

ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ευαγγελία Λάμπρου¹, Γεώργιος Πανταζής¹, Κων/νος Νικολίτσας¹
¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
e-mail: litsal@central.ntua.gr

Οι γεωδαιτικές εργασίες καλύπτουν ένα ευρύ πλαίσιο δραστηριοτήτων του Τοπογράφου Μηχανικού. Σε αυτές εντάσσονται αντικείμενα όπως τα γεωδαιτικά δίκτυα υποδομής, η σύνταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων μεσαίας και μεγάλης κλίμακας, η γεωμετρική τεκμηρίωση φυσικών και τεχνητών κατασκευών σε μεγάλες κλίμακες, η δημιουργία χαρτών γενικής χρήσης (διαγράμματα 1:50000, 1:100000), η παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DTM).

Είναι προφανές ότι τα παράγωγα των γεωδαιτικών εργασιών είναι πολυποίκιλα και διαφορετικής μορφής και ακρίβειας. Η δημιουργία των παραγώγων αυτών συνδέεται άμεσα τόσο με τις δυνατότητες και την ακρίβεια του χρησιμοποιούμενου γεωδαιτικού εξοπλισμού όσο και με την επεξεργασία των μετρήσεων και την παρουσίαση του τελικού αποτελέσματος.

Στην εργασία αυτή αναλύονται οι ενέργειες που είναι απαραίτητες για τη δημιουργία ενός γεωδαιτικού παραγώγου και γίνεται μια αναφορά στις κυριότερες κατηγορίες των γεωδαιτικών εργασιών, όπως αυτές πραγματοποιούνται σήμερα (2007) με τη χρήση σύγχρονου ψηφιακού εξοπλισμού. Παράλληλα προτείνεται μια διαδικασία – σειρά ενεργειών οι οποίες θα εξασφαλίζουν την αξιοπιστία του γεωδαιτικού προϊόντος. Σκοπός είναι η ανάδειξη της αναγκαιότητας δημιουργίας ενός προτύπου διακρίβωσης - πιστοποίησης των προϊόντων των γεωδαιτικών εργασιών, ώστε αυτά να χρησιμοποιούνται χωρίς αμφισβητήσεις σε πρακτικές εφαρμογές.

Λέξεις-Κλειδιά: γεωδαιτικές εργασίες, κλίμακα, χάρτες, πιστοποίηση.

1. Εισαγωγή

Η **Γεωδαισία** είναι η επιστήμη που με μετρήσεις και υπολογισμούς προσδιορίζει το σχήμα και μέγεθος της Γης, τις ακριβείς θέσεις σημείων ως προς ένα σύστημα αναφοράς, το σχήμα και το μέγεθος περιοχών και κατασκευών που βρίσκονται πάνω στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ) και τα απεικονίζει σε χάρτες. Στα αντικείμενα της επιστήμης αυτής εντάσσονται επίσης ένα πλήθος παραγώγων όπως γεωδαιτικά δίκτυα, διαγράμματα, χάρτες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους διαφόρων κλιμάκων και χρήσεων.

Για τη δημιουργία των παραγώγων αυτών απαιτούνται:

- Μετρήσεις
- υπολογισμοί και
- σχεδίαση (σε πολλές περιπτώσεις).

Το τρίπτυχο αυτό οδηγεί στη δημιουργία παραγώγων τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων αλλά και στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση τεχνικών έργων.

Τα μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν με γεωδαιτικές μεθόδους και όργανα είναι διευθύνσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες), μήκη, υψομετρικές διαφορές και χρόνος. Έτσι, με κατάλληλη επεξεργασία αυτών των μετρήσεων, μπορούν να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες (x, y, H) σημείων της ΦΓΕ σε επιλεγμένο σύστημα αναφοράς.

Η διαδικασία επεξεργασίας και απόδοσης του τελικού αποτελέσματος από τις γεωδαιτικές μετρήσεις είναι σύνθετη και για αυτό το λόγο πρέπει να ελέγχεται στα επιμέρους στάδια ώστε το αποτέλεσμα να είναι ορθό και ακριβές.

