

ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΘΡΩΠΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΔΟΥΦΟΡΟΥΣ. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ.

ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΔΟΥΚΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΑΤΙΚΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Α.Π.Θ., ΠΑΝ. ΘΥΡΙΑΔΑ 465, GR-541 24

e-mail: jdoukas@civil.auth.gr

Περίληψη

Η γενικευμένη ιστορική αναδρομή στην επιστήμη της Μετρολογίας που επιχειρείται στην εργασία αυτή, τονίζει κυρίως τα κομβικά σημεία της εξέλιξής της σε σχέση με την επιστήμη της Γεωδαισίας, μιας κατεξοχήν επιστήμης οργάνων και μετρήσεων. Οπωσδήποτε, εκτός από τους λογικούς περιορισμούς χώρου της παρούσας εργασίας, επί πλέον υπάρχουν οι εξής λόγοι που οδηγούν αυτήν την ιστορική αναδρομή, αφενός στον περιορισμό του πλήθους (στα απολύτως εξαιρετικά σημαντικά) των εν λόγω κομβικών σημείων και αφετέρου στην απόλυτα περιληπτική περιγραφή τους. Οι λόγοι αυτοί είναι: (α). Η αναμφισβήτητα τεράστια γκάμα οργάνων και μετρητικών συστημάτων της Γεωδαισίας, αποτελεί από μόνη της καθοριστικό απαγορευτικό παράγοντα για μια, από καθαρά γεωδαιτική σκοπιά, περιεκτικότερη και εκτενέστερη ανασκόπηση της Μετρολογίας. (β). Τα γεωδαιτικά όργανα ξεκίνησαν στηριζόμενα σε (ή παραγόμενα από) απλουστευμένες επί μέρους συσκευές και διατάξεις, που εξελίχθηκαν με την πάροδο σε πιο σύνθετα μορφώματα τοπογραφικών-γεωδαιτικών οργάνων. Μάλιστα, σε όλη αυτή την πορεία εξέλιξης, σε πολλά από αυτά σημαντική συμμετοχή έχουν και άλλες επιστήμες όπως π.χ. η οικοδομική, η μηχανολογία κ.λπ. (γ). Πολλά από τα τμήματα και εξαρτήματα των γεωδαιτικών οργάνων, από μόνα τους προϋπήρξαν (π.χ. γρανάζια, φακοί, κοχλίες, βερνιέροι, αεροστάθμες, μάντες κ.λπ.). Επομένως, χρονολογικά είναι πολύ πιο πρώιμα "θέματα" της Μετρολογίας. Ακόμη περισσότερο, επειδή συναντούνται σε πληθώρα μετρητικών οργάνων πολλών άλλων επιστημών, δεν θεωρούνται αποκλειστικά γεωδαιτικά εξαρτήματα ή συσκευές.

Λέξεις-κλειδιά: *μετρολογία, γεωδαισία, τοπογραφία, γεωδαιτικά όργανα*

1. Η ιστορική εξέλιξη της Μετρολογίας

Μέσα στις πρώτες ανθρώπινες ανακαλύψεις είναι τα μέτρα και τα σταθμά, καθώς από τα πρώτα βήματα του ανθρώπου, παρουσιάστηκε έντονη η ανάγκη εύρεσης μονάδων μέτρησης.

Εύλογο δε είναι, το ανθρώπινο σώμα να αποτελέσει την πρωταρχική πηγή των πρώτων συστημάτων μέτρησης. Επομένως, οι μονάδες που πρωτοεμφανίζονται είναι οι λεγόμενες *ανθρωπομετρικές μονάδες* (π.χ. δάκτυλος, παλάμη, βραχίων, βήμα, πους κ.λπ.). Για μεγαλύτερες αποστάσεις, επινοήθηκαν η απόσταση βολής με το χέρι λίθου, η περίοδος ηλίου ή σελήνης, η ημερήσια διαδρομή ενός πεζού κ.λπ. (κάποιες μάλιστα από αυτές, ακόμη και σήμερα είναι σε χρήση σε διάφορες περιοχές του πλανήτη). Ήταν ευνόητο να υπάρξει παράλληλη ανάπτυξη πολλών συστημάτων μέτρησης, σε διάφορες περιοχές της Γης, παρόλη την κοινή ρίζα των περισσότερων εξ αυτών. Το γεγονός αυτό επέφερε οπωσδήποτε προβλήματα στις ανθρώπινες συναλλαγές. Από την άλλη μεριά όμως, ο παγκόσμιος πληθυσμός δεν ήταν τόσοσ ακόμη ώστε να απαιτηθεί ένα μετρητικό σύστημα παγκόσμιας αποδοχής.

Τα σημαντικά ιστορικά ορόσημα (**σημεία-Σταθμοί**) της εξέλιξης της Μετρολογίας είναι δύσκολο να ορισθούν και ταυτόχρονα να εκφράζουν αντιπροσωπευτικά όλους. Πράγματι, σε κάθε περίπτωση σημαντικό ρόλο παίζει η "σκοπιά" (ειδικότητα) από την οποία βλέπει κανείς το θέμα (λ.χ. αλλιώς θεωρεί τα σημαντικά βήματα της Μετρολογίας ένας μηχανολόγος, αλλιώς ένας αρχιτέκτονας, αλλιώς ένας ωρολογοποιός, αλλιώς ένας ...δημοσιογράφος και βέβαια αλλιώς ένας γεωδαίτης). Στην παρούσα εργασία, επιχειρείται μια γενικευμένη ιστορική αναδρομή με κατά το δυνατόν περιεκτικές ενότητες, με έμφαση στη σχέση Μετρολογίας - Γεωδαισίας, χωρίς να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις μονάδες μέτρησης [1], [2], [4], [6], [10], [12], [16], [17], [18], [20], [22]. Πιο συγκεκριμένα:

•Σταθμός 1: 4000-3000 π.Χ.

Το αρχαιότερο διατηρημένο πρότυπο μήκους, είναι το πόδι ενός αγάλματος του Gudea, κυβερνήτη της πόλης Lagash, στη Μεσοποταμία (πριν περίπου από 4000 χρόνια). Αργότερα, προς το 3000 π.Χ. εμφανίζονται οι πρώτες πόλεις στη Μ. Ανατολή και τα πρώτα μέτρα και σταθμά από τους Σουμέριους.

•Σταθμός 2: Περί το 3500 π.Χ.

