# ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ (ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ) ΟΡΓΑΝΩΝ

**Ιωάννης Δ. Δούκας**
**Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωματικής - Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής**
**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**
**GR-541 24, Τ.Θ. 465, Ελλάς**
**e-mail: jdoukas@civil.auth.gr**

**Περίληψη:** Στην παρούσα εργασία γίνεται μια σφαιρική αναφορά σχετικά με τα σφάλματα, τη διακρίβωση και τις ρυθμίσεις βασικών γεωδαιτικών (τοπογραφικών) οργάνων. Η Γεωδαισία, που είναι η παλαιότερη γεωεπιστήμη, ασχολείται με τη θεωρητική και πρακτική σπουδή οργάνων και μεθόδων για την εκτέλεση μετρήσεων, υπολογισμών και απεικονίσεων που είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό της μορφής και του μεγέθους, τμημάτων ή ολόκληρης της γήινης επιφάνειας. Έτσι, στο επιστημονικό πεδίο της Γεωδαισίας (και σε ένα υποσύνολό της την Τοπογραφία) συναντάται πληθώρα οργάνων μέτρησης διαφόρων μεγεθών, όπως το μήκος, η γωνία, η υψομετρική διαφορά κ.λπ. Μεταξύ άλλων, τέτοια βασικά ή βοηθητικά γεωδαιτικά όργανα είναι ο θεοδόλιχος (μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών), ο χωροβάτης (μέτρηση υψομετρικών διαφορών), οι μετροταινίες (μέτρηση αποστάσεων), τα όργανα **EDM** (**E**lectromagnetic **D**istance **M**easurement - ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης αποστάσεων με μικροκύματα, laser, υπέρυθρη ακτινοβολία), οι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Station – ηλεκτρονικά ταχύμετρα), οι σταδίες, τα κλισίμετρα, οι οπτικοί κατακορυφωτές, οι ανακλαστήρες των οργάνων EDM και οι δορυφορικοί δέκτες **GPS** (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem). Τα όργανα αυτά αποτελούν το καθημερινό οπλοστάσιο της Γεωδαισίας. Πρόκειται για επιστημονικά, αλλά ταυτόχρονα και επαγγελματικά όργανα, που προορίζονται για σκληρή και μακροχρόνια χρήση, αλλά και για μακροχρόνια έκθεση στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον της γήινης ατμόσφαιρας (υπέργεια ή υπόγεια, σε ανοικτούς ή κλειστούς χώρους) και σε διάφορες κλιματικές συνθήκες. Έχοντας ως στόχο τη μόνιμη και συνεχή επίτευξη σωστών μετρήσεων, κάτω από διαφορετικές απαιτήσεις τεχνικών προδιαγραφών ακριβείας, τα όργανα αυτά εξυπακούεται πως πρέπει να είναι ελεγμένα, κατάλληλα ρυθμισμένα και συντηρημένα. Οι μηχανικοί και γενικά οι χειριστές τέτοιων οργάνων, οφείλουν πρωτίστως να συνειδητοποιήσουν την αναγκαιότητα ελέγχου της ακριβείας και συντήρησης. Επίσης, θα πρέπει να είναι οι ίδιοι σε θέση να αναγνωρίσουν τις εργασίες που εξαρτώνται από την ακρίβεια ρύθμισης των οργάνων τους, αλλά και να ελέγχουν τα όργανα πριν, κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά το πέρας της περιόδου μετρήσεων. Τέλος, θα πρέπει να μπορούν να εκτελούν κάποιους απλούς, αλλά βασικούς, ελέγχους και ρυθμίσεις, χωρίς να σπαταλούν χρόνο και χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά να καταφεύγουν στην αντιπροσωπεία και/ή την κατασκευάστρια εταιρεία.

*Λέξεις-Κλειδιά: διακρίβωση, γεωδαιτικά – τοπογραφικά όργανα, γεωδαισία*

## 1. Εισαγωγικά - Βασικοί ορισμοί

Λόγω της πληθώρας όρων σχετικά με τη Μετρολογία, για την άνετη παρακολούθηση του κειμένου που ακολουθεί, δίνονται εξ αρχής κάποιοι ορισμοί (αποδόσεις διεθνώς αποδεκτών ορισμών) [2], [3], [5], [9], [10], [16], [36]. Παρακάτω δε, με τους όρους

Γεωδαισία (γεωδαιτικός κ.λπ.) θα υπονοείται και το υποσύνολό της η Τοπογραφία (τοπογραφικός κ.λπ.).

•1. **Ακρίβεια (αβεβαιότητα) μέτρησης (Accuracy):** Σε ανεξάρτητες μεταξύ τους, επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ενός μεγέθους (που γίνονται υπό τις ίδιες συνθήκες), είναι ο βαθμός αμοιβαίας συμφωνίας των μετρήσεων αυτών. Είναι ο βαθμός "ταύτισης" μεταξύ της εκτιμημένης (ή μετρημένης) τιμής και της αντίστοιχης "πραγματικής".

•2. **Ποιότητα μέτρησης (Precision):** Δείχνει το πόσο καλά συμφωνούν μεταξύ τους κάποιες διαφορετικές μεταξύ τους μετρήσεις του ιδίου συγκεκριμένου μεγέθους και σχετίζεται με την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου οργάνου, την προσοχή-ικανότητα-εμπειρία παρατηρητή κ.λπ. Η υψηλή ποιότητα μετρήσεων δεν εγγυάται το ό,τι η ακρίβεια θα είναι επίσης υψηλή, η δε ακρίβεια μέτρησης δεν πρέπει να συγχέεται με την ποιότητα μέτρησης.

•3. **Αβεβαιότητα (Uncertainty):** Πρόκειται για την ποσοτική μέτρηση της ποιότητας του αποτελέσματος μετρήσεων. Δίδεται με δύο τρόπους, π.χ. για μέτρηση γωνίας, είτε ως (233.077gon ± 0.006gon) είτε ως (233.077gon ± 0.006gon, σε επίπεδο εμπιστοσύνης π.χ. 95.0%). Σε κάθε περίπτωση, μέτρηση χωρίς τη συνοδεύουσά της αβεβαιότητα, δεν έχει καμμιά αξία.

•4. **Μετρολογία (Metrology):** Όρος που προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις "μέτρον" και "λόγος". Είναι η επιστήμη αλλά και η τέχνη (art) των μετρήσεων, των συστημάτων μέτρων και σταθμών. Καλύπτει, και τους πειραματικούς και τους θεωρητικούς προσδιορισμούς που έχουν να κάνουν με την αβεβαιότητα, σε οποιαδήποτε επίπεδο της επιστήμης και της τεχνολογίας. Ειδικότερα από γεωδαιτική σκοπιά, η Μετρολογία εκτός από θέματα που αφορούν αυτά καθαυτά τα όργανα, κατά κανόνα τείνει να σημαίνει *την επιστήμη των μετρήσεων των διαστάσεων (μια, δύο, τρεις διαστάσεις)*. Όταν δε πρόκειται για έργα που έχουν διαστάσεις της τάξης των 1-50 m, τότε συνήθως λέγεται *«Μετρολογία μεγάλης κλίμακας» ή «γεωδαιτική Μετρολογία»*.

•5. **Διακρίβωση (Calibration):** Αποτελεί τυπικά και ουσιαστικά συνιστώσα της Μετρολογίας Είναι η σύγκριση της εξόδου (output) ενός συστήματος ή οργάνου, με εκείνη ενός αντίστοιχου πολύ μεγαλύτερης ακριβείας, που καλείται σύστημα αναφοράς (τουλάχιστον πέντε (5) φορές ακριβέστερο από το υπό έλεγχο σύστημα). Ο στόχος της σύγκρισης αυτής είναι ο προσδιορισμός και η τεκμηρίωση της απόκλισης της εξόδου (ή της πραγματικής τιμής ενός υλικού μέτρου) από τη συμβατική "πραγματική" τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Έτσι, π.χ. οι μετρήσεις με ένα όργανο EDM (**EDMI-E**lectromagnetic **D**istance **M**easurement **I**nstrument) μπορούν να συγκριθούν με αντίστοιχες που επιτεύχθηκαν με ένα υψηλής ακριβείας συμβολόμετρο Laser [9], [27]. Η βελτίωση της ελεγχόμενης ακριβείας μέσω προσδιοριζόμενων ρυθμίσεων (διορθώσεων), μέσα από τη σύγκριση αυτή, καλείται **Βαθμονόμηση**. Παρόλο δε που κατά κανόνα θεωρείται αυτονόητη η χρήση συσκευής (ή συστήματος) αναφοράς, κάποιες μέθοδοι βασίζονται μόνον στις "εσωτερικές" μετρήσεις. Έτσι, π.χ. σε έλεγχο και ρύθμιση των αξόνων ενός θεοδολίχου, η όλη διακρίβωση βασίζεται σε μετρήσεις που γίνονται αποκλειστικά από το ίδιο το ελεγχόμενο όργανο. Επίσης, στην επιστήμη της Φωτογραμμετρίας (άλλο υποσύνολο της Γεωδαισίας) συναντάται η τεχνική της αυτο-διακρίβωσης (self-calibration).