2. Παράμετροι των γεωδαιτικών παραγώγων

Μετρήσεις

Το πρώτο στοιχείο για τη δημιουργία γεωδαιτικών παραγώγων είναι η συλλογή των μετρήσεων. Αυτή πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας κατάλληλο γεωδαιτικό εξοπλισμό (ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, ψηφιακούς χωροβάτες, δέκτες του συστήματος GPS). Κατά τη διαδικασία της συλλογής των μετρήσεων πρέπει να δίνεται προσοχή στα παρακάτω σημεία, τα οποία επηρεάζουν καθοριστικά την ακρίβεια και την ορθότητα του προϊόντος.

α) Η σωστή εκτέλεση των μετρήσεων προϋποθέτει την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας των συστημάτων μέτρησης. Η πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας των γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται σε επαγγελματικό επίπεδο σε τακτά χρονικά διαστήματα διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την ορθότητα των μετρήσεων και τη συμβατότητά τους με άλλες ομοειδείς μετρήσεις.

Ο έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται σε διαπιστευμένα μετρολογικά εργαστήρια, τα οποία θα λειτουργούν με πρότυπη διαδικασία, η οποία θα διασφαλίζει:

- Αυτοματοποίηση και ευελιξία
- Μικρό κόστος
- Προσαρμογή της διαδικασίας ελέγχου και διακρίβωσης στα σύγχρονα ψηφιακά όργανα.

Ο έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται πριν την έναρξη των μετρήσεων αλλά και μετά την ολοκλήρωσή τους και να πιστοποιεί:

- Τη σωστή λειτουργία των οργάνων (κέντρωση, οριζοντίωση, ανάγνωση)
- Την ακρίβεια μέτρησης των πρωτογενών μεγεθών.

β) Η χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων έχει διαφοροποιήσει τη διαδικασία των μετρήσεων. Έτσι, για τις μετρήσεις μηκών, δεν υπάρχει λόγος πολλαπλών μετρήσεων ούτε πύκνωσης του μετρούμενου μήκους (όπως γινόταν παλαιότερα). Αρκεί η μέτρηση σε μετάβαση (aller) και επιστροφή (retour) και ο έλεγχος ότι η διαφορά των δύο μετρήσεων βρίσκεται εντός των ορίων ακρίβειας μέτρησης μηκών.

γ) Αντίστοιχα στις μετρήσεις διευθύνσεων, η ανάγνωση γίνεται με ηλεκτρονική διαδικασία, επομένως δεν υπάρχει ανάγκη μέτρησης σε πολλές περιόδους, ενώ μικρές αποκλίσεις του γεωδαιτικού σταθμού από την κανονική του θέση συμπεριλαμβάνονται στις τελικές τιμές των γωνιών (ως διορθώσεις). Απομένει μόνο το σφάλμα σκόπευσης του παρατηρητή, το οποίο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

δ) Η χρήση των ψηφιακών χωροβατών στον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών, έχει ελαχιστοποιήσει τα σφάλματα ανάγνωσης, ενώ έχει αυξήσει την απόδοση και την ακρίβεια στον προσδιορισμό των υψομέτρων. Η ακρίβεια ανάγνωσης των οργάνων είναι το στοιχείο από το οποίο εξαρτάται το τελικό αποτέλεσμα.

ε) Η χρήση δεκτών του συστήματος GPS κυρίως στις μετρήσεις γεωδαιτικών δικτύων, αλλά και στην σε πραγματικό χρόνο αποτύπωση, έχει μεταβάλλει τη "φιλοσοφία" του σχεδιασμού αποτύπωσης μεγάλων εκτάσεων, επιταχύνοντας τη διαδικασία αλλά αυξάνοντας το κόστος. Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή στον προσδιορισμό της τρίτης διάστασης (H).

στ) Τέλος είναι σημαντική η τυποποίηση του τρόπου σήμανσης των σταθερών σημείων αναφοράς στο έδαφος, ώστε να αναγνωρίζονται εύκολα από τους χρήστες και να είναι εφικτή η ομογενοποίηση και η σύνδεση των διαφορετικής μορφής γεωδαιτικών παραγώγων.