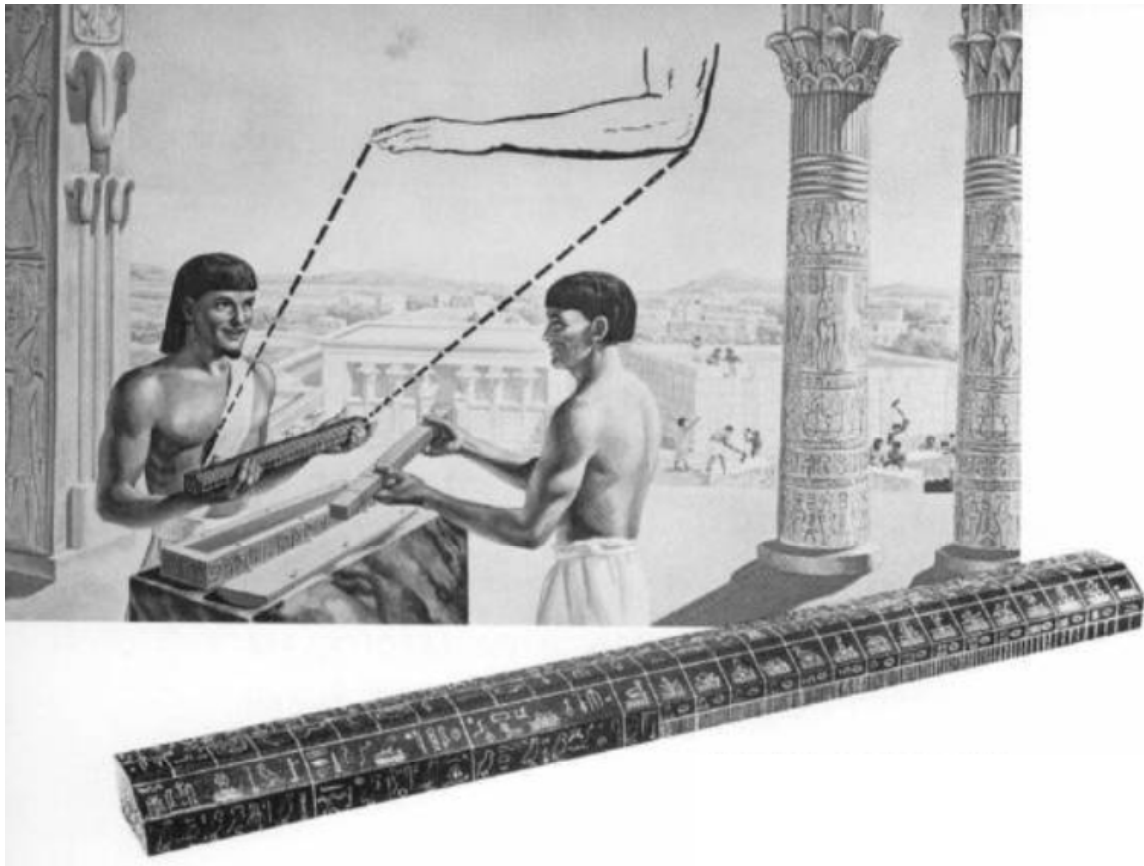
Εμφανίζονται τα πρώτα ηλιακά ρολόγια, ίσως το παλαιότερα επιστημονικά όργανα.

•Σταθμός 3: Περί το 2575 π.Χ.

Εμφανίζεται ο γνωστός Αιγυπτιακός Βασιλικός Πήχυς (cubit ή covit) ο οποίος ήταν ίσος με το μήκος, από τον αγκώνα μέχρι την άκρη του μεσαίου δακτύλου (μέσου) του εκάστοτε κυβερνώντος Φαραώ (Εικόνα 1). Με βάση το "πρότυπο-χέρι-Φαραώ", κατασκευάζονταν από γρανίτη το τελικό πρωτότυπο, το οποίο αναπαράγονταν (σε γρανίτη ή ξύλο) και μοιράζονταν, με την ευθύνη των βασιλικών αρχιτεκτόνων, στους τόπους όπου γινότανε κατασκευές. Τα αντίγραφα αυτά έπρεπε να επιστρέφονται σε κάθε πανσέληνο και να συγκρίνονται με το πρωτότυπο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παράβαση αυτού του κανόνα είχε την ποινή του θανάτου. Σε κάθε περίπτωση πάντως, οι Αιγύπτιοι είναι αυτοί που άνοιξαν το δρόμο και έθεσαν τις πρώτες βάσεις για τομείς όπως η Νομική Μετρολογία, τα πρότυπα, η ιχνηλασιμότητα και η περιοδικές διακριβώσεις. Είναι η περίοδος που κατασκευάζεται η μεγάλη πυραμίδα της Γκίζας. Μολονότι οι

Αιγύπτιοι είχαν μόνον απλά αλφάδια, ξύλινα τετράγωνα και κανόνες, λόγω της τυποποίησης και του ενιαίου συστήματος μετρήσεων που χρησιμοποιούσαν, επιτυγχάνουν εκπληκτική ακρίβεια (της τάξης του 0.05%).

•Σταθμός 4: Περί το 2500 π.Χ. Ανθίζει η πόλη Mohenjio-Daro (που σημαίνει "ο λόφος, το ανάχωμα των νεκρών") στο Πακιστάν, όπου και συναντώνται τα πρώτα μέτρα και σταθμά ακριβείας. Σε σχέση με το γεγονός αυτό, μάλλον δεν είναι τυχαίο το ό,τι πρόκειται για πόλη η οποία, σε σχέση με την παλαιότητά της (δημιουργία κάπου μεταξύ 5000 - 4000 π.Χ., εγκατάλειψη από τους κατοίκους περί το 1700 π.Χ.), έχει να επιδείξει πλινθοποιία, αξιοθαύμαστες κατασκευές (μέχρι και διόροφες οικίες), ρυμοτομία, αποχετευτικό σύστημα, λουτρά (τα οποία ίσως ήταν και θερμαινόμενα).



Εικόνα 1: Ο Αιγυπτιακός Βασιλικός πήχυς

•Σταθμός 5: Περί το 1950 π.Χ. Ενώ υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις σχετικά με τη χρήση του Αιγυπτιακού Βασιλικού πήχου στην περιοχή του Αιγαίου κατά την εποχή του Χαλκού, δεν υπάρχει εύρημα-απόδειξη (π.χ. ένας "πρότυπος" πήχους) στην περιοχή. Το πρώτο γνωστό πρότυπο μήκους εμφανίζεται στην περιοχή Ευφράτη (στη βαβυλωνιακή πόλη Nippur), ήταν δε μια βαριά χάλκινη ράβδος, με 4 κύριες μονάδες και η κάθε μια από αυτές χωρισμένη σε 16 υποδιαίρέσεις. Πρόκειται για εύρημα ανασκαφών του 19ου αι. μ.Χ., που βρίσκεται σήμερα στο μουσείο της Κων/πολης.