Οι βασικοί λόγοι που καθιστούν επιτακτική τη διακρίβωση ενός οργάνου είναι οι εξής:

I. Η επιβεβαίωση ότι οι αναγνώσεις του οργάνου είναι σε συμφωνία με άλλες μετρήσεις.
II. Ο προσδιορισμός της ακριβείας των αναγνώσεων του οργάνου.
III. Η καθιέρωση της αξιοπιστίας του οργάνου.

•6. **Πρότυπο (Standard):** Είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζουν το πώς οι άνθρωποι εξελίσουν, παράγουν και διαχειρίζονται υλικά, υπηρεσίες, τεχνολογίες, διεργασίες και συστήματα [25]. Η σημαντικότητα των προτύπων φαίνεται ενδεικτικά από τα εξής στοιχεία: Μέχρι τα τέλη του 2001 όδευσαν προς εκτύπωση 13,544 κάθε είδους ISO πρότυπα, με σύνολο 430,608 σελίδες (σε σχέση με το 1999, αυτό σημαίνει αύξηση κατά 1,000 πρότυπα και αντίστοιχα κατά 75,000 σελίδες) [17]. Η διαδικασία καθιέρωσης προτύπου με στόχο να αποκομιστούν (αναμφισβήτητα) οφέλη χωρίς να πληγεί ο ανταγωνισμός, λέγεται **Τυποποίηση (Standardization)**. Η τυποποίηση εμπεριέχεται σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης ζωής, οι δε δυσκολίες που δημιουργούνται από την έλλειψή της είναι αυτές που καθιστούν απολύτως ξεκάθαρα τα οφέλη της. Αρκεί π.χ να μνημονευτούν οι διαφορές στις διαστάσεις των Ευρωπαϊκών χαρτιών για εκτυπωτές σε σχέση με εκείνες των ΗΠΑ ή οι διαφορές στις πρίζες παροχής ρεύματος (Ευρώπη, ΗΠΑ).

•7. **Ιχνηλασιμότητα (Traceability):** Όρος που αναφέρεται στην πληρότητα πληροφοριών σε κάθε βήμα μιας αλληλουχίας ("αλυσίδας") διαδικασιών. Η βασική αρχή αλυσίδας πίσω από τη διακρίβωση είναι να συγκριθεί κάποιο όργανο με κάποιο πρότυπο υψηλότερης ακριβείας (συνήθως με το εθνικό ή το διεθνές πρότυπο).

## 2. Γενικά περί σφαλμάτων των γεωδαιτικών μετρήσεων

Τα σφάλματα μπορεί να είναι λάθη, συστηματικά σφάλματα, τυχαία σφάλματα [2], [3], [5], [16], [28], [36]. Πιο συγκεκριμένα:

1. **Λάθη (blunders, mistakes, gross errors):** Πρόκειται για απρόβλεπτα λάθη, κατά κανόνα μεγάλου (ή "αφύσικου") μεγέθους, που οφείλονται στην ανθρώπινη απροσεξία, παρανόηση, σύγχυση ή φτωχή κρίση. Στο μεγαλύτερο μέρος τους αποφεύγονται με την ετοιμότητα, την κοινή λογική, την πείρα και βέβαια τη σωστή κρίση. Δεν αναφέρονται ως (δεν θεωρούνται) σφάλματα, μολονότι ένα μικρό σε μέγεθος λάθος μή εντοπιζόμενο μπορεί να έχει την ίδια "επίδραση" με ένα σφάλμα. Λάθος π.χ. είναι ο αναγραμματισμός των ψηφίων ενός αριθμού, η μή σωστή τοποθέτηση της υποδιαστολής σε ένα δεκαδικό αριθμό, η διαφορετική κατανόηση ενός προφερόμενου αριθμού κ.λπ. Τα λάθη προΐστανται στη διαδικασία ελέγχου σφαλμάτων δηλ. πρώτα απομακρύνονται αυτά και μετά γίνεται έλεγχος των μετρήσεων για τα σφάλματα (συστηματικά και τυχαία).

2. **Συστηματικά σφάλματα (systematic errors, biases):** Τα σφάλματα αυτά μπορούν να διορθωθούν με την κατάλληλη επεξεργασία δεδομένων γιατί ακολουθούν κάποιους μαθηματικούς νόμους που μπορούν να μοντελοποιηθούν. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες, έχουν πάντα το ίδιο μέγεθος και το ίδιο πρόσημο. Αποτελούν το βασικό «στόχο» της διακρίβωσης.

•*Αίτια συστηματικών σφαλμάτων:* Το είδος και τα αίτια πρόκλησης ενός συστηματικού σφάλματος μπορεί να είναι, είτε γνωστά είτε άγνωστα. Στις περισσότερες περιπτώσεις προκαλούνται από φυσικές συνθήκες μεταβαλλόμενες σύμφωνα με σταθερούς, φυσικούς ή μαθηματικούς νόμους. Κάποια από αυτά απορρέουν από τις προσωπικές συνήθειες παρατήρησης του παρατηρητή, με άλλα λόγια από την τάση του παρατηρητή να αντιδρά (διανοητικά και φυσικά) με τον ίδιο τρόπο κάτω από τις ίδιες συνθήκες (βλ. Σημείωση 1). Διορθώσεις για συστηματικό σφάλμα εφαρμόζονται μόνον όταν αυτό είναι γνωστό.

•*Επίδραση συστηματικών σφαλμάτων:* Κάποια έχουν αθροιστική συμπεριφορά ενώ άλλα μπορεί να αλληλοεξουδετερώνονται. Οι διορθώσεις για συστηματικά σφάλματα στις γεωδαιτικές μετρήσεις προσδιορίζονται μέσα από διάφορες τεχνικές διακρίβωσης. Όταν δεν μπορούν να προσδιοριστούν σε ικανοποιητικό βαθμό, τότε οι επιδράσεις τους μπορούν να θεωρηθούν "τυχαίες", μέσα όμως από ειδικές μετρητικές διαδικασίες. Κάτι τέτοιο π.χ. επιδιώκεται όταν οι γεωδαιτικές μετρήσεις επαναλαμβάνονται σε διαφορετικές

ώρες της ημέρας, κάτω από διαφορετικές καιρικές συνθήκες, με διασπορά ακόμη και σε διαφορετικές ημέρες. Για να ελαχιστοποιηθούν τα συστηματικά σφάλματα, τα γεωδαιτικά όργανα πρέπει να υφίστανται περιοδικούς ελέγχους (διακριβώσεις), πρωτίστως με βάση τις προδιαγραφές και τις συστάσεις του κατασκευαστή τους, αλλά και με βάση την εμπειρία του χρήστη και το "ιδιαίτερο ιστορικό" κάθε οργάνου.

**3. Τυχαία σφάλματα (random errors, accidental errors, noise):** Είναι μικρές (θετικές και αρνητικές) ανεξέλεγκτες αποκλίσεις μιας τιμής (που προήλθε από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις). Είναι απολύτως φυσικό φαινόμενο που αποκλείεται να εκλείψει πλήρως με την τροποποίηση της σχεδίασης του μετρητικού συστήματος. Τα σφάλματα αυτά ακολουθούν φυσιολογικά την κανονική κατανομή, αξιολογούνται δε με τη χρήση ειδικών στατιστικών μεθόδων (π.χ. μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων).

•*Αίτια τυχαίων σφαλμάτων:* Τα τυχαία σφάλματα προκαλούνται από μή ανώμαλες, περίπλοκες αιτίες που είναι πέρα από τον έλεγχο του παρατηρητή. Είναι δε απρόβλεπτες οι απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως: Πότε θα συμβούν, ποιό το μέγεθός τους, ποιό το αλγεβρικό τους πρόσημο. Οπότε αναλύονται με βάση τους μαθηματικούς νόμους των πιθανοτήτων.

•*Επίδραση των τυχαίων σφαλμάτων:* Θεωρητικά, ένα τέτοιο σφάλμα έχει ίση πιθανότητα να είναι θετικό ή αρνητικό. Συνεπαγωγικά, τέτοια σφάλματα έχουν την τάση να αλληλοαναιρούνται. Εφόσον και το μέγεθός τους είναι θέμα τύχης, το αποτέλεσμα είναι σε κάθε μέτρηση να παραμένουν τυχαία σφάλματα μικρού μεγέθους. Γενικά, ένα τυχαίο σφάλμα δεν ακολουθεί μια σταθερή σχέση με τις συνθήκες και τις περιστάσεις της κάθε παρατήρησης.

Στις γεωδαιτικές μετρήσεις, εκτός από την παραπάνω κατηγοροποίηση που βασίζεται στη Θεωρία Σφαλμάτων [28], τα σφάλματα χωρίζονται επίσης σε:

[1]. **Σφάλματα οργάνων:**

a. *Συστηματικά σφάλματα οργάνων:* Τέτοια π.χ. είναι τα σφάλματα αξόνων θεδολίχων/γεωδαιτικών σταθμών, σφάλματα κλίμακας και προσθετικής σταθεράς στο συνδυασμό EDMI-ανακλαστήρα, σφάλμα κλίμακας ή σταθερής απόκλισης σε μετροταινία, σφάλμα μή οριζοντιότητας σκόπευσης χωροβάτη. Παράδειγμα σφάλματος: Η μή εφαρμογή της κατάλληλης τάσης ελκυσμού σε μια μετροταινία σε μέτρηση απόστασης.

b. *Τυχαία σφάλματα οργάνων:* Οφείλονται καθαρά στη μηχανική φύση των γεωδαιτικών οργάνων (προβλήματα σε εξαρτήματα, κατασκευαστικές αστοχίες κ.λπ.). Παράδειγμα σφάλματος: Η αδυναμία τέλειας σκόπευσης με ένα θεοδόλιχο. *Σημείωση 1:* Αν ο χρήστης έχει την τάση (συνήθεια) να σκοπεύει πάντα σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή π.χ. αριστερά του κέντρου του στόχου, τότε το σφάλμα γίνεται συστηματικό!.

