

ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

Θέμης Τσιρόπουλος
Κέντρο Οργάνων-Εργαστήριο Διακριβώσεων INTRACOM
19,5 χλμ Λ. Μαρκοπούλου
Παιανία, Αττική
e-mail: ttsir@intracom.gr

Περίληψη

Το άρθρο επικεντρώνεται σε κομβικά σημεία της προσπάθειας του ανθρώπου να αντιμετωπίσει τις μετρητικές του ανάγκες από τα αρχαία χρόνια μέχρι και σήμερα. Ορόσημα στη διαδρομή αυτή αποτελούν συγκεκριμένα πρότυπα όργανα καθώς και συγκεκριμένες μετρολογικές υποδομές ώστε η χαώδης, μη επιστημονική, αρχική προσπάθεια να μετεξελιχθεί στην τυποποιημένη και αυστηρά δομημένη επιστήμη της σύγχρονης Μετρολογίας .

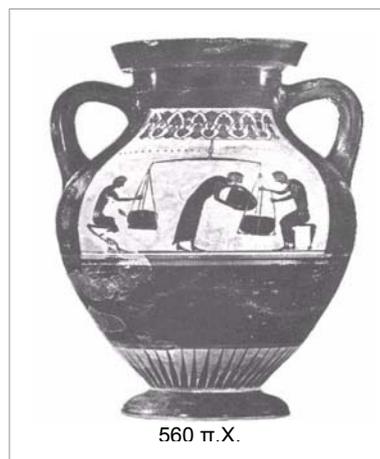
Λέξεις-Κλειδιά: Μετρολογία, διακρίβωση, Πρότυπα, Μετρολογία και πρότυπα στην Αρχαία Ελλάδα και Αίγυπτο, Σύγχρονες Μετρολογικές Υποδομές, Μετρικό Σύστημα .

Εισαγωγή

Οι μετρήσεις αποτελούν από αρχαιοτάτων χρόνων σημαντικό εργαλείο προσδιορισμού των δραστηριοτήτων σε κρίσιμους τομείς όπως είναι η γεωργία, η αρχιτεκτονική, η βιομηχανία, οι έρευνες, οι επιστήμες, το περιβάλλον, η ασφάλεια και υγεία. Καθημερινές μετρήσεις, όπως η ζύγιση των τροφίμων, προσφέρουν αξιοπιστία στις συναλλαγές μας και προστατεύουν τον καταναλωτή, άλλες δε μετρήσεις, κλιματολογικές και περιβαλλοντικές, έχουν ως μακροπρόθεσμο στόχο τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας.

Η ποσοτικοποίηση των φαινομένων που μας περιβάλλουν και η διατύπωσή τους μέσω αριθμών και διεθνώς αποδεκτών συστημάτων μονάδων είναι το θεματικό περιεχόμενο της Μετρολογίας, η οποία διέπεται από αρχές και θεσμούς, η επιτυχής εφαρμογή των οποίων καθορίζεται από τα ακόλουθα δομικά στοιχεία:

- Τη δυνατότητα της έκφρασης του ανθρώπου μέσω των αριθμών.
- Τη δημιουργία συστημάτων μονάδων, ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός των φυσικών φαινομένων.
- Την κατασκευή οργάνων και συσκευών για τη μέτρηση των φαινομένων
- Την ύπαρξη Διεθνών Οργανισμών που διέπουν τις αρχές της Μετρολογίας και συντονίζουν τα Μετρολογικά θέματα σε παγκόσμια κλίμακα.



- Την ύπαρξη Εθνικών Οργανισμών για το συντονισμό των προαναφερθέντων σε εθνικό επίπεδο.
- Την ύπαρξη εργαστηρίων διακριβώσεων για την κάλυψη των μετρολογικών αναγκών της βιομηχανίας, άλλων φορέων και οργανισμών.

Αριθμοί και συστήματα μονάδων

Παραμένει αδιευκρίνιστο ακόμα πότε ακριβώς άρχισε ο άνθρωπος να συλλαμβάνει την έννοια της καταμέτρησης αντικειμένων μέσω των αριθμών. Οι πρώτες ενδείξεις αυτής της ικανότητας εμφανίζονται περί το 13.000 π.Χ.¹ ως συστηματικές εγκοπές σε οστά και κέρατα ζώων, που εικάζεται ότι αποσκοπούσαν στην καταμέτρηση του χρόνου. Ιστορικές αποδείξεις, μέχρι στιγμής, παρουσιάζουν ένα κενό για τα επόμενα οκτώ με εννέα χιλιάδες χρόνια, τα ευρήματα όμως μετά από αυτές τις χιλιετίες έρχονται με καταγιστικό ρυθμό να καταδείξουν την ύπαρξη ευφύων συστημάτων, τα οποία μαρτυρούν:

