $50^{\circ} 7' 30''$) είτε σε δεκαδικές υποδιαιρέσεις (π.χ. $50,125^{\circ}$).

3.3

Μετρολογικές έννοιες

Μετρούμενο μέγεθος Μ στη διαστατική μετρολογία είναι το μήκος ή η γωνία που πρόκειται να μετρηθεί.

Ανάγνωση ή **Ένδειξη** (reading) είναι η πληροφορία που σχετίζεται με τη μετρημένη τιμή και γίνεται απευθείας αντιληπτή οπτικά, ακουστικά ή με άλλο μέσο. Στα όργανα μέτρησης με ένδειξη γίνεται διάκριση μεταξύ αναλογικής, ψηφιακής ή άλλου τύπου ένδειξης. Επίσης, η ένδειξη μπορεί να καταγραφεί με τη βοήθεια κατάλληλης καταγραφικής συσκευής. *Αναλογική* (analog reading) είναι η ένδειξη μιας γραμμικής κλίμακας. *Ψηφιακή* (digital reading) είναι η ένδειξη υπό μορφή σειριακών ψηφίων (απαιτεί μικρότερη συγκέντρωση του παρατηρητή απ' ό,τι στην αναλογική και δεν απαιτούνται εκτιμήσεις παρεμβολών). Η άλλου τύπου ένδειξη βοηθά απλώς να προσδιοριστεί το εύρος της μετρημένης τιμής χωρίς να είναι δυνατή η ανάγνωση της ακριβούς τιμής.

Ρύθμιση σημείου αναφοράς (setting) είναι η ρύθμιση μιας συσκευής μέτρησης σε μία ορισμένη θέση (θέση αναφοράς) βάσει προτύπων αναφοράς. Πολλές φορές η θέση αυτή είναι η μηδενική (zero setting).

Μετρημένη τιμή (measured value) είναι η τιμή του μήκους ή της γωνίας που προκύπτει μετά από μία μέτρηση. Έχει αριθμητική τιμή και μονάδα και σε ειδικές περιπτώσεις και πρόσημο. Σε κάθε μετρημένη τιμή υπάρχει αβεβαιότητα μέτρησης (DIN 2257 Part 2) (βλ.κεφ.6).

Αποτέλεσμα μέτρησης (result of a measurement) προκύπτει από μία ή περισσότερες μετρημένες τιμές σύμφωνα με ορισμένη εκ των προτέρων σχέση και αντιπροσωπεύει την πραγματική διάσταση, λαμβάνοντας υπόψη και την αβεβαιότητα της μέτρησης.

Ευαισθησία (sensitivity) Ε. Στην περίπτωση των οργάνων με αναλογική ένδειξη, η ευαισθησία Ε ισούται με το λόγο της διαφοράς της ένδειξης ΔL προς τη με-

ταβολή της ποσότητας που μετριέται (και που προκάλεσε τη συγκεκριμένη διαφορά ένδειξης ΔL)

$$E = \frac{\Delta L}{\Delta M}$$

Στα όργανα μέτρησης μήκους, μερικές φορές, χρησιμοποιείται ο όρος **μεγέθυνση** (magnification) V αντί της ευαισθησίας (E). Στα όργανα με ψηφιακή ένδειξη, η ευαισθησία E ισούται με το λόγο της μεταβολής ΔZ των ψηφιακών διαιρέσεων προς τη μεταβολή της μετρούμενης ποσότητας ΔM , που προκάλεσε την εν λόγω μεταβολή ΔZ .

$$E = \frac{\Delta Z}{\Delta M}$$

Εύρος ανάγνωσης ή **εύρος ένδειξης** (reading range) οργάνου είναι η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης και χαμηλότερης δυνατότητας ένδειξης που έχει το όργανο μέτρησης.

Εύρος μετρήσεων (measuring range) είναι η διαφορά μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης μετρημένης τιμής κατά τη μέτρηση μιας συγκεκριμένης ποσότητας. Το εύρος μέτρησης είναι μέρος ή σπανίως όλο το εύρος ανάγνωσης-ένδειξης του οργάνου μέτρησης.

Δύναμη μέτρησης (measuring force) είναι η δύναμη, που ασκείται στο υπό μέτρηση αντικείμενο από εξάρτημα της συσκευής μέτρησης κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Σφάλμα υστέρησης (hysteresis error) συσκευής μέτρησης με ένδειξη είναι η διαφορά ένδειξης για μία και την αυτήν τιμή της ποσότητας που μετριέται, όταν η μέτρηση διεξάγεται αφενός με αυξανόμενες τιμές ένδειξης και αφετέρου με ελαττούμενες τιμές ένδειξης. Για την εκτίμηση του σφάλματος υστέρησης απαιτούνται οδηγίες.

Οδηγίες μέτρησης (measuring instruction) εξειδικεύουν τις συνθήκες μέτρησης καθώς και την πορεία της μετρητικής διαδικασίας.

Αρχή Abbe (Abbe principle), θα μπορούσε να ονομαστεί και αρχή σύγκρισης μια και όλες οι μετρήσεις δεν είναι τίποτε άλλο παρά σύγκριση μιας άγνωστης ποσότητας με μία γνωστή. Οι μέθοδοι σύγκρισης ποικίλουν, αλλά όλες εμπίπτουν σε μία από τις δύο ομάδες του *σχήματος 3.1*. Η αρχή λέει ότι μέγιστη ακρίβεια επιτυγχάνεται μόνον όταν το πρότυπο (γνωστή ποσότητα) βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τον άξονα (γραμμή μέτρησης) του υπό μέτρηση αντικειμένου. Για να γίνει αυτό κατανοητό, θεωρούμε την περίπτωση του βερνιέρου (*σχήμα 3.2*), ο οποί-

ος δεν υπακούει στην αρχή Abbe και η απόσταση h , μεταξύ άξονα προτύπου και γραμμής μέτρησης, δεν μηδενίζεται ποτέ. Τα όργανα στα οποία ισχύει η αρχή Abbe, δηλαδή $h = 0$, είναι όργανα μεγαλύτερης ακριβείας.