[2]. **Σφάλματα παρατηρητή**

[3]. **Σφάλματα λόγω περιβάλλοντος των μετρήσεων (π.χ. γήινη ατμόφαιρα)**

a. *Συστηματικά σφάλματα λόγω περιβάλλοντος των μετρήσεων:* Εδώ περιλαμβάνονται π.χ. η καμπυλότητα της Γης, η ατμοσφαιρική διάθλαση [6], [7], [28].

b. *Τυχαία σφάλματα λόγω του περιβάλλοντος των μετρήσεων:* Όπως π.χ. προβληματική σκόπευση λόγω της αχλύος που προκαλείται από θερμικά κύματα, γενικότερα επιδράσεις του τοπικού μικροκλίματος, υπόγειες μετρήσεις κ.λπ.

*Σημείωση 2:* Αρκετές φορές συμβαίνει η διάκριση μεταξύ τυχαίων και συστηματικών σφαλμάτων να είναι εξαιρετικά δυσχερής (βλ. Σημείωση 1). Είναι γνωστό π.χ. ότι οι μετρήσεις με EDMI επηρεάζονται από τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση. Σε

κάποια χρονική περίοδο, οι μετρούμενες στο πεδίο θερμοκρασία και πίεση μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να μοντελοποιήσουν κάποιες διορθώσεις σφαλμάτων. Αλλά οι μετρήσεις αυτών των φυσικών μεγεθών δεν γίνονται συνεχώς, ούτε γίνονται κάθε φορά που γίνεται μέτρηση μιας απόστασης. Έτσι, προβάλει η αμφιβολία αν η επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας και/ή της πίεσης είναι πλήρως, συστηματικής ή τυχαίας φύσης.

## 3. Σφάλματα θεοδολίχου

Υπάρχουν διάφορα σφάλματα που σχετίζονται με αυτά τα όργανα, που επηρεάζουν όλους τους τύπους θεοδολίχων (από τους κλασικούς οπτικομηχανικούς μέχρι τους πλέον σύγχρονους ηλεκτρονικούς θεοδολίχους). Σε κάθε περίπτωση οι θεοδόλιχοι (όπως όλα τα όργανα) υπόκεινται σε σφάλματα κατασκευής και ρυθμίσεων, ενώ μπορούν να υποστούν και "μεταβολές" με την πάροδο του χρόνου.

**Α. Συστηματικά σφάλματα σχετικά με το θεοδόλιχο:** Ένας θεοδόλιχος έχει τρεις άξονες: α. Τον πρωτεύοντα ΠΠ (κατακόρυφος, για την οριζόντια περιστροφή του οργάνου πέριξ αυτού), τον δευτερεύοντα ΔΔ (οριζόντιος, κατακόρυφη περιστροφή τηλεσκοπίου πέριξ αυτού) και τον άξονα σκόπευσης ΣΣ (άξονας τηλεσκοπίου). Οι πληρωτέες δε συνθήκες του θεοδολίχου είναι:

- Οι τρεις άξονες να διέρχονται από το ίδιο σημείο.
- Ο άξονας ΠΠ να είναι κατακόρυφος.
- Ο άξονας ΔΔ να είναι κάθετος στον ΠΠ.
- Ο άξονας ΣΣ να είναι κάθετος στον ΔΔ.

Τα συστηματικά σφάλματα του θεοδολίχου χωρίζονται σε αυτά που:

1. *Διορθώνονται με ρυθμιστικούς κοχλίες, (αφορούν τους άξονες του οργάνου):*
    a. Σφάλμα σκοπευτικού άξονα ΣΣ.
    b. Σφάλμα δευτερεύοντα άξονα ΔΔ.
    c. Σφάλμα πρωτεύοντα άξονα ΠΠ.
2. *Δεν διορθώνονται με ρυθμιστικούς κοχλίες:*
    a. Σφάλμα διαιρέσεων των δίσκων ανάγνωσης.
    b. Σφάλμα εκκεντρότητας οριζόντιου δίσκου αναγνώσεων.
    c. Σφάλμα αυτόματης αναγνώρισης στόχου (σφάλμα ATR), για θεοδολίχους που έχουν αυτή τη δυνατότητα).
    d. Σφάλμα τοποθέτησης-κατακορύφωσης σε σχέση με τη βάση τρικόχλιου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο μ.ο. των αναγνώσεων (από θέση I και II τηλεσκοπίου) εξαλείφει τα περισσότερα σφάλματα [28]. Όταν πρόκειται για ηλεκτρονικό θεοδόλιχο ή γεωδαιτικό σταθμό, η χρήση του ενσωματωμένου λογισμικού στο όργανο συνεισφέρει επί πλέον στην τελική εξάλειψη των συστηματικών μηχανικών σφαλμάτων.

**Β. Τυχαία σφάλματα σχετικά με το θεοδόλιχο:** Πρόκειται για σφάλματα που σχετίζονται με το δίδυμο θεοδόλιχου-παρατηρητή, τα οποία είναι:

1. Σφάλμα οπτικής σκόπευσης.
2. Σφάλμα ανάγνωσης.
3. Σφάλμα κέντρωσης.
4. Σφάλμα οριζοντίωσης.

5. Σφάλμα ισοσταθμιστή για όργανα αυτόματης κατακορύφωσης.

## 4. Σφάλματα χωροβατών και σταδιών

Οι χωροβάτες στην πλειοψηφία τους είναι και αυτοί οπτικομηχανικά όργανα που η καλή τους λειτουργία εξαρτάται επίσης από την πλήρωση συγκεκριμένων γεωμετρικών συνθηκών. Γενικά, οι έλεγχοι των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (θεοδολίχων κάθε είδους, γεωδαιτικών σταθμών, χωροβατών) γίνονται ή ενδοεργαστηριακά (in house) ή στο πεδίο [9], [28], [35]. Για τους χωροβάτες μή αυτόματης οριζοντίωσης, κυρίως απαιτείται έλεγχος της αεροστάθμης οριζοντίωσης. Για δε τους χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης, πρέπει να γίνεται έλεγχος του ισοσταθμιστή τους (compensator), όπως αντίστοιχα και στην περίπτωση των θεοδολίχων.

**4.1. Σφάλματα σταδιών:** Διακρίνονται σε σταδίες κοινές (π.χ. ξύλινες ή μεταλλικές), σε σταδίες κράματος Invar και στις πλέον σύγχρονες, κωδικοποιημένες με γραμμωτό κώδικα (barcode) που συναντούνται στα ψηφιακά συστήματα χωροστάθμησης [9], [26], [27], [34], [37], [38]. Σφάλματα μπορούν να παρουσιαστούν από παραμορφώσεις του σχήματος και των διαστάσεων της σταδίας, λυγισμό, στρεβλώσεις κ.λπ. Το πρόβλημα σφάλματος στην βαθμονόμηση (εκ κατασκευής και/ή με τη γήρανση/χρήση) είναι κοινό για όλες, καλούμενο συνήθως *σφάλμα κλίμακας*. Οι σταδίες από κράμα Invar είναι ιδιαίτερα σημαντικές (χωροσταθμήσεις των κρατικών χωροσταθμικών δικτύων, μετρήσεις καθιζήσεων). Ο έλεγχος των σταδιών γίνεται με τη βοήθεια συμβολόμετρου Laser, στο εργαστήριο. Με συμβολόμετρο γίνεται και ο έλεγχος των κωδικοποιημένων σταδιών, είτε μόνων τους, είτε "ως σύστημα" (δηλ. μαζί με τον χρησιμοποιούμενο ψηφιακό χωροβάτη). Στην περίπτωση αυτή, εντοπίζεται ένα "σύνθετο" σφάλμα κλίμακος που οφείλεται, και στη σταδία αλλά και στο χωροβάτη. Στις κωδικοποιημένες σταδιών, εκτός από το σφάλμα κλίμακας γίνεται και έλεγχος για την περίπτωση επί μέρους καταστροφών ή αλλοιώσεων των γραμμών του γραμμωτού κώδικα.