- Την ικανότητα του ανθρώπου να μετρά σε πολλαπλά συστήματα με βάση τους αριθμούς 2, 4, 5, 6, 10, 20 και 40, σε απομακρυσμένους γεωγραφικά πολιτισμούς. Έτσι οι Μεσοποτάμιες χώρες, την 4^η χιλιετία π.Χ.², χρησιμοποιούν αριθμούς με βάση το 10 αλλά και το 6 στις μελέτες των άστρων και του χρόνου, συνέπεια αυτού του συνδυασμού είναι ακόμα και σήμερα να χρησιμοποιούμε στη μέτρηση των γωνιών και του χρόνου πολλαπλάσια του αριθμού 60, όπως ακριβώς έκαναν οι Σουμέριοι και οι Βαβυλώνιοι.
- Την εμφάνιση της εφηρμοσμένης μετρολογίας την 4^η χιλιετία π.Χ., όπου οι αριθμοί και οι μονάδες μέτρησης υλοποιούνται μέσω μετρητικών οργάνων και συσκευών, με την ανασκαφή ζυγών και σταθμών¹ στην περιοχή Νακάντα της Β. Αιγύπτου και οργάνων μέτρησης μήκους στις δυτικές κοιλάδες της Ινδίας.

Τα πρώτα μετρολογικά συστήματα χαρακτηρίζονται από τη χρήση μέτρων και σταθμών που είναι εμπνευσμένα και χρησιμοποιούν ως πρότυπο την ανθρώπινη ανατομία, ο Βαβυλωνιακός Δάκτυλος, ο Βασιλικός Πήγης των Φαραώ, ο Ελληνικός Πους. Τα συστήματα αυτά εξελίχθηκαν και διαφοροποιήθηκαν με το πέρασμα των χιλιετιών, υπέστησαν αλλαγές, και κατά καιρούς η μείωση ή αύξηση του μετρούμενου μεγέθους ήταν συνυφασμένη άλλοτε με νομοθετικές αλλαγές³ και άλλοτε με την άνοδο ενός νέου ηγέτη και την επίδειξη ισχύος διαμέσου της πλήρους αλλαγής των θεσμών περιλαμβανομένων και των μέτρων και σταθμών.

Αποτέλεσμα όλων αυτών των επιδράσεων ήταν η ύπαρξη πολλαπλών μετρολογικών συστημάτων, ακόμα και σε γειτονικές κοινωνίες, τα οποία απαιτούσαν τη χρήση πολλαπλών μέτρων και σταθμών καθώς και τη χρήση συστημάτων μετατροπής από ένα σύστημα σε άλλο. Η πληθώρα αυτών των συστημάτων ήταν μία πηγή σφαλμάτων και δολίων συναλλαγών, αποτελούσε δε τροχοπέδη στο διεθνές εμπόριο και

¹ Petruso Karl, "Early Weights and Weighing in Egypt and the Indus Valley". *Bulletin of the Museum of Fine Arts, Boston* 79 (1981) pp 44-51.

² Sarton George, "Decimal Systems Early and Late". *Osiris, Vol 9* (1950), 581-601.

³ Αριστοτέλης εκ Σταγίρων (384-322 πΧ), *Το Αθηναϊκό Πολίτευμα I:10*, "αυτά φαίνονται να είναι τα δημοκρατικά χαρακτηριστικά των νόμων του, επιπλέον πριν από την περίοδο της νομοθεσίας του, αυτός [Σόλων] θέσπισε την κατάργηση των χρεών και μετά από αυτό θέσπισε την **αύξηση των πρότυπων ζύγισης** και των νομισμάτων. Κατά την διάρκεια της διακυβέρνησης του **τα μέτρα αυξήθηκαν** από ότι ήταν επί Φεΐδωνα".

τις επιστήμες. Η ανάγκη δημιουργίας ενός τυποποιημένου, κοινά αποδεκτού, μετρολογικού συστήματος έγινε επιτακτικότερη με την άνθιση των επιστημών και την ραγδαία εξέλιξη της βιομηχανίας τον 17^ο και 18^ο αιώνα. Η εναρμόνιση των μέτρων και σταθμών με παραμέτρους της φύσης και όχι του ανθρώπινου σώματος ήταν πλέον επιτακτική και μέσα από αυτή τη ριζοσπαστική στροφή, το Γαλλικό κοινοβούλιο, το 1795, νομοθέτησε και έθεσε σε εφαρμογή τη χρήση του Μετρικού Συστήματος το οποίο καθόριζε νέες μονάδες μετρήσεων καθώς και τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια τους με μια απλή μετάθεση του δεκαδικού ψηφίου. Το μετρικό σύστημα έθεσε τα θεμέλια του μετέπειτα Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (International System of Units – SI).