•Σταθμός 6: 447-433 π.Χ. Κατασκευάζεται ο Παρθενώνας στην Αθήνα, ένας γενεσιουργός πυρήνας πολλών καινοτομιών, μια κατασκευή μεγίστου μετρολογικού ενδιαφέροντος. Υπό την εποπτεία του γλύπτη Φειδία, οι αρχιτέκτονες Ι-

κτίνος και Καλλικράτης και πολλοί τεχνίτες (όπως Αθηναίοι, Ίωνες και Κυκλαδίτες), κατασκευάζουν το μεγαλύτερο και τελειότερο δωρικό ναό του ελληνικού κόσμου, ο οποίος, και ολοκληρώθηκε και είναι ο μοναδικός κατασκευασμένος εξ ολοκλήρου από μάρμαρο (Πεντέλης). Η βάση του είναι: 30.9m x 69.5m. Ο εσωτερικός ναός έχει διαστάσεις: 29.8m x 19.2m, με εσωτερικές κολωνοστοιχίες δωρικού ρυθμού σε δύο σειρές, απαραίτητες για τη στήριξη της οροφής. Πρόκειται για το μόνο κτίσμα στο οποίο εφαρμόστηκαν με τον πληρέστερο τρόπο οι τεχνικές λάξευσης του μαρμάρου με σχολαστική ακρίβεια, πράγμα που επιβάρυνε ιδιαίτερα το κόστος κατασκευής. Το συμπαγές βάθρο και θεμέλιο του νέου ναού είχε 80m μήκος και 12m ύψος. Ένα από τα μυστικά της αξεπέραστης τελειότητας-ακριβείας της κατασκευής ήταν η απαράμιλλη επιδεξιότητα των αρχαίων λιθοξόνων καθώς βέβαια και η μεταλλουργία των εργαλείων τους. Τα εργαλεία εκείνης της εποχής ήταν πολύ ανώτερα από τα σημερινά, όπως μαρτυρούν ίχνη που βρέθηκαν στα μάρμαρα [15]. Μετά από πολύ αυστηρή πειραματική έρευνα, αποδεικνύεται πως είχαν καταλήξει σε μεταλλουργικές τεχνικές που ήταν (και είναι) αξεπέραστες. Υπάρχουν μάλιστα και βάσιμοι ισχυρισμοί ότι ακόμη και με την υπάρχουσα σημερινή τεχνολογία, θα ήταν αδύνατο να χτιστεί ο Παρθενώνας στο σημαντικά μικρό χρονικό διάστημα που τον έχτισαν οι αρχαίοι (η κατασκευή άρχισε το 447 π.Χ. και τελείωσε το 438 π.Χ., οι δε καλλιτεχνικές εργασίες έφτασαν μέχρι και το 433 π.Χ.). Ο Παρθενώνας αποτέλεσε προφανώς και ένα μοναδικό "έργο-εργαστήριο" Μετρολογίας, το οποίο συνδύασε πληθώρα ειδικοτήτων (πολύπλοκοι συνδυασμοί γεωλογικών, γεωμετρικών, μηχανικών αλλά και καλλιτεχνικών παραμέτρων).

•Σταθμός 7: 214 π.Χ.

Αρχίζει η κατασκευή του Σινικού τείχους, μιας από τις πλέον διάσημες ανθρώπινες κατασκευές, που μάλιστα χτίστηκε αποκλειστικά με χειρωνακτική εργασία. Πρόκειται για άλλο ένα σημαντικότερο "έργο-εργαστήριο" Μετρολογίας, τη μεγαλύτερη σε μήκος γραμμή οχύρωσης που έχει κατασκευαστεί στην ανθρώπινη ιστορία. Εκτείνεται ελικοειδώς διαμέσου των βουνών για περίπου 3,200km. Η κατασκευή του ξεκίνησε τον 3ο αιώνα π.Χ., αλλά το μεγαλύτερο τμήμα του ανεγέρθηκε στα χρόνια της δυναστείας Μινγκ (1368-1644). Το ύψος του τείχους κυμαίνεται από 6m έως 9m, με πάχος που λεπταίνει σταδιακά, από 7.5m στη βάση σε 4.5m στην κορυφή. Κατά μήκος, σε ίσες αποστάσεις, υψώνονται 25,000 ειδικές κατασκευές (όπως π.χ. παρατηρητήρια, πύλες και φυλάκια). Η θεμελίωση ήταν με στρώση λίθινων πλακών. Τα πλαϊνά μέρη είναι κατασκευασμένα από χώμα, πλίνθους και λίθους, ενώ η πάνω επιφάνεια σχηματίζει οδόστρωμα για μετακίνηση στρατευμάτων και εφίππων.

•Σταθμός 8: 80-72 π.Χ.

Κατασκευάζεται το Κολοσσαίο της Ρώμης. Πρόκειται για μοναδική κατασκευή με επίσης ιδιαίτερο μετρολογικό ενδιαφέρον (που επέφερε σημαντικές καινοτομίες στον κατασκευαστικό τομέα και επηρέασε πολλές μεταγενέστερες κατασκευές). Μεταξύ των άλλων, ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί το σύστημα ψύξης που επινοήθηκε καθώς και το σύστημα εισόδου-εξόδου των θεατών, που έδινε τη δυνατότητα ταχύτατης εισόδου (και/ή εκκένωσης) του σταδίου. Το ελλειπτικής μορφής οικοδόμημα έχει ύψος 48m, μήκος 188m και πλάτος 156m. Οι κερκίδες του ήταν χωρισμένες σε διάφορα τμήματα και επίπεδα, ενώ η κεντρική πλατεία (αρένα) ήταν διαστάσεων: 54m x 86m, με ξύλινο δάπεδο και καλυμμένη με άμμο. Κάτω δε από την αρένα (υπόγειο) υπήρχε μεγάλο δίκτυο σηράγγων και δωματίων. Η συνολική έκταση της βάσης του Κολοσσαίου ήταν 160,000 m². Μολονότι το στάδιο αυτό αποτέλεσε ένα εργαστήριο πολλών νέων ιδεών, ακολούθησε μια μεγάλη χρονική περίοδος κατά την οποία η εξέλιξη των μετρητικών συστημάτων δεν ήταν η αναμενόμενη. Μόνον στις αρχές του 9ου

μ.Χ. αιώνα ο Carolus Magnus ((742 ή 747–814) προσπάθησε να επιβάλει ομοιομορφία μεταξύ των διαφόρων μετρητικών συστημάτων, η προσπάθειά του όμως απέτυχε.

•Σταθμός 9: 1215 μ.Χ.

Υπογράφεται από το βασιλιά της Αγγλίας Ιωάννη τον Ακτήμονα (1199–1216) η Magna Carta, το πιο διάσημο έγγραφο στη συνταγματική ιστορία της Βρετανίας και παράλληλα, εισάγεται ενιαίο σύστημα μετρήσεων (αν και κυρίως ενδιέφεραν τα μετρητικά πρότυπα για το ...κρασί και τη μύρα !).

•Σταθμός 10: 1350 μ.Χ.