## 5. Σφάλματα μετροταινιών

Η μετροταινία (πλαστική ή μεταλλική), ως το απλούστερο μέσο μέτρησης μικρών αποστάσεων, χρησιμοποιείται πλέον σε καθημερινές εργασίες που δεν απαιτούν ιδιαίτερη ακρίβεια. Οπότε, διορθώσεις μέσα από διακριβώσεις ίσως έχουν νόημα να αναζητηθούν μόνο στην περίπτωση των μεταλλικών μετροταινιών που χρησιμοποιούνται σε εργασίες με κάποιες αυξημένες απαιτήσεις ακριβείας. Ο έλεγχος συνήθως γίνεται με σύγκριση της μετροταινίας με μια άλλη, ελεγμένα “γνωστού μήκους”, υπό κανονική τάση και συνθήκες θερμοκρασίας [9], [35]. Παλαιότερα, πριν κυρίως την εμφάνιση των EDMI, ο ρόλος ειδικά της μεταλλικής μετροταινίας ήταν πολύ σημαντικότερος. Για αυτό, δίνονται εδώ (για ιστορικούς πλέον λόγους) τα σχετικά σφάλματα [28]:

[1]. *Λάθη μετροταινίας, οφειλόμενα αποκλειστικά στον παρατηρητή:* Όπως π.χ. λάθος στην ανάγνωση, λάθος καταγραφή της μέτρησης, λάθος στην εύρεση-τοποθέτηση της "αρχής" (του λεγόμενου μηδενός) της μετροταινίας, χρήση λανθασμένου ενδιάμεσου σημείου στην ευθυγραμμία κ.λπ.

[2]. *Τυχαία σφάλματα μετροταινίας:*
   a. Σφάλμα λόγω απόκλισης από την ευθυγραμμία.
   b. Σφάλμα λόγω απόκλισης από την οριζόντια θέση.

c. Σφάλμα εκτίμησης στην ανάγνωση τιμών οι οποίες είναι μικρότερες από τις ελάχιστες υποδιαιρέσεις της μετροταινίας.

[3]. *Συστηματικά σφάλματα μετροταινίας:*

a. Σφάλμα διαφοράς από το πρότυπο.
b. Σφάλμα λόγω θερμοκρασίας.
c. Σφάλμα λόγω κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
d. Σφάλμα λόγω ακατάλληλης τάσης ελκυσμού που εφαρμόζεται στα άκρα της ταινίας κατά τη μέτρηση.
e. Σφάλμα λόγω βέλους κάμψης (λόγω ιδίου βάρους).

## 6. Σφάλματα των EDMI και των ανακλαστήρων τους.

Το πλήθος των εσωτερικών σφαλμάτων σε EDMI μικρής και μέσης εμβέλειας (υπέρυθρων ακτίνων) εκτιμάται σε δεκαπέντε (15). Εδώ αναφέρονται εκείνα που πρέπει (και είναι δυνατό) να διορθωθούν [5], [7], [8], [31], [32], [33], [35]. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

**Α. Εσωτερικά σφάλματα** *(αυτά που έχουν να κάνουν με το όργανο)*, των οποίων η συνισταμένη συμβολίζεται με (**a**) και καθορίζει την εσωτερική ακρίβεια. Τα σφάλματα αυτά είναι:

1. *Σφάλμα κλίμακας:* Περιγράφει ουσιαστικά τη συνισταμένη των σφαλμάτων που είναι γραμμικά ανάλογα με το μετρούμενο μήκος. Αυτά τα σφάλματα μπορούν να προέρχονται από:
   a. Μεταβολές στη συχνότητα διαμόρφωσης του οργάνου (λόγω επίδρασης της θερμοκρασίας και/ή λόγω ηλικίας του οργάνου).
   b. Ανομοιογένειες φάσης.
   c. Μή μοντελοποιημένες μεταβολές των ατμοσφαιρικών συνθηκών, οι οποίες επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων του οργάνου.
   d. Σφάλματα στη συλλογή και/ή χρήση των μετεωρολογικών δεδομένων (π.χ. χρήση μή διακριβωμένων θερμομέτρων και βαρομέτρων, λήψη μετεωρολογικών μετρήσεων όχι υπό σκιά, λανθασμένη είσοδος μετεωρολογικής διόρθωσης στο όργανο).
2. *Μηδενικό σφάλμα ή προσθετική σταθερά ή σφάλμα δείκτη:* Είναι ένα συστηματικό σφάλμα παρόν σε όλες τις μετρήσεις αποστάσεων που έγιναν με συγκεκριμένο συνδυασμό EDMI-ανακλαστήρα. Επηρεάζεται από αλλαγές του ανακλαστήρα, έντονες κινήσεις (τραντάγματα κ.λπ.) του οργάνου ή του ανακλαστήρα, τη χρήση διαφορετικών εδράσεων του οργάνου και φυσικά από εργασίες συντήρησης του οργάνου. Εξαρτάται από τρεις παράγοντες:
   a. Ηλεκτρικές υστερήσεις, γεωμετρικές αποκλίσεις, εκκεντρότητες στην τοποθέτηση του οργάνου.
   b. Διαφορά μεταξύ, μηχανικού και "ηλεκτρικού" κέντρου του οργάνου.
   c. Διαφορά μεταξύ, μηχανικού και "οπτικού" κέντρου του ανακλαστήρα.
3. *Κυκλικό σφάλμα ή σφάλμα μικρής περιόδου:* Η διαχεόμενη ακτινοβολία και οι παρεμβολές σήματος εντός του EDMI, μπορούν να προκαλέσουν μια καμπύλη αποκλίσεων (συνήθως ημιτονοειδούς μορφής, με μήκος κύματος το ήμισυ του διαμορφωμένου μήκος κύματος του οργάνου) στη μετρούμενη φάση, με αποτέλεσμα τη συστηματική μεταβολή των μετρήσεων της απόστασης. Το εν λόγω σφάλμα εξαρτάται και από τη μεταβολή (μετά του χρόνου) της σταθερότητας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του οργάνου. Είναι αντιστρόφως

ανάλογο με την ισχύ του επιστρέφοντος σήματος, η δε επίδρασή του αυξάνει με την αύξηση του μεγέθους της απόστασης.

**Β. Εξωτερικά σφάλματα** *(αυτά που έχουν να κάνουν κυρίως με το περιβάλλον των μετρήσεων δηλ. τη γήινη ατμόσφαιρα)*, των οποίων η συνισταμένη συμβολίζεται με (**b.S**) (όπου S η απόσταση) και καθορίζει την εξωτερική ακρίβεια [6], [7], [28]. Τα σφάλματα αυτά είναι:

1. *Το σφάλμα μοντέλου του δείκτη διάθλασης.*
2. *Σφάλματα στη μέτρηση των μετεωρολογικών στοιχείων.*

Η ακρίβεια μέτρησης $m_s$ (σφάλμα) μιας απόστασης S δίνεται τελικά από τη σχέση:

$$m_s = \pm (a + b.S) \qquad (1)$$

Τα σφάλματα των EDMI (είτε τα EDMI δρουν αυτόνομα, είτε δρουν μέσα από γεωδαιτικούς σταθμούς), ελέγχονται κατά κανόνα σε ειδικές βάσεις ελέγχου (baselines) [11], [18], [31], [32], [33], οι οποίες είτε βρίσκονται σε χώρους εργαστηρίων, είτε στο πεδίο. Είναι χωρισμένες σε συγκεκριμένα τμήματα, των οποίων το μήκος εξαρτάται από το ½ του μήκους κύματος λ των EDMI που θα ελεγχθούν σε αυτήν. Το συνολικό μήκος και τα επί μέρους μήκη των τμημάτων της βάσης μπορεί να είναι "γνωστά" (μετρημένα με όργανο πολύ υψηλής ακριβείας) ή άγνωστα, ανάλογα δε επιλέγεται και η μέθοδος μέτρησεων και υπολογισμών των σφαλμάτων [8], [28]. Τα EDMI πρέπει να διακριβώνονται τουλάχιστον μια φορά το έτος (ή ακόμη αμέσως πριν και αμέσως μετά τη χρήση τους, ανάλογα με τη σπουδαιότητα του έργου).

### 6.1 Σφάλματα ανακλαστήρων

Τα παλαιότερα μοντέλα ανακλαστήρων μπορούν να εισάγουν μικρά σφάλματα (και στις αποστάσεις αλλά και στις γωνίες) λόγω προβληματικής σκόπευσής τους. Το μέγεθος των σφαλμάτων εξαρτάται από το μήκος κύματος του EDMI, τις διαστάσεις του ανακλαστήρα, το δείκτη διάθλασης του υλικού (γυαλιού ή πλαστικού) του ανακλαστήρα (που βέβαια διαφέρει από το δείκτη διάθλασης της ατμόσφαιρας), την κλίση του (από την κατακόρυφο, μπρος-πίσω ή αριστερά-δεξιά) κατά τη μέτρηση. Το σφάλμα που προκαλούν οι οριζόντιες γωνιακές αποκλίσεις (αριστερά-δεξιά) από το σημείο σκόπευσης είναι ισχυρά εξαρτημένο από την απόσταση. Έτσι, οι μικρότερες αποστάσεις προκαλούν μεγαλύτερα σφάλματα από ό,τι οι μεγαλύτερες. Στους σύγχρονους ανακλαστήρες, ο μελετημένος επανασχεδιασμός φέρνει ελαχιστοποίηση των περισσότερων σφαλμάτων. Απαιτείται πάντως προσοχή στην κατά το δυνατό ακριβέστερη σκόπευσή τους.
*Σημείωση 3:* Η σύγχρονη τεχνολογία δίνει σήμερα στον επαγγελματία τους γεωδαιτικούς σταθμούς (Total Stations). Σε έλεγχο ενός τέτοιου οργάνου, συνηθέστερα ελέγχεται χωριστά το EDMI και χωριστά ο θεοδόλιχος. Μελετούνται ήδη η περίπτωση να θεωρηθούν ως ένα ενιαίο όργανο [καθώς και εντοπισθείσες συσχετίσεις μεταξύ γωνιακών μετρήσεων και απόστασης [25].