Η απλότητα και η τυποποίηση του συστήματος αυτού έθεσε και τις βάσεις υιοθέτησής του από άλλα κράτη στις δεκαετίες που ακολούθησαν έτσι από το 1840 μέχρι το 1870 το μετρικό σύστημα καθιερώνεται στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες περιλαμβανομένης και της Ελλάδας (τυπικά βέβαια διότι ουσιαστική καθιέρωση έγινε στην Ελλάδα μετά το 1960). Η αποδοχή αυτή οδήγησε και στην ανάγκη χειρισμού των συνθηκών εξέλιξης και διάδοσης του νέου συστήματος μέσα από διεθνείς οργανισμούς. Έτσι με μια διπλωματική συνθήκη, "τη Συνθήκη του Μέτρου" (Metre Convention) του 1875 δημιουργείται η "Διεθνής Υπηρεσία Μέτρων και Σταθμών" (Bureau International des Poids et Mesures- BIPM), η οποία μέσω της διεθνούς κοινότητας και μίας σειράς εξειδικευμένων επιστημονικών επιτροπών⁴ έχει τους ακόλουθους στόχους:

1. Την εξασφάλιση ενός παγκόσμιου, ενιαίου συστήματος μετρήσεων, ιχνηλάσιμου στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων.
2. Τη δημιουργία προτύπων που υλοποιούν τις βασικές αλλά και τις παράγωγες μονάδες, τη βελτίωση και εξέλιξη του συστήματος.
3. Το συντονισμό των Εθνικών Μετρολογικών Εργαστηρίων στην έρευνα και ανάπτυξη σε πολλούς μετρολογικούς τομείς.
4. Στη συσχέτιση των Εθνικών προτύπων.

Σημειώνεται ότι η Ελλάδα υπέγραψε τη Συνθήκη του Μέτρου το 2001 μετά την δημιουργία Εθνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας και Εθνικού Συστήματος Διαπίστευσης.

Τα πρώτα φυσικά μεγέθη, που όρισε το νέο Μετρικό σύστημα, ήταν το μέτρο⁵ για την μέτρηση του μήκους και το χιλιόγραμμο για την μέτρηση της μάζας. Με την προσθήκη του δευτερολέπτου για μέτρηση του χρόνου και από το 1954 μέχρι το 1971 άλλων 4 θεμελιωδών μονάδων (το Αμπέρ για τα ηλεκτρικά μεγέθη, τη μονάδα Κέλβιν για τα θερμοδυναμικά, την καντέλα για την ένταση φωτός και το μολ για την ποσότητα μέτρηση ύλης) ολοκληρώνεται επί του παρόντος ο κύκλος θέσπισης θεμελιωδών μονάδων καθώς και ενός μεγάλου αριθμού παράγωγων μονάδων.

Σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό των θεμελιωδών μονάδων είναι η ανεξαρτησία τους στο διάστημα και το χρόνο, δηλαδή πρέπει να είναι αναπαραγωγίσιμοι με την ίδια ακρίβεια σε οποιοδήποτε εργαστήριο.

⁴ *General Conference on Weights and Measures (CGPM) και International Committee of Weights and Measures (CIPM)*

⁵ Το μέτρο ορίστηκε ως δέκα εκατομμυριοστά του ενός τετάρτου του μεσημβρινού της γης (συσχέτιση με παράμετρο της φύσης). Το 1960 επαναπροσδιορίστηκε ως το μήκος που ισούται με 1.650.763,73 μήκη κύματος των ενεργειακών μεταβολών του ατόμου του στοιχείου κρυπτον-86. Από το 1983 προσδιορίζεται ως προς την ταχύτητα του φωτός και ορίζεται ως το μήκος που διανύει το φως στο κενό σε διάστημα 1/299.792.458 δευτερολέπτων. Οι συνεχείς επαναπροσδιορισμοί αποσκοπούν στη συσχέτιση με σταθερές της φύσης και στην βελτίωση της μετρητικής ακρίβειας.