Υπολογισμοί

Η επόμενη σημαντική διαδικασία που χρήζει πιστοποίησης είναι αυτή των υπολογισμών. Η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών τόσο στη διαδικασία μεταφοράς των μετρήσεων από τα γεωδαιτικά όργανα σε αυτούς, όσο και στη διαδικασία των υπολογισμών αποτελεί στη σημερινή εποχή το όπλο του τοπογράφου μηχανικού στην παραγωγή προϊόντων.

Κατά τους υπολογισμούς προσδιορίζονται όλα τα στοιχεία που οδηγούν σε γεωδαιτικά παράγωγα, παράλληλα όμως υπολογίζονται και τα σφάλματα (αβεβαιότητες) που διέπουν όλη την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία αλλά και το τελικό αποτέλεσμα.

Η ύπαρξη πολλαπλών λογισμικών επεξεργασίας γεωδαιτικών μετρήσεων δημιουργεί ασφαλώς μια ευκαιρία ελεύθερης επιλογής από το χρήστη. Η ορθότητα των προγραμμάτων αυτών και οι μαθηματικές διαδικασίες που χρησιμοποιούν είναι τις περισσότερες φορές "μαύρο κουτί" για κάθε χρήστη. Έτσι για τη διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας του τελικού προϊόντος κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ενός φορέα πιστοποίησης των λογισμικών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των γεωδαιτικών μετρήσεων και τη δημιουργία των γεωδαιτικών παραγώγων.

Τέλος στο πλαίσιο αυτό κρίνεται απαραίτητη η επικαιροποίηση και διαμόρφωση νέων αποδεκτών ορίων των σφαλμάτων που εμφανίζονται στις μετρήσεις, στις ενδιάμεσες διαδικασίες (επίλυση οδύσεων, δικτύων) αλλά και στο τελικό αποτέλεσμα, που συνήθως είναι ο υπολογισμός των καρτεσιανών συντεταγμένων (x, y, H) σημείων της ΦΓΕ. Έτσι θα είναι συμβατά με τον σύγχρονο εξοπλισμό αλλά και με τις ανάγκες χρήσης του τελικού προϊόντος.

Σχεδίαση

Μέχρι πριν από λίγα χρόνια η παρουσίαση της μορφής ενός γεωδαιτικού παραγώγου γινόταν χρησιμοποιώντας τα σχέδια όπως αυτά αποδίδονταν σε αναλογική μορφή (χαρτί). Την τελευταία δεκαετία, η παράλληλη ανάπτυξη των συστημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, των περιφερειακών μονάδων εκτύπωσης (plotter) αλλά και των σχεδιαστικών προγραμμάτων οδηγεί πλέον μόνο σε ψηφιακή απόδοση της συλλεγόμενης γεωμετρικής πληροφορίας, όπου αυτό είναι απαραίτητο. Η διαδικασία της ψηφιακής απόδοσης δεν επιβαρύνει με επιπλέον σφάλμα το τελικό προϊόν και είναι φυσικά πιο ευέλικτη και εύχρηστη.

Το ζητούμενο σήμερα δεν είναι πια η *κλίμακα σχεδίασης* αφού κάθε διάγραμμα τεκμηρίωσης μπορεί να εκτυπωθεί σε περισσότερες της μιας κλίμακες. Η εκτύπωση όμως του προϊόντος ώστε να γίνει πιο εποπτικό στον χρήστη εισάγει δύο νέες παραμέτρους που είναι καθοριστικές για την ποιότητά του, τη μέγιστη και την ελάχιστη κλίμακα εκτύπωσης. Ως μέγιστη κλίμακα εκτύπωσης ορίζεται η μεγαλύτερη κλίμακα που καλύπτεται από την ακρίβεια που έχει επιτευχθεί σε κάθε εργασία, ενώ ως ελάχιστη κλίμακα εκτύπωσης ορίζεται η μικρότερη κλίμακα που μπορεί να αποδώσει ευκρινώς την πληροφορία που περιλαμβάνεται στο διάγραμμα.

Για τον έλεγχο της ποιότητας είναι απαραίτητος ο καθορισμός της ελάχιστης και της μέγιστης κλίμακας εκτύπωσης για κάθε γεωδαιτικό παράγωγο, ως συνάρτηση της ακρίβειας που αυτό παρέχει αλλά και της πληροφορίας που περιλαμβάνει.