## 7. Σφάλματα GPS

Το δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS) αποτελείται από ένα σύστημα δορυφόρων, υπολογιστών και δεκτών, παρέχει δε τη δυνατότητα προσδιορισμού θέσης για σκοπούς γεωδαιτικούς, ναυσιπλοΐας και κίνησης οχημάτων. Τα σφάλματα του GPS διακρίνονται σε σχετικά με [28], [29], [30]:

I. Τους δορυφόρους (χρονόμετρο, τροχιά, επιλεκτική διαθεσιμότητα).
II. Το δέκτη (χρονόμετρο, φέρουσα φάση, φάση κώδικα, πολυανάκλαση σημάτων, θερμικός θόρυβος, λογισμικό, καθυστερήσεις μεταξύ των διαφόρων καναλιών).
III. Την ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα, ιονόσφαιρα).

Η κατηγοροποίηση ως συνδυασμός λαθών, συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων είναι:

1. **Λάθη**
   a. Στο υπολογιστικό μέρος.
   b. Στην επιλογή του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς.
   c. Σε προβλήματα του δέκτη (εξαρτήματα-hardware και/ή λογισμικό).
2. **Συστηματικά σφάλματα**
   a. Επιλεγμένη διαθεσιμότητα (ανύπαρκτη από 1-5-2000).
   b. Σφάλματα χρονομέτρου.
   c. Σφάλματα δεδομένων εφημερίδας δορυφόρου.
   d. Τροποσφαιρικές υστερήσεις.
   e. Ιονοσφαιρικές υστερήσεις.
   f. Πολυανακλάσεις σημάτων.
3. **Τυχαία σφάλματα:** Η συνδυασμένη επίδραση, του ψευδο-τυχαίου θορύβου (PRN) και του θορύβου του δέκτη.

Κρίσιμος παράγοντας για την ακρίβεια του GPS είναι και η *Γεωμετρική Εξασθένιση της Ποιότητας (Geometric Dilution of Precision - GDOP)*, που έχει να κάνει με το γεωμετρικό σχηματισμό των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων. Ο παράγοντας GDOP αποτελείται από τις εξής, εξαρτημένες μεταξύ τους (καθώς συντίθενται από συμμεταβλητότητες) συνιστώσες: *PDOP, HDOP, VDOP, TDOP* (σχετίζονται αντίστοιχα με, την τρισδιάστατη θέση, την οριζόντια και κατακόρυφη ποιότητα και το χρόνο).

Στα πλαίσια του ποιοτικού ελέγχου των δεκτών GPS, διακρίνονται τρεις άξονες:

1. **Διακρίβωση.** Στα πλαίσια της διακρίβωσης, ελέγχονται:
   a. *Πληρότητα χρήσης (integrity monitoring) των λαμβανομένων από το δορυφορικό σχηματισμό σημάτων:* Συνηθέστερα ο έλεγχος αυτός γίνεται με τη χρήση ενός επίγειου γεωδαιτικού δικτύου, στις κορυφές του οποίου (που έχουν γνωστές συντεταγμένες) υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένοι δέκτες GPS. Οι δέκτες αυτοί λαμβάνουν σήματα από όλους τους ορατούς δορυφόρους και προειδοποιούν σε περίπτωση μείωσης της απόδοσης του συστήματος.
   b. *Έλεγχος μηδενικού μήκους βάσης ελέγχου (zero length baseline testing):* Δύο διαφορετικοί δέκτες συνδέονται στην ίδια αντένα. Λόγω αυτής της συνθήκης, σφάλματα λόγω δορυφόρων, ατμόσφαιρας και πολλαπλών ανακλάσεων σημάτων εξαλείφονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων. Πρόκειται για πολύ καλό έλεγχο της λειτουργίας των κυκλωμάτων των δεκτών, παράλληλα δε ελέγχονται και διάφορες αντένες.
   c. *Εργαστηριακός έλεγχος:* Αφορά αποκλειστικά τους κατασκευαστές δεκτών GPS. Ελέγχονται κάρτες μνήμης, ταλαντωτές, μπαταρίες κ.λπ. Εδώ επίσης συναντώνται ειδικές διαδικασίες και μέθοδοι που προτείνονται από επιστημονικά ινστιτούτα, πανεπιστημιακά εργαστήρια κ.λπ.
2. **Πιστοποίηση:** Πρόκειται για ειδικές υπηρεσίες πιστοποίησης, για όλους τους προβλεπόμενους ελέγχους και τα αντίστοιχα πιστοποιητικά. Οι προδιαγραφές, οι οδηγίες, οι διαδικασίες, ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση του επίγειου δικτύου, η

επιλογή των βάσεων ελέγχου (baselines) κ.λπ. αποτελούν σημαντικότατα πεδία προβληματισμού και σχεδιασμού (σε επίπεδο εθνικό αλλά και διεθνές).

3. **Ερευνητικός έλεγχος (Investigative testing):** Ο εξοπλισμός GPS ελέγχεται σε πραγματικές συνθήκες πεδίου. Μετρώνται αποστάσεις (σε επιλεγμένες βάσεις) και/ή ένα γεωδαιτικό δίκτυο (τριών διαστάσεων) τουλάχιστον τεσσάρων κορυφών (γνωστών συντεταγμένων). Έτσι, γίνεται σύγκριση ακριβειών, αυτών που ισχυρίζεται ο κατασκευαστής και αυτών που επιτυγχάνονται στην πράξη. Κατά κανόνα πρόκειται για μέθοδο που εφαρμόζεται από ακαδημαϊκά ινστιτούτα και εργαστήρια, ειδικές υπηρεσίες και οργανισμούς.

## 8. Άλλα γεωδαιτικά όργανα

Εκτός από τα παραπάνω βασικά γεωδαιτικά όργανα, υπάρχουν πολλά βοηθητικά όπως μετρητικοί ράβδοι (απλώς μεταλλικές ή από Invar), συσκευές ηλεκτρονικής μέτρησης επιπεδότητας, συστήματα αεροσταθμών ακριβείας που μετρούν κλίσεις, οπτικοί κατακορυφωτές, κλισίμετρα κ.λπ. τα οποία κατά κανόνα ελέγχονται με τη βοήθεια του συμβολόμετρου Laser. Στην ομάδα των βοηθητικών οργάνων ανήκουν και βασικά μετεωρολογικά όργανα που χρησιμοποιούνται στο πεδίο μαζί με τα γεωδαιτικά όργανα, όπως βαρόμετρα (ελέγχονται με σύγκριση με βαρόμετρο στήλης υδραργύρου), θερμόμετρα (ελέγχονται σε ειδικό θερμοθάλαμο). Σημαντικά τέλος βοηθητικά όργανα είναι οι αεροστάθμες διαφόρων γεωδαιτικών οργάνων οι οποίες ελέγχονται με ειδικό όργανο ή και πάλι με το συμβολόμετρο Laser [9], [35].

## 9. Η Μετρολογία σήμερα σε σχέση με τη Γεωδαισία.

**Διεθνώς:** Από το 1947, τα περισσότερα πρότυπα προκύπτουν από τον **ISO** (**I**nternational **O**rganization for **S**tandardization). Αναφορικά με τα γεωδαιτικά όργανα, υπάρχει η ISO Τεχνική επιτροπή TC172/SC6, υπεύθυνη παραγωγής των νεώτερων προτύπων ISO 17123. Πολλές από τς "βασικές αρχές" που διέπουν τον χώρο της Γεωδαισίας δεν έχουν γίνει παντού αποδεκτές ως πρότυπα. Γενικά, σε ό,τι αφορά τα περισσότερα είδη γεωδαιτικών οργάνων πεδίου, συνήθως τα πρότυπα που επικρατούν είναι τα αντίστοιχα τοπικά-εθνικά. Τα πρότυπα ISO 17123 (μέρος 1 έως 4) που έχουν ως πηγή τα γερμανικά πρότυπα DIN 18723 (μέρος 1 έως 8) αποτελούν επί του παρόντος το συνισταμένο αποτέλεσμα σχετικά με τα γεωδαιτικά πρότυπα. Περιγράφουν όλες τις διαδικασίες που στοχεύουν στην πιστοποίηση της ποιότητας μέτρησης και/ή στον έλεγχο καλής λειτουργίας γεωδαιτικών οργάνων. Η διαδικασία δημιουργίας προτύπων είναι μακροχρόνια (τα περισσότερα ISO πρότυπα απαιτούν τουλάχιστον 3 έτη για να οριστικοποιηθούν). Οι εξελίξεις στην επιστήμη και την τεχνολογία βεβαίως αναμένεται να συντομεύσουν αυτό το χρονικό διάστημα, αλλιώς τα πρότυπα θα δυσχεράνουν την εξέλιξη. Σε ό,τι αφορά το διεθνή γεωδαιτικό (και όχι μόνο) χώρο, προβλήματα επίσης προκαλούν και διάφοροι νόμοι που δεν συμβαδίζουν με τις εξελίξεις. Έτσι π.χ. κτηματολογικοί νόμοι κάποιων χωρών προδιαγράφουν μεθοδολογίες που πρέπει μεν να ακολουθηθούν, αλλά απαγορεύουν τη χρήση πιο σύγχρονων μεθόδων όπως είναι το GPS.
Σε κάθε περίπτωση, οι βασικοί συντελεστές της διαδικασίας εξέλιξης προτύπων συναντώνται κυρίως στον ακαδημαϊκό χώρο και σε άλλους ειδικούς φορείς του δημοσίου. Οι άνθρωποι που ανήκουν σε τέτοιους χώρους, «κινούνται άνετα» αφού τους διατίθεται ο απαραίτητος χρόνος και χρήμα ώστε να ασχοληθούν με το θέμα, να ταξιδέψουν, να πάνε σε σχετικές συναντήσεις, συνέδρια κ.λπ. Αντίθετα, οι άνθρωποι της πράξης (του