Όργανα μετρήσεων και πρότυπα αναφοράς

Οι προαναφερθείσες μονάδες υλοποιούνται μέσω μετρητικών οργάνων, συσκευών, συστημάτων ή υλικών αναφοράς. Μετρητικά όργανα τα οποία διαθέτουν την καλύτερη δυνατή ακρίβεια μέτρησης εντάσσονται στην κατηγορία των πρότυπων αναφοράς.

Τα παλαιότερα πρότυπα, που έχουν ανεβρεθεί μέχρι σήμερα, ανάγονται στην 3^η χιλιετία π.Χ. και μεταξύ αυτών είναι ο χάλκινος πήγης⁶ των Σουμερίων-Βαβυλωνίων της Νιπούρ (160 χλμ ΝΑ της Βαγδάτης), έχει μήκος 51,85 εκ. και αποτελεί τον πρόδρομο του Αιγυπτιακού βασιλικού πήγης των Φαραώ, ένα από τα σημαντικότερα όργανα στην κατασκευή των πυραμίδων. Ο βασιλικός πήγης (ανάλογα με την τοποθεσία και την εποχή κυμαίνεται από 44,9 εκ. έως 52,9

εκ. και αναπαριστά το μήκος του πήγης του εκάστοτε Φαραώ) κατασκευασμένος από γρανίτη αποτελούσε το πρότυπο αναφοράς και φυλάσσονταν κυρίως από τους αρχιερείς ή αρχιτεχνίτες, ενώ ξύλινα αντίγραφα χρησιμοποιούνταν ως καθημερινά εργαλεία μέτρησης στην αρχαία Αίγυπτο την 3^η και τη 2^η χιλιετία π.Χ..

Όσον αφορά την αρχαία Ελλάδα, η χρήση μετρολογικών ανάγλυφων πλακών ήταν αρκετά διαδεδομένη για την αποτύπωση και αναπαραγωγή των μετρολογικών μεγεθών της εποχής. Τα πρότυπα αυτά ήταν τοποθετημένα κοντά σε κρατικά κτήρια και επέτρεπαν στους πολίτες την συσχέτιση του μεγέθους με αυτό των κατασκευαζόμενων αντιγράφων. Δείγμα μετρολογικής πλάκας από την Σαλαμίνα⁷, της περιόδου του 400 με 500 π.Χ., φαίνεται στη ακόλουθη φωτογραφία, όπου στο εναπομένον τμήμα της πλάκας αποτυπώνονται τα εξής πρότυπα μεγέθη μήκους:



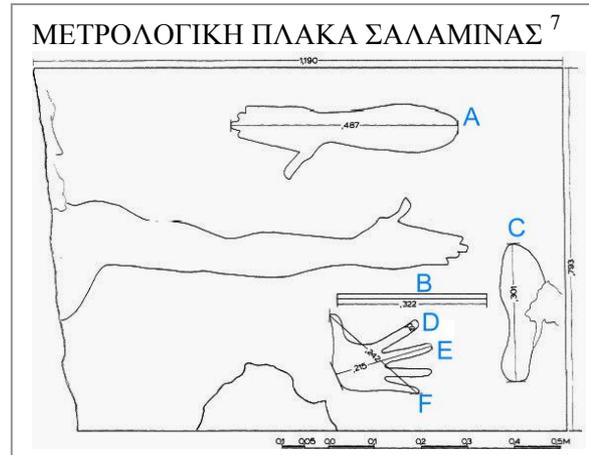
Τμήμα Αιγυπτιακού πήγης 1700-1500 π.Χ.
(University College London 2001)



Πρότυπο βάρος θησαυροφύλακα Χερφού,
1700-1500 π.Χ.
(University College London 2001)

⁶ Μουσείο Κωνσταντινούπολης

⁷ Dekoulakou-Sideri, Ifigenia "A Metrological Relief of Salamis", *American Journal of Archaeology*, Vol 94, No 3 (July 1990, 444-451).



A- Πήχης (48,7 εκ.)

B- Πους (32,2 εκ.)

C- Πους (30,1 εκ. Φαίνεται να υπάρχει για συσχέτιση με άλλο μετρικό σύστημα της εποχής)

D- Δάκτυλος (2 εκ.)

E- Ορθόδωρον (21,5 εκ.)

F- Σπιθαμή (24,2 εκ.)

Με την υιοθέτηση του μετρικού συστήματος, τα πρώτα φυσικά μεγέθη, που ορίστηκαν ήταν το μέτρο για την μέτρηση του μήκους και το χιλιόγραμμα για την μέτρηση της μάζας. Δύο πρότυπα από λευκόχρυσο και ιρίδιο, που υλοποιούν τα δύο αυτά μεγέθη, κατασκευάστηκαν το 1799 και φυλάσσονται έκτοτε στο Παρίσι.