Ο βασιλιάς Εδουάρδος II της Αγγλίας (1284-1327) θέσπισε ότι τρεις κόκκοι κριθαριού, αποξηραμένοι και "στρογγυλοί", ενωμένοι σε σειρά, αντιπροσωπεύουν την 1 ίντσα της εποχής. Πρόκειται για ένα πρότυπο το οποίο λίγο-πολύ επικράτησε μέχρι το 19ο αι. μ.Χ.

•Σταθμός 11: 1581 μ.Χ.

Τονίζεται εδώ ότι πριν τον 17ο αι. μ.Χ., οι ακριβείς μετρήσεις ήταν πρακτικά αδύνατες. Η ακρίβεια στη μέτρηση μήκους και μάζας μπορεί να θεωρηθεί κάπως υποφερτή, αλλά ο χρόνος μετρούνταν μόνον σε μεγάλα διαστήματα, ενώ μεγέθη όπως η θερμοκρασία ή η πίεση των υγρών ήταν απολύτως αδύνατο να μετρηθούν. Σε ό,τι αφορά το χρόνο, το 1581 ο γνωστός Ιταλός αστρονόμος και μαθηματικός Galileo Galilei (1564-1642), δίνει βελτιωμένη λύση με τις παρατηρήσεις του επί του εκκρεμούς και την αντίστοιχη κατασκευή ρολογιών που στηρίζονται σε αυτή την αρχή.

•Σταθμός 12: 1590 μ.Χ.

Κατασκευάζεται το πρώτο σύνθετο μικροσκόπιο, θεωρητικά από τον Ολλανδό οπτικό Hans Janssen και το γιο του Zacharias Janssen (θεωρητικά, επειδή η άποψη αυτή βασίζεται σε προσωπική δήλωση του υιού Janssen, μολονότι έχει μάλλον αποδειχθεί ότι ο ίδιος γεννήθηκε το 1590). Μια άλλη μάλλον ισοβαρής άποψη είναι ότι εφευρέτης ήταν ο Galileo Galilei.

•Σταθμός 13: 1592 μ.Χ.

Κατασκευάζεται το πρώτο θερμόμετρο από τον Galileo Galilei.

•Σταθμός 14: 1615 μ.Χ.

Πραγματοποιούνται, ο πρώτος ακριβής γεωδαιτικός τριγωνισμός και η πρώτη σημαντική έρευνα για τη διάθλαση (Νόμος του Snell) από τον Ολλανδό φυσικό Willebrord Snell (1591-1626).

•Σταθμός 15: 1631 μ.Χ.

Εφευρίσκεται ο βερνιέρος (ειδική κλίμακα για τη μέτρηση κλασμάτων υποδιαιρέσεων μιας κλίμακας) από τον Γάλλο μαθηματικό και εφευρέτη οργάνων Pierre Vernier (1580-1637).

•Σταθμός 16: 1641 μ.Χ.

Ο Άγγλος αστρονόμος W. Gascoigne εφευρίσκει το σταυρόνημα [5].

•Σταθμός 17: 1648 μ.Χ.

Πρωτοχρησιμοποιείται ο κοχλίας ως μετρητική διάταξη ακριβείας.

•Σταθμός 18: 1660 μ.Χ.

Εμφανίζεται το πρώτο θερμόμετρο οινοπνεύματος.

•Σταθμός 19: 1670 μ.Χ.

Ο Γάλλος ιερωμένος και επιστήμονας Gabriel Mouton (1618-1694) προτείνει ένα περιεκτικό δεκαδικό σύστημα μέτρων και

σταθμών, βασιζόμενο στο μέγεθος της Γης (δηλ. χρησιμοποιώντας για πρώτη φορά ως βάση μια φυσική μονάδα και όχι το ανθρώπινο σώμα). Πρόκειται ουσιαστικά για μια πρόταση-θεμέλιο για το μετρικό σύστημα (που θα ακολουθήσει αργότερα). Πραγματοποιείται επίσης μέτρηση γήινου μεσημβρινού από τον Γάλλο αστρονόμο Jean Picard (1620–1682). Τέλος ορίζονται, το μέτρο (με βάση γήινο μεσημβρινό) και το γραμμάριο (με βάση το ύδωρ).

•Σταθμός 20: 1676 μ.Χ.

Ο Δανός αστρονόμος Olaus Roemer (1644-1710) είναι ο πρώτος που μετρά επιτυχώς την ταχύτητα του φωτός, με βάση παρατηρήσεις των εκλείψεων των δορυφόρων του Δία.

•Σταθμός 21: 1683 μ.Χ.

Κατασκευάζεται το πρώτο μικροσκόπιο ακριβείας, από τον Ολλανδό κατασκευαστή οργάνων Antony van Leeuwenhoek (1632-1723).

•Σταθμός 22: 1742 μ.Χ.

Ο Σουηδός αστρονόμος Anders Celsius (1701-1744) καθιερώνει τη γνωστή θερμομετρική κλίμακα, αποδεκτή αργότερα ως μέρος του μετρικού συστήματος.

•Σταθμός 23: 1775 μ.Χ.

Ο Άγγλος εφευρέτης και κατασκευαστής οργάνων Jesse Ramsden (1735-1800) χρησιμοποιεί μηχανισμούς κυκλικών υποδιαίρεσεων, για υψηλής ακριβείας εξάντες, μικρόμετρα και ζυγούς. Κατασκευάζει τον πρώτο θεοδόλιχο υψηλής ακριβείας που χρησιμοποιείται για την τριγωνομετρική ένωση της Αγγλίας με την ευρωπαϊκή ήπειρο.

•Σταθμός 24: 1780 μ.Χ.

Αρχίζει η Βιομηχανική επανάσταση. Σημαντικότερη χρονική περίοδος της ανθρώπινης ιστορίας που αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο σύστημα τεχνικών, οικονομικών και κοινωνικών ανακατατάξεων. Αποτέλεσμα αυτών των ανακατατάξεων ήταν η μετάβαση των ευρωπαϊκών κοινωνιών, από την αγροτική στη βιομηχανική πλέον μορφή τους [22]. Η νέα κατάσταση, μέσα από την εκβιομηχάνιση και την άνθιση της τεχνολογίας (π.χ. ατμοκίνηση, μηχανουργία, εργαλειομηχανές κ.λπ.), ευνόητο είναι να αποτελέσει ένα πραγματικά απέραντο και εύφορο έδαφος για την εξάπλωση και εξέλιξη της Μετρολογίας.

•Σταθμός 25: 1791 μ.Χ.