ιδιωτικού τομέα, οι κατασκευαστές-παραγωγοί), παρόλο που αντικειμενικά είναι οι περισσότεροι, κατά κανόνα συμμετέχουν σε πολύ μικρότερους αριθμούς στις ζυμώσεις περί Μετρολογίας, προτύπων κ.λπ. Δεν είναι λοιπόν τυχαίο που πολλές φορές έχουν περιορισμένη και ανεπίκαιρη αντίληψη και γνώση των τεκταινόμενων στους τομείς της Μετρολογίας, των προτύπων και της τυποποίησης. Αποτέλεσμα είναι η σπατάλη χρημάτων, χρόνου και μέσων, καθώς πολλές προσπάθειες καταλήγουν να "ανακαλύπτουν ξανά τον τροχό". Επί πλέον, η εξέλιξη της τεχνολογίας επέφερε (και επιφέρει) μεγάλες αλλαγές στην κατασκευαστική διαδικασία και φιλοσοφία των γεωδαιτικών οργάνων. Τα νέα πρότυπα ISO 9001:2000 λαμβάνουν υπόψη τους τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις νέες απαιτήσεις περί ποιότητας και τέλος την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των νεώτερων μετρητικών συστημάτων. Ο σημερινός κατασκευαστής διακριβώνει το όργανο που παράγει και "αποθηκεύει" σχετικές με τη διακρίβωση παραμέτρους μέσα στο προϊόν, προκειμένου να γίνονται αυτόματα οι διορθώσεις κατά τις μετρήσεις. Έτσι, ο χρήστης του οργάνου δεν γνωρίζει τίποτε σχετικά με τις όποιες "διορθωμένες" ατέλειες του οργάνου (περίπτωση "black box"), μάλιστα είναι πολύ πιθανό να μή θέλει να γνωρίζει σχετικά. Τέλος, η γενική εικόνα δείχνει πως τα υπάρχοντα πρότυπα ISO 17123 εστιάζονται σε ελέγχους γεωδαιτικών οργάνων μόνον στο πεδίο και δεν άπτονται τυποποιημένων μετρολογικών διαδικασιών που θα έπρεπε να σχετίζονται με ενδοεργαστηριακές διακριβώσεις τέτοιων οργάνων [23]. Οι παραπάνω λόγοι (προβλήματα) ήταν αρκετοί για να ενισχύσουν την προσπάθεια της Διεθνούς Ομοσπονδίας Τοπογράφων (**F**édération **I**nternationale des **G**éométrés - **FIG**) να δραστηριοποιηθεί εντονότερα στο θέμα των προτύπων και της τυποποίησης, σε συνεργασία με τον ISO [17], [19], [20]. Το αποτέλεσμα είναι η ομάδα εργασίας 5.1 (FIG Working Group 5.1), η οποία υπάγεται στην Επιτροπή 5 (Commision 5 - Με τομέα ενδιαφέροντος τον προσδιορισμό θέσης και τις μετρήσεις) και η οποία είναι προσανατολισμένη στις εξής δραστηριότητες-κλειδιά:

a. Πρότυπα σχετικά με προσδιορισμούς θέσεις, όργανα και μέθοδοι γεωδαιτικών μετρήσεων (απαιτούνται πλέον "γεωδαιτικά πρότυπα" για μεγέθη όπως το μήκος, το αζιμούθιο, η βαρύτητα κ.λπ.).
b. Έλεγχοι αποδοχής, εξασφάλιση ποιότητας, πιστοποίηση και η επίδραση τους στο επάγγελμα του γεωδαίτη-αγρονόμου/τοπογράφου μηχανικού.
c. Έλεγχος και διακρίβωση των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται.
d. Υποστήριξη άλλων ομάδων εργασίας της FIG για την κατάλληλη εφαρμογή των προτύπων ISO TC211 [21] (παρουσίαση και προώθηση προτύπων και οδηγιών στους επαγγελματίες, συστάσεις και ειδικές οδηγίες για ειδικά όργανα, εγχειρίδια και συστάσεις σχετικά με την αβεβαιότητα των μετρήσεων κατά ISO, αναθεώρηση προτύπων του ISO TC211 σχετικά με τους προσδιορισμούς θέσης και τις σχετικές με αυτούς μετρήσεις).

*Σημείωση 4:* Για τις γεωγραφικές πληροφορίες (προμηθευτές και χρήστες τους), υπάρχουν πάνω από 40 πρότυπα της σειράς ISO 191xx προϊόντα της ISO Τεχνικής επιτροπής TC 211, ήδη μάλιστα 20 από αυτά έχουν δημοσιευτεί [17].

**Ευρώπη:** Πέρα από τα εθνικά μετρολογικά ινστιτούτα αλλά και τα διάφορα εργαστήρια του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα (π.χ. εταιρείες, πανεπιστήμια κ.λπ.) [4], [15], [16] που υπάρχουν στα περισσότερα κράτη-μέλη, από 1-1-1988 υπάρχει επίσημα ένας “οργανισμός-ομπρέλα”, ο **EUROMET (European Collaboration in Measurement Standards)**, που βασίζεται στη συνεργασία όλων των εθνικών μετρολογικών ινστιτούτων και ο οποίος απαριθμεί σήμερα 34 μέλη.

Σε ό,τι αφορά ειδικότερα τον Ευρωπαϊκό-γεωδαιτικό χώρο, σχετικά με τα γεωδαιτικά όργανα υπάρχει μια "παράδοση" που τυπικά τα θέτει εκτός αλυσίδας ιχνηλασιμότητας, παρόλο που διάφορα θεμελιώδη τέτοια όργανα μετρούν μήκη, γωνίες ή και τα δύο. Το πιθανότερο είναι ότι η παράδοση αυτή απορρέει από το γεγονός ότι τέτοια όργανα έχουν

χειρότερες αναλύσεις και ακρίβειες (αν και ικανοποιητικές για τις ανάγκες που χρησιμοποιούνται) σε σύγκριση με άλλα όργανα που βρίσκονται σε κλειστά εργαστήρια. Η ποιότητα όμως των γεωδαιτικών μετρήσεων συνεχώς αυξάνεται (μέσα από τις σύγχρονες εξελίξεις, στην τεχνολογία οργάνων και στις μεθόδους-τεχνικές μετρήσεων), οπότε οι αντιπροσωπείες γεωδαιτικών οργάνων υποχρεούνται να επιδεικνύουν στους πελάτες τους την αλυσίδα ιχνηλασιμότητας που συνδέει τα όργανα που πωλούν (ή επισκευάζουν) με τα πρότυπα της κατασκευάστριας εταιρείας (ακόμη δε περισσότερο, με τα πρότυπα των εθνικών ινστιτούτων στα αντίστοιχα κράτη όπου εδρεύουν οι εταιρείες κατασκευής τέτοιων οργάνων). Η όλη κατάσταση δεν είναι ξεκάθαρη, κυρίως λόγω της μεγάλης εμβέλειας που έχουν τέτοια όργανα (π.χ. τα EDMI), γεγονός που δυσκολεύει την εύρεση προτύπων αλλά και διαδικασιών διακρίβωσης εφαρμόσιμων μέσα σε εργαστήρια διακρίβωσης. Σε κάθε δε περίπτωση, είναι επίσης δύσκολο να βρεθούν σε όλη την Ευρωπαϊκή επικράτεια διαπιστευμένα εργαστήρια κατάλληλα για τέτοιου είδους όργανα. Έτσι προέκυψε [15] το *Euromet Project #588: Ιχνηλασιμότητα τοπογραφικών και γεωδαιτικών οργάνων*. Στόχος είναι η συλλογή των καλύτερων δυνατών ενημερωμένων πληροφοριών για τα γεωδαιτικά όργανα, με βάση τους ακόλουθους άξονες ερωτήσεων:

I. Πώς συνδέονται τα όργανα αυτά με τα εθνικά πρότυπα κάθε χώρας.
II. Υπάρχουν και πού διαπιστευμένα εργαστήρια για τέτοια όργανα.
III. Τί είδους πρότυπα και διαδικασίες διακρίβωσης χρησιμοποιούνται στα εθνικά εργαστήρια κάθε χώρας (ή σε ισοδύναμα άλλα ινστιτούτα).
IV. Όταν τα εθνικά εργαστήρια δεν έχουν καμμιά δραστηριότητα στον τομέα των γεωδαιτικών οργάνων, ποιές είναι οι διαδικασίες διακρίβωσης και διαπίστευσης.
V. Ποιές άλλες πληροφορίες θα βοηθούσαν στην πληρέστερη γνώση σχετικά με τη γενικότερη μετρολογική κατάσταση στην Ευρώπη.