Σήμερα με την ψηφιακή σχεδίαση δίνεται η δυνατότητα καταγραφής και απόδοσης πολλαπλής γεωμετρικής (ποσοτικής) και ποιοτικής πληροφορίας και της εκτύπωσής της σε επιλεγμένες κλίμακες. Ο μεγάλος όγκος της πληροφορίας που μπορεί να περιλαμβάνεται σε τέτοια διαγράμματα αλλά και η αξιοπιστία τους οδηγεί αναπόφευκτα στην ανάγκη ελέγχου και ορισμού κανόνων πιστοποίησής τους.

3. Γεωδαιτικά παράγωγα

Ως *γεωδαιτικά παράγωγα* ορίζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη συλλογή και την κατάλληλη επεξεργασία των γεωδαιτικών μετρήσεων. Αυτά συνήθως εμφανίζονται είτε με τη μορφή υπολογισμένων παραμέτρων, είτε με τη μορφή διαγραμμάτων. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν ορισμένες σημαντικές κατηγορίες ψηφιακών παραγώγων.

- Τα γεωδαιτικά δίκτυα υποδομής (δίκτυα οριζοντίου ελέγχου, κατακορύφου ελέγχου και τρισδιάστατα) και τα αντίστοιχα γεωδαιτικά δίκτυα παρακολούθησης παραμορφώσεων και μετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης και κατασκευών. Η επεξεργασία των μετρήσεων σε τέτοιου είδους εργασίες καταλήγει στον προσδιορισμό των συντεταγμένων (x, y) ή και H των κορυφών των δικτύων και των αβεβαιοτήτων τους. Η αξιοπιστία και η ορθότητα αυτών των εργασιών καθορίζεται αποφασιστικά από την τιμή του *a-posteriori* τυπικού σφάλματος και από τις μεταβλητότητες των αγνώστων στοιχείων (συντεταγμένες κορυφών).
- Διαγράμματα μεσαίας κλίμακας. Ως τέτοια διαγράμματα ορίζονται τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:1000, 1:500 και σπανιότερα 1:200, τα οποία συντάσσονται στο πλαίσιο των *αστικών αποτυπώσεων*. Τα παράγωγα αυτών των εργασιών είναι ψηφιακά τοπογραφικά διαγράμματα, τα οποία περιέχουν πολλαπλή γεωμετρική αλλά και ποιοτική πληροφορία.
- Διαγράμματα μεγάλης κλίμακας. Έτσι ορίζονται τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:100, 1:50, 1:25 ή και μεγαλύτερης. Τα διαγράμματα αυτά συντάσσονται για τη γεωμετρική τεκμηρίωση τεχνητών (μνημείων, κατασκευών) ή και φυσικών (πρανή) κατασκευών και είναι διαγράμματα γενικής οριζοντιογραφίας, οριζοντίων τομών (κατόψεις) και κατακορύφων τομών.
- Ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Terrestrial Model, DTM) για την παρουσίαση του αναγλύφου του εδάφους. Σήμερα με την εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων και με την προσθήκη νέων τεχνολογιών είναι δυνατή η μέτρηση σημείων μιας επιφάνειας με μεγαλύτερη πυκνότητα αλλά και μεγαλύτερη ακρίβεια. Έτσι είναι δυνατή η απεικόνιση του εδάφους με τη μορφή τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου.

Σε όλες τις περιπτώσεις δημιουργίας γεωδαιτικών παραγώγων καθοριστική είναι η ορθή λειτουργία του τρίπτυχου **μέτρηση – υπολογισμοί – σχεδίαση**. Η τελική παρουσίαση κάθε γεωδαιτικού παραγώγου βασίζεται σε ενδιάμεσες μετρητικές και γεωμετρικές ενέργειες οι οποίες είναι πολλές φορές πολύπλοκες. Αυτός είναι και ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο καθίσταται απαραίτητη η πιστοποίησή τους στα ενδιάμεσα αλλά και στο τελικό στάδιο.

4. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Τα παράγωγα των γεωδαιτικών εργασιών είναι πολυπόικλα και διαφορετικής μορφής και ακρίβειας. Η δημιουργία των παραγώγων αυτών συνδέεται άμεσα τόσο με τις

δυνατότητες και την ακρίβεια του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού όσο και με την επεξεργασία των μετρήσεων για τη λήψη του τελικού αποτελέσματος.

Κατά τη δημιουργία ενός γεωδαιτικού παραγώγου πρέπει να ακολουθούνται συγκεκριμένες διαδικασίες ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητά του, η ακρίβειά του και η χρήση του.

Προτείνεται για κάθε γεωδαιτικό παράγωγο:

- Να ορίζεται η απαιτούμενη ακρίβεια των συντεταγμένων x, y, H (προδιαγραφές εργασίας).
- Να αναγράφεται ο τύπος των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των μετρήσεων, ο αριθμός σειράς και να επισυνάπτεται το πιστοποιητικό του μετρολογικού ελέγχου τους (ημερομηνία, εργαστήριο πιστοποίησης).
- Να θεσμοθετηθεί ο μετρολογικός έλεγχος των οργάνων σε τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ ανά έτος).
- Να αναγράφεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς και η αντίστοιχη πιστοποίησή του (φορέας, ημερομηνία).
- Να γίνεται έλεγχος του παραγώγου ως προς την επίτευξη των προδιαγραφών ακριβείας που τέθηκαν αρχικά.

Αν πρόκειται για τοπογραφικό διάγραμμα

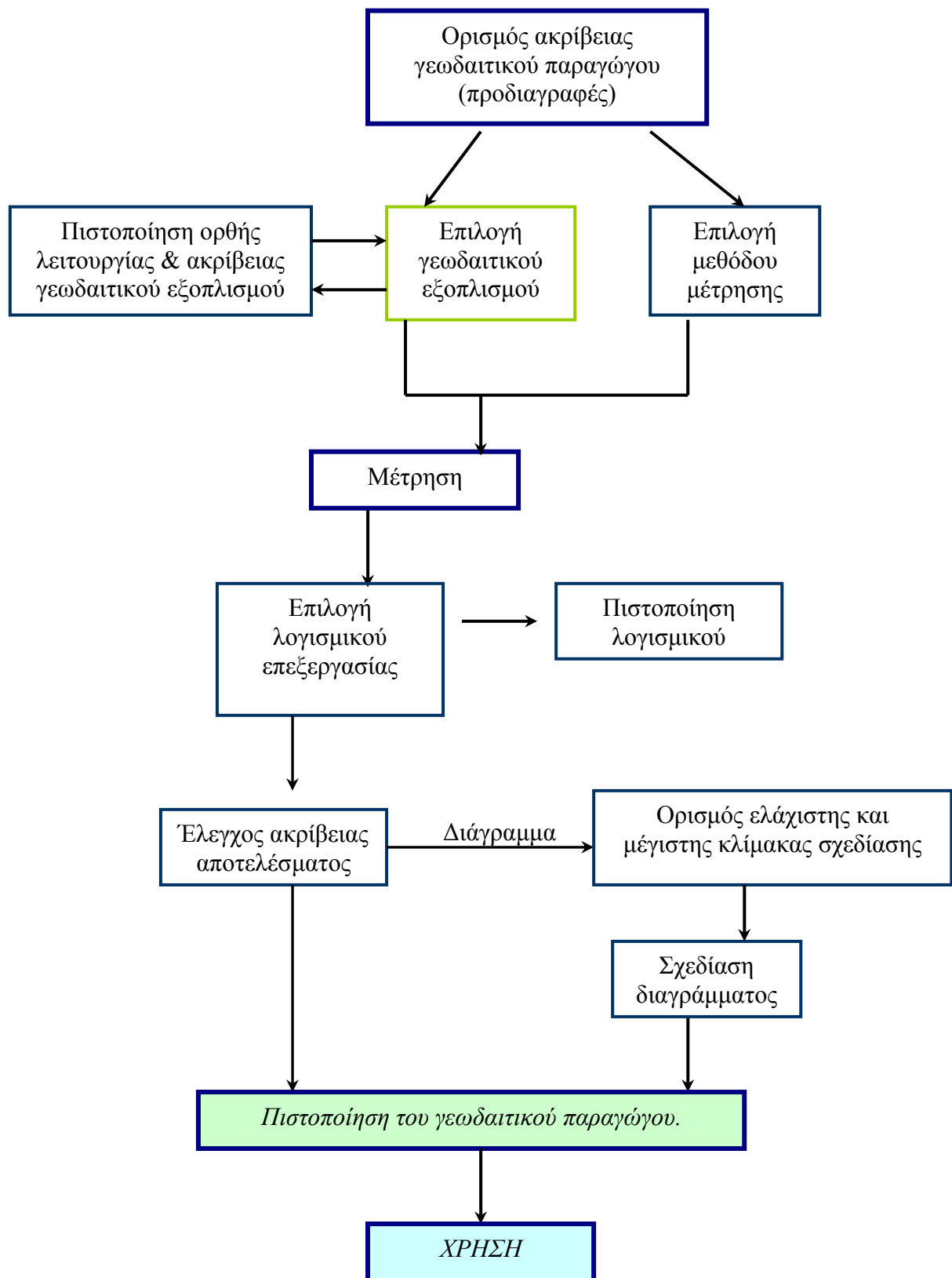
- να ορίζεται η μέγιστη και η ελάχιστη κλίμακα εκτύπωσής του σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη
- να γίνεται ο έλεγχος του παραγόμενου διαγράμματος στο **πεδίο**. Κατά τον έλεγχο αυτό πρέπει να :
 - Συμπληρώνονται στοιχεία που έχουν παραληφθεί κατά την πρώτη φάση των μετρήσεων.
 - Διορθώνονται στοιχεία που αποτυπώθηκαν ή αποδόθηκαν λανθασμένα στο γραφείο.
 - Ελέγχεται η γεωμετρική ακρίβεια του σχεδίου δηλ. οι σχετικές θέσεις των σημείων λεπτομερειών.