Η επικρατούσα, αναφορικά με τα είδη μέτρων και σταθμών, κυριολεκτικά χαοτική κατάσταση στις ευρωπαϊκές χώρες, ωθεί την Εθνοσυνέλευση των επαναστατημένων γάλλων να δώσει εντολή στην Ακαδημία των Επιστημών για τη δημιουργία ενός "διεθνούς" συστήματος μέτρων και σταθμών. Το σύστημα αυτό, επειδή η πρώτη μονάδα του που ορίστηκε ήταν αυτή του "μέτρου" ως μονάδα μήκους, ονομάστηκε "Μετρικό Σύστημα" (Metric System). Στην όλη μελέτη και τελική πρόταση, κυρίαρχο ρόλο έπαιξε ο μαθηματικός και αστρονόμος Pierre Simon de Laplace (1749-1827). Είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον το γεγονός πως επίσημα πλέον η νέα μονάδα του "μέτρου" δεν έχει ανθρωπομετρικό χαρακτήρα. Το γεγονός αυτό υποστηρίζεται, αφενός μεν από τις νέες αντιλήψεις περί κατάργησης των παλαιών φεουδαρχικών επιλογών, αφετέρου δε από την υλοποίηση της ισότητας με αποδοχή από όλους τους λαούς της ίδιας ακριβώς μονάδας [22].

•Σταθμός 26: 1792 μ.Χ.

Πραγματοποιείται η μέτρηση μεσημβρινού από την πόλη Dunkirk προς τη Barcelona, από τους Γάλλους αστρονόμους Jean Baptiste Joseph Delambre (1749-1822) και Pierre François André Méchain (1744-1804), γεγονός που οδηγεί στην καθιέρωση ενιαίου συστήματος μετρήσεων.

•Σταθμός 27: 1805 μ.Χ.

Κατασκευάζεται το πρώτο μικρόμετρο με αναγνώσιμη ακρίβεια $1/10,000$ της ίντσας από τον Άγγλο εφευρέτη και κατασκευαστή μηχανών Henry Maundsley (1771-1831).

•Σταθμός 28: 1805 μ.Χ.

Εμφανίζεται η Μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων, θεμελιώδες εργαλείο για την παραπέρα εξέλιξη της επιστήμης (με διαφορά μερικών χρόνων, από τους Adrien Marie Legendre (1752-1833) και Johann Karl Friedrich Gauss (1777-1855), αντίστοιχα).

•Σταθμός 29: 1820 μ.Χ.

Καθιέρωση του Βρετανικού Αυτοκρατορικού Μετρητικού Συστήματος (Imperial System) από τη Βρετανική Βουλή. Πρόκειται για ένα καθαρά εξελικτικό μετρητικό σύστημα που αναπτύχθηκε "τυχαία", χωρίς πρόγραμμα και πρόθεση. Σήμερα χρησιμοποιείται κατά κανόνα μόνο στη Βρετανία και στις Αμερικανικές αποικίες της.

•Σταθμός 30: 1820 μ.Χ.-1923 μ. Χ.

Πραγματοποιούνται πολλές και ποικίλες εφευρέσεις, βελτιώσεις και εξελίξεις στο χώρο των διαφόρων οργάνων, αεροσταθμών, αλφαδιών, μικρομέτρων, γραμμικών μετρητικών συστημάτων κ.λπ.

•Σταθμός 31: 1875 μ.Χ.

Ιδρύεται το Διεθνές Γραφείο Βαρών και Μετρήσεων (International Bureau for Weights and Measures - Bureau International des Poids et Mesures - BIPM) και καθιερώνεται το Μετρικό Σύστημα (Metric System) [3]. Ορίζονται τα πρότυπα, του μέτρου και γραμμαρίου αντίστοιχα, με βάση κράμα πλατίνας - ιριδίου. Οι νέες επιστημονικές ανακαλύψεις προκαλούν την ανάγκη για περισσότερη ακρίβεια και σαφώς καθορισμένες μονάδες. Αυτή η ανάγκη ικανοποιείται με τη Συνθήκη του Μέτρου (Meter Convention) το 1875, μια διεθνή διπλωματική συνθήκη στην οποία συμμετείχαν 17 χώρες μεταξύ των οποίων και οι ΗΠΑ, ενώ μέχρι σήμερα συνολικά 51 έθνη έχουν αποδεχθεί επίσημα το μετρικό σύστημα. Η συνθήκη αυτή καθόρισε με ακρίβεια τις μονάδες όπως επίσης και τους μηχανισμούς για την σύσταση και υιοθέτηση των περαιτέρω καθορισμών στο μετρικό σύστημα. Ταυτόχρονα, κατασκευάστηκαν και διανεμήθηκαν, σε κάθε έθνος που επικύρωσε την συνθήκη, τα μετρικά πρότυπα.

•Σταθμός 32: 1881 μ.Χ.

Χρήση συμβολομετρίας από τον Αμερικανό φυσικό Abraham Albert Michelson (1852-1931) και μέτρηση της ταχύτητας του φωτός με απaráμιλλη μέχρι τότε ακρίβεια.

•Σταθμός 33: 1931 μ.Χ.

Κατασκευάζεται το πρώτο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο από τον Γερμανό ηλεκτρολόγο-μηχανολόγο Ernst Ruska (1906-1988), που αποτελεί ένα τεράστιο άλμα στη βελτίωση της ακριβείας (ανάλυσης) αφού, ενώ τα συμβατικά μικροσκόπια φωτός επιτυγχάνουν ανάλυση περίπου 0.2 micrometer (200 nm), τα ηλεκτρονικά παρέχουν αναλύσεις της τάξης του 0.1 nm (1 angstrom).

•Σταθμός 34: 1947 μ.Χ.

Η ανάγκη που αισθάνονται οι βιομηχανίες να οργανώσουν ορθολογικά τη διεθνή διαδικασία εμπορικών συναλλαγών, οδηγεί στην ίδρυση και καθιέρωση μιας μη κυβερνητικής οργάνωσης, του Διεθνούς Οργανισμού για την Τυποποίηση (International Organization for Standardization - ISO) [8], [14]. Πρόκειται για μια παγκόσμια ομοσπονδία που σήμερα έχει φτάσει να έχει ως μέλη τους εθνικούς οργανισμούς προτυποποίησης 148 χωρών. Η δραστηριότητα προτυποποίησης υλοποιείται από 2,981 τεχνικά συλλογικά όργανα (τε-

χνικές επιτροπές, υποεπιτροπές, ομάδες εργασίας και ομάδες μελετών). Υπάρχουν περισσότερα από 14,000 διεθνή πρότυπα ISO [24]. Βασική αποστολή του ISO είναι η προώθηση της ανάπτυξης της τυποποίησης και των σχετικών δραστηριοτήτων στον κόσμο, με σκοπό τη διευκόλυνση της διεθνούς ανταλλαγής των αγαθών και των υπηρεσιών. Επίσης γίνεται προσπάθεια για την ανάπτυξη της συνεργασίας στους χώρους των διανοητικών, επιστημονικών, τεχνολογικών και οικονομικών δραστηριοτήτων. Τα αποτελέσματα των εργασιών του ISO οδηγούν σε διεθνείς συμφωνίες που δημοσιεύονται ως διεθνή πρότυπα. Διαπιστώνεται πως οι χρήστες έχουν περισσότερη εμπιστοσύνη στα προϊόντα και τις υπηρεσίες που προσαρμόζονται στα διεθνή πρότυπα. Η διαβεβαίωση της συμμόρφωσης προς τα διεθνή αυτά πρότυπα παρέχεται από τις δηλώσεις των κατασκευαστών και/ή από τους λογιστικούς ελέγχους που πραγματοποιούνται από διάφορους ανεξάρτητους οργανισμούς.