Ανάλογα με το βαθμό ακρίβειας με τον οποίον προσεγγίζουν οι πρότυπες συσκευές το μετρούμενο μέγεθος, εντάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Διεθνή πρότυπα-** αποτελούν αντικείμενο διεθνών συμφωνιών για την εξυπηρέτηση της διεθνούς μετρολογικής κοινότητας και υλοποιούν συγκεκριμένα μεγέθη με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Παράδειγμα αποτελεί το Διεθνές Πρότυπο Χιλιόγραμμα που φυλάσσεται στο BIPM και αποτελεί το μοναδικό πλέον χειροποίητο πρότυπο σε χρήση σήμερα.
- **Πρωτεύοντα πρότυπα-** υλοποιούν συγκεκριμένα μεγέθη με την υψηλότερη δυνατή ακρίβειας και αποτελούν εξοπλισμό Εθνικών Ινστιτούτων Μετρολογίας, όπως το κβαντικό πρότυπο Josephson για την υλοποίηση του μεγέθους της συνεχούς τάσης.

- **Δευτερεύοντα πρότυπα**- η τιμή τους προκύπτει από συσχέτιση με πρωτεύον πρότυπο του ίδιου μεγέθους, όπως το πρότυπο συνεχούς τάσης του εργαστηρίου διακρίβωσης της INTRACOM το οποίο διακρίβώνεται από το πρωτεύον πρότυπο Josephson του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας (φωτ 3).



- **Πρότυπα εργασίας**- συσχετίζονται με δευτερεύοντα πρότυπα και χρησιμοποιούνται σε καθημερινές διακρίβώσεις μεγάλου αριθμού οργάνων.

Εθνικά Μετρολογικά Συστήματα

Βασικά δομικά στοιχεία ενός Εθνικού Μετρολογικού Συστήματος είναι η ύπαρξη Εθνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας, ενός διεθνώς αναγνωρισμένου Φορέα Διαπίστευσης και τέλος η ύπαρξη εργαστηρίων διακρίβωσης και εργαστηρίων δοκιμών- ελέγχων. Στην Ελλάδα το σχήμα αυτό, από τις αρχές του 2000, διαμορφώνεται ως εξής:

- Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (EIM) διατηρεί τα Ελληνικά Εθνικά Πρότυπα μετρήσεων για την υλοποίηση των θεμελιωδών και παραγόμενων μονάδων του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI) και συμμετέχει σε σχήματα μετρήσεων και δοκιμών μαζί με άλλα Ευρωπαϊκά Εθνικά Ινστιτούτα Μετρολογίας στα πλαίσια συσχέτισης των Εθνικών μας προτύπων με αυτά των άλλων κρατών.
- Το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ.), υποστηριζόμενο από τεχνικές επιτροπές και εμπειρογνώμονες, χορηγεί πιστοποιητικά διαπίστευσης σύμφωνα με το πρότυπο ISO/IEC 17025⁸, σε εργαστήρια διακρίβωσης και δοκιμών. Στις υπόλοιπες νομοθετημένες αρμοδιότητες του Ε.ΣΥ.Δ περιλαμβάνεται και η πιστοποίηση ανεξάρτητων Φορέων Πιστοποίησης συστημάτων ποιότητας της σειράς ISO 9000, ISO 14000, OHSAS 18000, SA 8000.
- Εθνικά Μετρολογικά Συστήματα Εργαστηρίων (ΕΜΣΕ), αποτελείται από ένα πλέγμα Διαπιστευμένων Εργαστηρίων Διακρίβωσης και Δοκιμών του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, τα οποία παρέχουν υπηρεσίες, στους τομείς για τους οποίους έχουν διαπιστευθεί.

⁸ ISO 17025: General requirement for the competence of calibration and testing laboratories

Συμπεράσματα

Η Μετρολογία έχοντας διανύσει μία διαδρομή αρκετών χιλιετιών έχει πλέον φτάσει σε ένα σημαντικό σημείο ωριμότητας και τυποποίησης, όσον αφορά τις υποδομές αλλά τον διαθέσιμο μετρολογικό εξοπλισμό, ώστε να καλύπτει σε ικανοποιητικό βαθμό τις μετρολογικές ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο, συγχρόνως δε οι βάσεις αυτές αποτελούν το εφαλτήριο για την εξέλιξη της μετρολογίας, διότι με επιταχυνόμενο ρυθμό οι νέες τεχνολογίες απαιτούν ακριβέστερες μετρήσεις καθώς και νέες μεθόδους μετρήσεων.