Για τον έλεγχο της γεωμετρικής ακρίβειας του σχεδίου, απαιτείται ο δειγματοληπτικός έλεγχος μηκών, γωνιών, υψομετρικών διαφορών για να διαπιστωθεί αν οι αποκλίσεις βρίσκονται εντός των ορίων της ακρίβειας του σχεδίου, όπως αυτή έχει καθοριστεί από τις προδιαγραφές της εργασίας.

Η χρήση παλαιότερων γεωδαιτικών παραγώγων θα μπορούσε να γίνει μόνο αν αυτά ελεγχθούν με σύγχρονες διαδικασίες από κάποιο φορέα και αναγράφεται σαφώς η ακρίβεια της πληροφορίας που παρέχουν (πιστοποίηση)

Σήμερα, στην εποχή του αυστηρού ελέγχου της ποιότητας κάθε προϊόντος, είναι απαραίτητο να καθοριστεί μια διαδικασία πιστοποίησης των παραγώγων που προέρχονται από γεωδαιτικές μετρήσεις. Τότε μόνο αυτά θα είναι αξιόπιστα κατάλληλα προς χρήση και αξιοποίηση για το σχεδιασμό και την κατασκευή μεγάλων ή μικρών τεχνικών έργων.

Στο σχήμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενέργειες που θα οδηγήσουν με ασφάλεια στη δημιουργία ενός αξιόπιστου γεωδαιτικού παραγώγου και οι οποίες πρέπει να διέπουν ένα πρότυπο πιστοποίησής του.



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση ενεργειών δημιουργίας γεωδαιτικού παραγώγου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Λάμπρου Ε., *Εφαρμοσμένα αντικείμενα Γεωδαισίας*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2007.
- [2] Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., *Γεωδαιτικά Όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2002.
- [3] Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., Αραμπατζή Ο., *Γεωδαισία – Δίκτυα Αποτύπωσης, Χαράξεις*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2002.
- [4] Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Αραμπατζή Ο., *Υψομετρία*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2004.
- [5] Πανταζής Γ., *Γεωμετρική τεκμηρίωση τεχνητών και φυσικών κατασκευών σε μεγάλες κλίμακες*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα 2005.