•Σταθμός 35: 1955 μ.Χ.

Ιδρύεται μια διακυβερνητική οργάνωση που στοχεύει στην προώθηση της σφαιρικής εναρμόνισης των νομικών διαδικασιών Μετρολογίας, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Νομικής Μετρολογίας (International Organization of Legal Metrology - OIML) [8], [13]. Ο OIML, για να επιτύχει την προώθηση αξιόπιστων πρακτικών μέτρησης, συνεργάζεται στενά με το BIPM αλλά και με περισσότερα από 100 διεθνή και άλλα περιφερειακά ιδρύματα που δραστηριοποιούνται στο χώρο της Μετρολογίας, της τυποποίησης αλλά και άλλους σχετικούς τομείς. Ο OIML έχει αναπτύξει μια παγκόσμια τεχνική δομή που παρέχει στα μέλη του τις μετρολογικές οδηγίες για την επεξεργασία των εθνικών και περιφερειακών απαιτήσεων, σχετικά με την κατασκευή και τη χρήση των οργάνων μέτρησης για τις νομικές απαιτήσεις Μετρολογίας. Ακόμη περισσότερο, ο OIML αναπτύσσει τους πρότυπους κανονισμούς και τις διεθνείς συστάσεις. Τα προϊόντα αυτά παρέχουν στα μέλη του OIML μια διεθνώς συμφωνημένη βάση για την καθιέρωση της εθνικής νομοθεσίας, αναφορικά με τις διάφορες κατηγορίες οργάνων μέτρησης. Λαμβάνοντας δε υπόψη την αυξανόμενη εθνική εφαρμογή των οδηγιών του OIML, όλο και περισσότεροι κατασκευαστές αναφέρονται στις διεθνείς συστάσεις του OIML ώστε να εξασφαλίσουν έτσι ό,τι τα προϊόντα τους ανταποκρίνονται στις διεθνείς προδιαγραφές.

•Σταθμός 36: 1941 μ.Χ.-1956 μ.Χ.

Πραγματοποιείται με μεγάλη ακρίβεια μέτρηση της ταχύτητας του φωτός από τον Σουηδό Bergstrand. Η αντιστροφή του προβλήματος, οδηγεί στη μέτρηση αποστάσεων με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (π.χ. όργανο μέτρησης αποστάσεων με οπτικά κύματα AGA Geodimeter). Στις αρχές δε της δεκαετίας του '50, εμφανίζεται στο εμπόριο το ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης αποστάσεων με μικροκύματα Tellurometer.

•Σταθμός 37: 1960 μ.Χ.

Επίσημη υιοθέτηση του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (Système International d'Unités - SI), με το 11ο Γενικό Συνέδριο για τα βάρη και τα μέτρα (General Conference on Weights and Measures - CGPM).

•Σταθμός 38: 1987 μ.Χ.

Με την υπογραφή ενός υπομνήματος συμφωνίας από τα συμμετέχοντα κράτη, ιδρύεται στη Μαδρίτη (23-9-1987) ο EUROMET (European Collaboration in Measurement Standards) [10], [11]. Το πρωτόκολλο της σύμβασης ενεργοποιείται τελεσίδικα την 1-1-1988. Από τότε, το πρωτόκολλο αυτό τροποποιήθηκε το 1995 και το 1998.

•Σταθμός 39: 1990 μ.Χ.

Στις 27-4-1990, ιδρύεται στις Βρυξέλες η EUROLAB (The European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories) [8], [21]. Στόχοι της είναι:

1. Η αντιπροσώπευση των ευρωπαϊκών εργαστηρίων μέσω της διατύπωσης και της έκφρασης άποψης σχετικά με πολιτικά και τεχνικά ζητήματα που ασκούν άμεση επίδραση στη δραστηριότητά τους στην ευρωπαϊκή σκηνή και παγκοσμίως.
2. Ο συντονισμός όλων των ευρωπαϊκών οργανώσεων που αναπτύσσουν ενδιαφέρουσες για την εργαστηριακή κοινότητα δραστηριότητες, και που προσπαθούν να αποφύγουν την επανάληψη προσπαθειών και δραστηριοτήτων.
3. Η παροχή επαρκών μέσων για την ανταλλαγή των πληροφοριών και των εμπειριών (π.χ. η δημοσίευση τεχνικών εκθέσεων, ενημερωτικών δελτίων, σεμιναρίων κ.λπ.).
4. Η προώθηση οικονομικώς αποδοτικών δοκιμών, υπηρεσιών βαθμολόμησης και μέτρησης, για τις οποίες οι απαιτήσεις εξασφάλισης ακρίβειας και ποιότητας πρέπει να προσαρμοστούν στις πραγματικές ανάγκες.

•Σταθμός 40: 1990 μ.Χ.

Τον Ιούνιο του 1990 ιδρύεται στην Ελβετία η WELMEC (Western European Legal Metrology Cooperation) από 18 αντιπροσωπευτικά μέλη εθνικών αρχών, αρμοδίων για τη Νομική Μετρολογία. Η WELMEC έχει ως κύριο στόχο την καθιέρωση μιας εναρμονισμένης και συνεπούς προσέγγισης στην ευρωπαϊκή Νομική Μετρολογία. Σήμερα, παρόλη την ονομασία της, η WELMEC [8], [23] επεκτείνεται και πέρα από τη δυτική Ευρώπη, έχοντας αντιπροσώπους και από την Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη. Άλλοι στόχοι της WELMEC είναι: Η ανάπτυξη αμοιβαίας εμπιστοσύνης μεταξύ των νομικών υπηρεσιών Μετρολογίας, η εναρμόνιση των νομικών δραστηριοτήτων Μετρολογίας, η πιστοποίηση και το εξεταστικό πλαίσιο, η οργάνωση της ανταλλαγής των πληροφοριών, η προώθηση της άρσης των εμποδίων στο εμπόριο καθώς και προτάσεις απαιτούμενων ενεργειών για να διευκολυνθεί η εφαρμογή τους (στον τομέα των οργάνων μέτρησης και της εφαρμογής των κανονιστικών εγγράφων), η διατήρηση των δεσμών με άλλους σχετικούς οργανισμούς σχετικούς με τη Νομική Μετρολογία κ.ά.

•Σταθμός 41: 1978 μ.Χ.-1995 μ.Χ.