Η διακρίβωση γεωδαιτικών οργάνων (όπου είναι εφικτή) στην Ευρώπη, γίνεται από διαπιστευμένα εργαστήρια που αποκτούν τον τίτλο αυτό από διεθνώς αναγνωρισμένους ανεξάρτητους οργανισμούς-φορείς (π.χ. στην Ευρώπη: UKAS-Αγγλία, DAR-Γερμανία, SINAL-Ιταλία, COFRAC-Γαλλία, SAS-Ελβετία κ.λπ.). Ένα τέτοιο εργαστήριο πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές *ISO/IEC 17025 (Περί: Δημιουργίας, οργάνωσης και διαπίστευσης εργαστηρίων μετρήσεων, δοκιμών και διακριβώσεων)* [22]. Αυτές οι απαιτήσεις είναι ικανές να εξασφαλίζουν (επιβεβαιώνουν) την ιχνηλασιμότητα της διακρίβωσης. Έτσι, το διαπιστευμένο εργαστήριο θα έχει τις τεχνικές (και διοικητικές) ικανότητες να διεξάγει (με συγκεκριμένο εξοπλισμό, μέσα σε συγκεκριμένα και δηλωμένα όρια ακριβείας) συγκεκριμένες δοκιμές, μετρήσεις και διακριβώσεις σύμφωνα με συγκεκριμένες πρότυπες ή ενδοεργαστηριακές μεθόδους. Σε κάθε περίπτωση, "λογικά" θα πρέπει, και τα διαπιστευμένα εργαστήρια αλλά και οι παρεχόμενες από αυτά υπηρεσίες να είναι κατά το δυνατό " ίδια". Όμως, η έλλειψη κοινά αποδεκτών κανονισμών δημιουργεί διαφορές (ως και ανωμαλίες) σε ό,τι αφορά, είτε την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, είτε στο τελικό κόστος (άμεσο και/ή έμμεσο) της διακρίβωσης [1]. Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον σε αυτές τις δύο παραμέτρους, διακρίνονται έξι (6) άξονες που παίζουν ρόλο:

[1]. Έκταση-μέγεθος των ελέγχων (π.χ. πόσοι παράμετροι χρησιμοποιούνται, πόσα δεδομένα λαμβάνονται ανά παράμετρο).
[2]. Παρεχόμενες πληροφορίες (π.χ. πόσα και ποιά δεδομένα παρέχονται, πόσα και ποιά από αυτά είναι προ των διορθώσεων/ρυθμίσεων, πόσα και ποιά από αυτά είναι είναι μετά τις διορθώσεις/ρυθμίσεις).
[3]. Αβεβαιότητα μετρήσεων ( βασικό κριτήριο της ποιότητας των ελέγχων).
[4]. Περιοδικότητα διακριβώσεων (π.χ. ποιά η περιοδικότητα, αν η περιοδικότητα θα είναι σταθερή ή όχι).
[5]. Ταχύτητα διεκπεραίωσης ελέγχων/διακρίβωσης.

[6]. Σύνολα εργασιών (π.χ. τί πληρώνει κάποιος και για ποιές υπηρεσίες, αν οι τιμές συμπεριλαμβάνουν: ΦΠΑ, το κόστος αποστολής κ.λπ.).

Υπάρχει πλέον μια δέσμη ισχυρών πιέσεων για τυποποίηση σε σχέση με το επάγγελμα του αγρονόμου-τοπογράφου μηχανικού, ειδικά στον τομέα του γεωπληροφοριακών συστημάτων (GIS) και γενικότερα της Γεωματικής (Η επιστήμη της συλλογής, αποθήκευσης, επεξεργασίας και διάδοσης γεωγραφικών πληροφοριών, άλλο ένα ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα της Γεωδαισίας). Επιδιώκεται π.χ. αύξηση της ατομικής παραγωγικότητας. Επίσης, πίεση π.χ. ασκούν και οι διάφορες απαιτήσεις (τυποποίησης-μετρολογίας) συνηθέστερα των λεγόμενων "μεγάλων" πελατών (του ιδιωτικού ή του δημόσιου τομέα). Η συνολική πίεση είναι συνεχώς αυξανόμενη στον Ευρωπαϊκό χώρο, μάλιστα θεωρείται μείζον θέμα οικονομικής επιβίωσης του επαγγέλματος.

**Ελλάδα:** Η Μετρολογία επίσημα ξεκίνησε μόλις μετά την ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς το 1993. Το **Εθνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας** (**Ε.Ι.Μ.**) είναι η ανώτατη αρχή στον τομέα της Μετρολογίας στην Ελλάδα [12]. Το Ε.Ι.Μ. (ιδρυτικός νόμος Ν.2231/94 - Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου εποπτευόμενο από τη Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας του Υπουργείου Ανάπτυξης) 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** (**Ε.Σ.Υ.Δ.** Α.Ε. ιδιωτικού δικαίου, ιδρυτικός νόμος Ν. 3066/2002) σε ό,τι αφορά τις μεθόδους διακρίβωσης και τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων [14]. Αναφορικά δε με την τυποποίηση, υπάρχει ο **ΕΛ.Ο.Τ**. (**Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης**), στον οποίο οι Ν. 372/76, Ν. 1682/1997 και το Π.Δ. 155/97 αναθέτουν την ανάπτυξη δραστηριοτήτων Πιστοποίησης [13]. Με βάση το ΦΕΚ 708/Β/13-07-98, ο ΕΛ.Ο.Τ. εφαρμόζει Διαδικασίες και Συστήματα Πιστοποίησης (π.χ. του Διεθνούς Οργανισμού ISO).
Είναι γεγονός πως και στην Ελλάδα υπάρχουν κανονισμοί και προδιαγραφές σχετικά με τη μεθοδολογία και την απαιτούμενη ακρίβεια εκτέλεσης των διαφόρων γεωδαιτικών, τοπογραφικών και κτηματολογικών εργασιών. Αλλά αυτές δεν συναρτώνται δυστυχώς (όπως θα έπρεπε) με θεσμικές απαιτήσεις ελέγχου και ρύθμισης των χρησιμοποιουμένων οργάνων. Πέρα δε από αραιές προσπάθειες μικρής εμβέλειας και εφαρμογής (σε πανεπιστημιακούς χώρους ή σε κάποια εργαστήρια αντιπροσωπειών σχετικών οργάνων), δεν υπάρχουν συστηματικά εργαστήρια διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων. Το ευτύχημα είναι πως από το 2001 [39], με την ΔΙΠΑΔ/οικ/611/24-7-01 απόφαση ΥΦ. ΠΕΧΩΔΕ (ΦΕΚ 1013 Β/2-8-01), η ελληνική νομοθεσία έβαλε τα πρώτα θεμέλια (έστω και μέσα από το πρίσμα της εξασφάλισης της ποιότητας των τεχνικών έργων) σχετικά με "κοινά αποδεκτές διαδικασίες", γεγονός που συναρτάται ευθέως και με τη δημιουργία μιας θεσμοθετημένης μετρητικής και υπολογιστικής μεθόδου ελέγχου. Υπάρχει μάλιστα βάσιμη ελπίδα άμεσης συνάρτησης με τα εθνικά ή διεθνή πρότυπα.

## 10. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η Γεωδαισία, είναι μια γεωεπιστήμη (η παλαιότερη) η οποία βρίθει από μετρήσεις και οργάνα, αλλά και από ένα πολύπλοκο σύστημα απαιτήσεων και προδιαγραφών ακριβείας (σε επίπεδο επιστημονικό ή επαγγελματικό, τοπικό-εθνικό-διεθνές). Είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επιστήμη της Μετρολογίας αφού υπάρχουν πολλές και ποικίλες απαιτήσεις ελέγχων και διακρίβωσης των γεωδαιτικών οργάνων. Η συνημμένη βιβλιογραφία (για θέματα Μετρολογίας ανεξάρτητα, αλλά και σε σχέση με τη Γεωδαισία) πιστεύεται πως θα βοηθήσει ερευνητές και επαγγελματίες.