Εμφάνιση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης, Ταχύτητας και Διανομής Χρόνου (Global Positioning System - GPS) [19], που βασίζεται σε δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη Γη. Καθιέρωση του GPS και του αντίστοιχού του, Ρωσικού συστήματος GLONASS. Πρόκειται για το αποκορύφωμα της τεχνολογίας σε σχέση με τη γεωδαιτική επιστήμη, με πλήθωρα μετρολογικών απαιτήσεων και παραμέτρων.

•Σταθμός 42: 1999 μ.Χ.

Εμφάνιση του ISO/IEC 17025:1999 (Διεθνές πρότυπο - General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories), το οποίο περιλαμβάνει συνολικά τις απαιτήσεις που πρέπει να πληροί ένα εργαστήριο Μετρολογίας.

2. Η Μετρολογία διαχρονικά, στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

Στις προηγμένες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και ιδιαίτερα στην Αμερική η Μετρολογία έχει αναπτυχθεί από το 1900. Στην Ευρώπη, πέρα από τα εθνικά μετρολογικά ιδρύματα που υπάρχουν στα περισσότερα κράτη-μέλη, πέρα από άλλα εργαστήρια (είτε στον ιδιωτικό είτε στο δημόσιο τομέα, όπως π.χ. εταιρείες, πανεπιστήμια), υπάρχει επίσημα ο EUROMET (European Collaboration in Measurement Standards) μια ουσιαστικά εθελοντική οργάνωση μεταξύ των εθνικών ιδρυμάτων Μετρολογίας [8], [10], [11]. Είναι ένας "οργανισμός-ομπρέλα" που βασίζεται στη συνεργασία όλων των εθνικών μετρολογικών ιδρυμάτων και ο οποίος σήμερα έχει 34 μέλη. Κύριοι στόχοι του EUROMET είναι: Η ενθάρρυνση της συνεργασίας με σκοπό την ανάπτυξη των εθνικών προτύπων και των μεθόδων μέτρησης, η βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων και των υπηρεσιών, η βελτίωση των εγκαταστάσεων μέτρησης καθώς και η εκτέλεση συγκρίσεων για να εξασφαλιστεί μια καλύτερη συνοχή των μετρήσεων, η εξασφάλιση μιας συντονισμένης ευρωπαϊκής υποδομής στον τομέα της Μετρολογίας (η οποία θα ικανοποιεί τις βιομηχανικές ανάγκες όλης της Ευρώπης), η υποστήριξη των μελών του στις προσπάθειές τους να εξυπηρετήσουν όσο το δυνατόν καλύτερα τους πελάτες τους, η συμμετοχή στις διεργαστηριακές συγκρίσεις για την παγκόσμια αναγνώριση των προτύπων μέτρησης, και τέλος, η ενίσχυση της συνεργασίας με το BIPM αλλά και με άλλους περιφερειακούς οργανισμούς Μετρολογίας.

Στην Ελλάδα, η πλήρης καθιέρωση του Μετρικού Συστήματος έγινε την 1η Απριλίου το 1959 οπότε αντικαταστάθηκε η μέχρι πρότινος μονάδα βάρους η οκά, από το χιλιόγραμμο κιλό. Ουσιαστικά πάντως, η Μετρολογία στην Ελλάδα επίσημα ξεκίνησε μόλις μετά την ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς το 1993.

Η ανώτατη αρχή Μετρολογίας είναι το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (EIM) [8] που ήδη από το 1998 αποτελεί πλήρες μέλος του EUROMET. Το EIM δρα ως τεχνικός σύμβουλος του Ελληνικού Κράτους σε θέματα Μετρολογίας και μετρήσεων. Πρόκειται για ένα Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και εποπτεύεται από τη Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας του Υπουργείου Ανάπτυξης (ιδρυτικός νόμος Ν.2231/94). Μέσω του EIM [8], από το 2001 η Ελλάδα αποτελεί πλήρες μέλος της σύμβασης του μέτρου. Το EIM είναι σύμβουλος του ελληνικού κράτους σε όλα τα θέματα που αφορούν: τη Μετρολογία, τη διατήρηση των εθνικών προτύπων, την καθιέρωση διεργαστηριακών μετρήσεων (σε εθνικό και διεθνές επίπεδο), καθώς και τη συνεργασία με το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (πρώην Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης) σε ό,τι αφορά τις μεθόδους διακρίβωσης και τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων (ΕΣΥΔ, Ανώνυμη Εταιρεία ιδιωτικού δικαίου, ιδρυτικός νόμος Ν.3066/2002) [7]. Το ΕΣΥΔ, εκτός των εργαστηρίων, διαπιστεύει επίσης και όλους τους φορείς πιστοποίησης στην Ελλάδα (π.χ. ΕΛΟΤ, DQS, TUV Hellas κ.λπ.) [24].

Τέλος, υπάρχει ο ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης), στον οποίο οι νόμοι Ν.372/76, Ν.1682/1997 καθώς και το Π.Δ.155/97 αναθέτουν την ανάπτυξη δραστηριοτήτων Πιστοποίησης [9]. Με βάση το ΦΕΚ 708/Β/13-07-98, ο ΕΛΟΤ εφαρμόζει Διαδικασίες και Συστήματα Πιστοποίησης (π.χ. του Διεθνούς Οργανισμού ISO).

Στη σημερινή Ευρώπη, για μετρολογικές δραστηριότητες δαπανάται περισσότερο από το 1% του συνολικού Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ), κάτι που ισοδυναμεί με οικονομικό όφελος της τάξης του 2-7% του ΑΕΠ. Οι συστηματικές μετρήσεις με τη συνοδεία των γνωστών τους αβεβαιοτήτων, αποτελούν έναν από

τους θεμέλιους λίθους του βιομηχανικού ποιοτικού ελέγχου. Οπότε, δεν αμφισβητείται το γεγονός πως στις σύγχρονες βιομηχανίες οι μετρήσεις αποτελούν το 10-15% του κόστους παραγωγής.

3. Αντί επιλόγου

Παρόλο τον πολυδαίδαλο διεπιστημονικό χαρακτήρα και την εν γένει πολυπλοκότητα της Μετρολογίας, επιχειρήθηκε εδώ μια περιληπτική της ανασκόπηση, η οποία οπωσδήποτε αποτελεί μια μόνον εκδοχή από τις πολλές αποδεκτές που θα μπορούσαν να υπάρξουν, ανάλογα με την ειδικότητα και σκοπιά που το βλέπει ο κάθε ερευνητής. Θα μπορούσαν ανάλογα να προσθαφαιρεθούν πολλά και διάφορα ορόσημα στην χρονική πορεία αυτής της "ειδικής" επιστήμης. Σε κάθε περίπτωση πάντως, είναι πραγματικά αναμφισβήτητη η εξέλιξη της ανθρωπότητας σε συνδυασμό με τη Μετρολογία, μια επιστήμη που εισχωρεί και διαχέεται δραστικά και πρακτικά σε όλες τις δράσεις και περιοχές της καθημερινότητας (π.χ. μετρήσεις, συναλλαγές, βιομηχανική παραγωγή, έλεγχος ποιότητας, υγεία κ.λπ.). Είναι αδύνατο να φανταστεί κάποιος εξέλιξη της Τεχνολογίας χωρίς την εξέλιξη της Μετρολογίας, και αντίστροφα. Βαδίζοντας προς το μέλλον, αναμφισβήτητα το Εθνικό Μετρολογικό Σύστημα κάθε χώρας αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της βιομηχανίας, της τεχνολογίας και της οικονομίας της εν γένει. Αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανταγωνιστικότητά της στο διεθνές περιβάλλον και προϋποθέτει τη συνεργασία και τη συντεταγμένη προσπάθεια της πολιτείας μαζί με όλη τη βιομηχανική, οικονομική και τεχνολογική κοινότητα της χώρας. Επίσης, είναι ανόητο να παραβλέπονται γεγονότα όπως, η εντεινόμενη οικονομική παγκοσμιοποίηση (όπου η ποιότητα υπηρεσιών τείνει να είναι σημαντικότερη της τιμής) αλλά και η αυξανόμενη τάση παροχής μετρολογικών υπηρεσιών.

Η Μετρολογία είναι μια "ακριβή επιστήμη" η οποία μάλιστα, όταν εφαρμόζεται για τα υψηλότερα επίπεδα ακριβείας δεν είναι καθόλου εύκολο να χρηματοδοτηθεί από τον κρατικό προϋπολογισμό. Τουλάχιστον στην Ευρώπη, διαπιστώνεται πως τα διατιθέμενα για Μετρολογία κεφάλαια, είτε παραμένουν αμετάβλητα είτε έχουν την τάση να μειώνονται. Από την άλλη μεριά, οι απαιτήσεις της βιομηχανίας και των επιστημών που έχουν να κάνουν με μετρήσεις ολοένα και αυξάνονται. Σε ό,τι αφορά ειδικότερα την επιστήμη της Γεωδαισίας σε σχέση με τη Μετρολογία, διαφαίνεται πλέον μια συνειδητοποιημένη, εκτεταμένη και συγκροτημένη εντατικοποίηση (και σε διεθνές αλλά και σε ευρωπαϊκό επίπεδο), στον πολιτικό, επιστημονικό και επαγγελματικό χώρο, με κύριους άξονες:

- ✓ Τη διακρίβωση των γεωδαιτικών οργάνων σύμφωνα με διεθνώς αποδεκτά πρότυπα
- ✓ Την τυποποίηση των γεωδαιτικών εργασιών
- ✓ Τον ευαγγελισμό και την ενημέρωση σχετικά με τα θέματα αυτά.

Άλλωστε, έχει ήδη επισημανθεί σοβαρή επαγγελματική (συνεπαγωγικά, οικονομική) κρίση, λόγω της ύπαρξης καθαρά προβλημάτων τυποποίησης και διακριβώσεων.

Σε κάθε περίπτωση, δεν είναι τυχαία η άποψη του Ιταλού αστρονόμου Giovanni de Sanctis:

"Η Μετρολογία δεν είναιεπιστήμη. Είναιεφιάλτης" !!

Βιβλιογραφία

- [1]. Berriman, A.E. (1970): Historical Metrology. A New Analysis of the Archaeological and the Historical Evidence Relating to Weights and Measures, Greenwood Press Reprint, ISBN 0837124247.
- [2]. Brown & Sharp, Hexagon Metrology: <http://www.browncandsharpe.com/>
- [3]. Bureau International des Poids et Mesures (BIPM): <http://www.bipm.fr/>
- [4]. Cesati, A. - Nessi, L. - Plassmayer, P. - Wattenmaker, R.J. (2004): Antique Tools and Instruments, 5 Continents Editions Publ., ISBN 8874391242.
- [5]. Darius, J.-Thomas, P.K. (1981): Crosswires in a Guiding Eyepiece, J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 14, pp. 761-765.
- [6]. Δούκας, Ι.Δ. (2005): Η ιστορική εξέλιξη της επιστήμης της μετρολογίας, Επιστημονικό Συνέδριο "Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στην Ελλάδα", 15 και 16 Απριλίου 2005, Θεσσαλονίκη, σελ. 133-156.
- [7]. Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. (Ε.ΣΥ.Δ.): <http://www.esyd.gr/>
- [8]. Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ): <http://www.eim.org.gr/html/greek/home.html>
- [9]. Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ): <http://www.elot.gr/home.htm>
- [10]. EUROMET (2004): Metrology In Short, 2nd Edition, <http://www.euromet.org/docs/pubs/>
- [11]. European Collaboration in Measurement Standards (EUROMET): <http://www.euromet.org/>
- [12]. Humphrey, J.W. - Oleson, J.P. - Sherwood, A.N. (1998): Greek and Roman Technology: A Sourcebook: Annotated Translations of Greek and Roman Texts and Documents, Routledge Publ., ISBN 0415061377.
- [13]. International Organization of Legal Metrology (OIML): <http://www.oiml.org/>
- [14]. International Organization for Standardization (ISO): <http://www.iso.org/iso/en/ISOOnline.frontpage>
- [15]. Κορρές, Ε. (2000): Από το Λατομείο στον Παρθενώνα, Εκδόσεις Μέλισσα, ISBN 9602042273.
- [16]. Kravath, F.F. (1988): Christopher Columbus, Cosmographer: A History of Metrology, Geodesy, Geography, and Exploration from Antiquity to the Columbian Era, Landmark Enterprises Publ., ISBN 0910845328.
- [17]. Lenzen, D.L. (1989): Ancient Metrology, Lenzen Publ., ISBN 0962530905.
- [18]. Lewis, M.J.T. (2001): Surveying Instruments of Greece and Rome, Cambridge University Press, ISBN 0521792975.

- [19]. Μπαντέλας, Α.Γ. - Σαββαΐδης, Π.Δ. - Υφαντής, Ι.Μ. - Δούκας, Ι.Δ. (1999): ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ, Τόμος Ι: Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης και Υπολογισμών, Θεσ/νίκη, Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, ISBN 9603433284.
- [20]. Mitchel, J. (2001): Ancient Metrology, Matrix of Creation Publ., ISBN 0906850053.
- [21]. The European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories (EUROLAB):
<http://www.eurolab.org/>
- [22]. Φραγκόπουλος, Σ.Γ. (2005): Ιστορία της Τεχνολογίας,
<http://sfr.ee.teiath.gr/historia/historia/default.htm>
- [23]. Western European Legal Metrology Cooperation (WELMEC):
<http://www.welmec.org/>
- [24]. Ψηφιακό Κέντρο Έρευνας:
<http://www.vrc.gr:8080/roadmaps/index.html>