Η διεθνής κατάσταση δείχνει μια συνειδητοποιημένη, εκτεταμένη και συγκροτημένη πλέον εντατικοποίηση (σε διεθνές 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 και βέβαια, τον ευαγγελισμό και την ενημέρωση σχετικά με τα θέματα αυτά. Άλλωστε, διαφαίνεται σοβαρή επαγγελματική (οικονομική κρίση) λόγω προβλημάτων τυποποίησης και διακριβώσεων. Αρκεί για παράδειγμα η υπενθύμιση ότι σε άλλες χώρες (π.χ. Καναδά, Αυστραλία) για την ανάληψη μελετών απαιτείται εκ των προτέρων ειδικό πιστοποιητικό για την άριστη κατάσταση των γεωδαιτικών οργάνων (και από λειτουργική άποψη αλλά και από άποψη ακριβείας, ώστε να είναι συμβατά με τις τιθέμενες προδιαγραφές της μελέτης).
Στην Ελλάδα, πρόσφατα δημιουργήθηκε μια ελπιδοφόρα δυναμική προς αυτή την κατεύθυνση, όπου ο στόχος ανεβαίνει πλέον σε εθνικό επίπεδο και όχι (ως συνήθως) αποσπασματικά σε επί μέρους εργαστήρια (του δημόσιου ή του ιδιωτικού τομέα). Από την άλλη μεριά, και οι χρήστες τέτοιων οργάνων οφείλουν να συνειδητοποιήσουν την αναγκαιότητα ελέγχου της ακριβείας και συντήρησης. Πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσουν τις εργασίες που εξαρτώνται από την ακρίβεια ρύθμισης των οργάνων τους, αλλά και να ελέγχουν τα όργανα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Άλλωστε, αρκετές βασικές τέτοιες εργασίες ελέγχων-ρυθμίσεων μπορούν να γίνουν από τους ίδιους. Η επίτευξη του τελικού "μεγάλου" στόχου θα επέλθει μέσα από συντονισμένες (και συνεχιζόμενες) προσπάθειες όλων των εμπλεκόμενων (πολιτεία, επαγγελματικοί σύλλογοι, ΤΕΕ, φορείς εκπαίδευσης, ιδιώτες, εταιρείες κ.λπ.). Πρόκειται για μια σοβαρότατη εθνική υπόθεση η οποία είναι μονόδρομος, έχει δε να προσφέρει μόνον αναμφισβήτητα οφέλη, όπως έχει αποδείξει επανειλημένα η διεθνής πρακτική.

**Βιβλιογραφία**


[1]. Aust, M.: The Six Axes of Calibration, Agilent Technologies, http://metrologyforum.tm.agilent.com/6-axes.shtml, 2002.

[2]. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 1993.

[3]. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM): http://www.xs4all.nl/~mlbroens/vim.htm, 1993.

[4]. BNM: A Panorama over the European Union Metrology Infrastructure, Final Report (V18) to the European Community and the European Free Trade Association, Bureau National de Metrologie, 2002.

[5]. Department of Natural Resources and Environment: EDM Calibration Handbook, Edition 7, Land Victoria, Australia, 2002.

[6]. Δούκας, Ι.Δ.: Ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις, Γωνιομετρήσεις. Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβειά τους και η σημασία της εκ των προτέρων εκτίμησής τους, Επιστημονικό Διήμερο ΣΑΤΜΒΕ: Εφαρμογές Διαγραμμάτων και Τίτλων Ακινήτων, Θεσσαλονίκη, 1985.

[7]. Δούκας, Ι.Δ.: Συμβολή στη μελέτη της ακριβείας των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων αποστάσεων με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., 1989.

[8]. Δούκας, Ι.Δ., Καλαϊτζής, Ε.: EDM-Calibra: Αυτοματοποίηση υπολογισμών βαθμονόμησης ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης αποστάσεων, Συνέδριο: 2nd Hellenic University Consortium, Αθήνα, Πολεμικό Μουσείο, 17-19 Σεπτεμβρίου, 1990.

[9]. Δούκας, Ι.Δ., Μπαντέλας, Α.Γ. Πετρίδου-Χρυσοχοΐδου, Ν., Σαββαΐδης, Π.Δ., Υφαντής, Ι.Μ.: Η αναγκαιότητα ελέγχου και ρύθμισης γεωδαιτικών οργάνων, Συνέδριο: Ο Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός προς το 2000. Εξέλιξη, Προοπτικές – Δυνατότητες, 6-7-8 Δεκεμβρίου, Θεσσαλονίκη, 1990.

[10]. Δούκας, Ι.Δ.: Ιστορική Εξέλιξη της Επιστήμης της Μετρολογίας, Επιστημονικό Συνέδριο: Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στην Ελλάδα, Θεσσαλονίκη, 15 και 16 Απριλίου, 2005.
[11]. Dracup, J.F., Fronczek, C.J., Tomlinson, R.: Establishment of Calibration baselines, NOAA Technical Memorandum NOS NGS 8, 1982.
[12]. Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (Ε.Ι.Μ.): http://www.eim.org.gr/html/greek/home.html
[13]. Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ): http://www.elot.gr/home.htm
[14]. Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. (Ε.ΣΥ.Δ.): http://www.esyd.gr/
[15]. Euromet (2000): Traceability of surveying and geodetic instruments, Project #588, 2000.
[16]. Euromet: Metrology – In Short, 2nd Edition, http://www.euromet.org/docs/pubs/, 2004.
[17]. FIG: FIG Standards Network, http://www.fig.net/standards_network/index.htm, 2005.
[18]. Fronczek, C.J.: Use of Calibration Base Lines, NOAA Technical Memorandum NOS NGS 10, 1977.
[19]. Heister, H., Slaboch, V.: Report on Standards, Quality Assurance and Calibration, FIG WG 5.1. Activities in 1998-2002, FIG XXII International Congress, Washington D.C. USA, April19-26, 2002.
[20]. Higgins, M.B.: Commission 5 Activities in the Future: 2002-2006 Work Plan, FIG XXII International Congress, Washington D.C. USA, April19-26, 2002.
[21]. ISO TC 211: http://www.isotc211.org/
[22]. ISO/IEC/EN 17025 (formerly ISO Guide 25 & EN45001): General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories, http://www.fasor.com/iso25/
[23]. ISO TC 172/SC 6, Standards and drafts: Geodetic and surveying instruments, http://www.iso.org/iso/en/CatalogueListPage.CatalogueList?COMMID=4091&scopelist=
[24]. Lambrou, E.-Pantazis,G.: Laboratorial Tests of Digital Theodolites, FIG Symposium: Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofia, November 04-05, 2004.
[25]. Martin, D., Maillefaud, J., Gatta, G.: The ESRF Calibration Bench Activities, FIG Working Week 2003 Paris, France, April 13-17, 2003.
[26]. Maurer, W., Rossmeier, F.: Calibration of Invar Rods, Scale Behavior Influence of Precise Levellings, Proc. Symp. on Height Determination and Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, Hannover, 1986.
[27]. Maurer,W., Schnädelbach, K.: Laserinterferometry, Ten Years Experience in Calibrating Invar Levelling Staffs. Proc., First Int. Symp. Appl. Laser Techniques in Geodesy and Mine Surveying, Ljubljana, September, 1995.
[28]. Μπαντέλας, Α.Γ., Σαββαΐδης, Π.Δ., Υφαντής, Ι.Μ., Δούκας, Ι.Δ.: ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ, Τόμος Ι: Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης και υπολογισμών, Θεσ/νίκη, Εκδοτικός Οίκος Αφών Κυριακίδη, ISBN 9603433284, 1999.
[29]. Petridou-Chrysohoidou, N., Doukas, I.D., Ifadis, I.M., Savvaidis, P.D.: Investigative Testing of GPS Receivers, FIG Symposium: Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofia, November 04-05, 2004.
[30]. Rizos, C.: Principles and Practice of GPS Surveying, Version 1.1., Satellite Navigation & Positioning Laboratory (SNAP), University of New South Wales, Australia. http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm, 1999.
[31]. Rueger, J.M.: Quartz Crystal Oscillators and their Effects on the Scale Stability and Standardization of electronic Distance Meters, Unisurv Report S-22, p. 150, Univ. of New South Wales, 1982.
[32]. Rueger, J.M.: Measurement and Computation of Short Periodic Errors of EDM Instruments, Surveying and Mapping, Vol. 46, pp. 231-241, 1986.
[33]. Rueger, J.M.: Electronic Distance Measurement: An Introduction, 4th Edition, Springer-Verlag, ISBN 3540611592, 1996.
[34]. Rueger, J.M., Brunner, F.K.: On System Calibration and Type Testing of Digital Levels, Z.f. Vermessungswesen 125, pp. 120-130, 2000.

[35]. Savvaidis, P., Ifadis, I., Doukas, I., Lakakis, K., Petridou-Chrysohoidou, N.: Calibrating Geodetic Instruments. Standards for Calibration and Testing, Geoinformatics, October/November, 2004.
[36]. U.S. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Document Number: ANSI/NCSL Z540-2-1997.
[37]. Woschitz, H., Brunner, F.K., Heister, H.: Scale Determination of Digital Levelling Systems using a Vertical Comparator, Reprint, FIG XXII International Congress, Washington D.C. USA, April19-26, 11 pages, 2002.
[38]. Woschitz, H., Brunner, F.K.: System Calibration of Digital Levels-Experimental Results of Systematic Effects, INGEO2002, 2nd Conference of Engineering Survey, Bratislava, pp. 165-172, 2002.
[39]. ΥΦ.ΠΕΧΩΔΕ (ΦΕΚ 1013Β/02-08-01): Οδηγίες υποχρεωτικής εφαρμογής για το περιεχόμενο, τον έλεγχο και την έγκριση Προγράμματος Ποιότητας Έργου, http://www.tee.gr/online/afieromata/2001/2174/pg042.shtml, 2001.