

# Πρόταση για τη δημιουργία ενός σύγχρονου και ακριβούς χάρτη του γεωειδούς στον Ελλαδικό χώρο.

A proposal for the creation of a modern and precise geoid Map in Greece.

ΛΑΜΠΡΟΥ, Ε. Δρ Αγρ.- Τοπογράφος Μηχ. Ε.Μ.Π., Λέκτορας Ε.Μ.Π.  
ΠΑΝΤΑΖΗΣ, Γ. Δρ Αγρ.- Τοπογράφος Μηχ. Ε.Μ.Π., Λέκτορας Ε.Μ.Π.  
ΝΙΚΟΛΙΤΣΑΣ, Κ. Αγρ. - Τοπογράφος Μηχ. Ε.Μ.Π., Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη πρόταση που αποβλέπει στη δημιουργία ενός σύγχρονου, ακριβούς και αξιόπιστου χάρτη της αποχής του γεωειδούς στον Ελλαδικό χώρο, με την εφαρμογή της μεθόδου της αστρογεωδαιτικής χωροστάθμησης. Ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός υψηλής ακρίβειας και ειδικών δυνατοτήτων χρήσης και ένας δέκτης του συστήματος GPS συνδέονται και αποτελούν ένα σύγχρονο σύστημα πραγματοποίησης αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων. Το σύστημα υποστηρίζεται από κατάλληλο λογισμικό επεξεργασίας των μετρήσεων και παρέχει τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Έτσι προσδιορίζονται οι αστρονομικές συντεταγμένες  $\Phi$ ,  $\Lambda$  σημείων της Φ.Γ.Ε, οι συνιστώσες  $\xi$ ,  $\eta$  της απόκλισης της κατακορύφου και μέσω αυτών οι μεταβολές  $\Delta N$  του γεωειδούς, με ακρίβεια μερικών mm.

ABSTRACT: The paper presents a total proposal for the creation of a modern, correct and precise map of the geoid undulation  $N$  in Greece by using the astrogeodetic leveling method. A high accuracy total station with special capacities and a GPS receiver are connected in order to compose the modern system for the performance of the astrogeodetic observations. The system is supported by handy software providing the results in real time. The astronomical coordinates  $\Phi$ ,  $\Lambda$  of points of the earth surface are determined, the components  $\xi$ ,  $\eta$  of the deviation of the vertical are calculated and via them the changes of the geoid undulation  $\Delta N$  are resulted by an accuracy of few mm. The advantages of the method and the necessity of its use are registered.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων τις δύο τελευταίες δεκαετίες είναι αλματώδης. Τα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα αντικαταστάθηκαν από τους σύγχρονους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, οι οποίοι εξελίσσονται διαρκώς σε θέματα που αφορούν στην ακρίβεια μέτρησης του μήκους (μπορεί να φθάσει τα  $\pm 1\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ ), των γωνιακών μεγεθών ( $\pm 1''$ ) αλλά κυρίως στη δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων σε ενσωματωμένη καταγραφική μονάδα, στη δυνατότητα επικοινωνίας τους με Η/Υ και άλλα περιφερειακά και στην ορθότητα των μετρήσεων που παρέχουν. Σημαντικό πλεονέκτημα επίσης αποτελεί η ψηφιακή διαδικασία αποκατάστασης της ορθής λειτουργίας τους (κέντρωση, οριζοντίωση) και το ενσωματωμένο αυτόματο σύστημα υπολογισμού των διορθώσεων των τιμών των

μετρούμενων γωνιών, που πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο και αφορούν στην πλήρωση των συνθηκών λειτουργίας του γεωδαιτικού σταθμού.

Παράλληλα η ανάπτυξη του συστήματος GPS, βελτίωσε τις εργασίες εντοπισμού και μέτρησης μεγάλων γεωδαιτικών δικτύων. Βελτιώθηκε η ταχύτητα αλλά και η ακρίβεια προσδιορισμού των γεωδαιτικών συντεταγμένων  $\phi$ ,  $\lambda$  αλλά και των γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών  $\Delta h$  μεταξύ σημείων της Φ.Γ.Ε.

Παραμένει όμως ακόμη "πρόβλημα" ο ταυτόχρονος προσδιορισμός και των ορθομετρικών υψομέτρων. Απαιτείται η γνώση του υψομέτρου  $N$  του γεωειδούς, ώστε σύμφωνα με τη σχέση  $H = h + N$ , να προσδιορίζεται με αξιοπιστία και ακρίβεια το ορθομετρικό υψόμετρο  $H$  σε οποιοδήποτε σημείο στο οποίο έχουν γίνει μετρήσεις με το σύστημα GPS. Έτσι θα είναι δυνατή η

υπομετρική σύνδεση μεταξύ δικτύων που ιδρύονται και μετρούνται στο πλαίσιο γεωδαιτικών εργασιών υποδομής.

Στον ελλαδικό χώρο οι μεταβολές στη μορφή (κλίση) του γεωειδούς είναι έντονες, εξαιτίας του έντονου και ανομοιόμορφου τοπογραφικού αναγλύφου. Τα γεωδυναμικά μοντέλα που σήμερα χρησιμοποιούνται δεν μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να δώσουν ακριβείς και αξιόπιστες προσεγγίσεις των τιμών του υψομέτρου  $N$  του γεωειδούς αλλά και των συνιστωσών  $\xi$ ,  $\eta$  της απόκλισης της κατακορύφου.

Ο προσδιορισμός της μεταβολής  $\Delta N$  του υψομέτρου του γεωειδούς μπορεί να γίνει με ακρίβεια εφαρμόζοντας τη μέθοδο της αστρογεωδαιτικής χωροστάθμησης. Ο συνδυασμός ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού και ενός δέκτη του συστήματος GPS, αποτελεί τη λύση του προβλήματος της εφαρμογής των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων προκειμένου να υπολογιστούν με ακρίβεια και ταχύτητα αστρονομικές συντεταγμένες  $\Phi$ ,  $\Lambda$  κάποιου σημείου της Φ.Γ.Ε. και αστρονομικά αξιμώθια  $A_A$  διευθύνσεων παρατήρησης.

Στην περίπτωση αυτή εφόσον είναι γνωστές οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του σημείου  $\phi$ ,  $\lambda$ , σε ένα ελλειψοειδές αναφοράς, υπολογίζονται οι τιμές των συνιστωσών  $\xi$ ,  $\eta$  της απόκλισης της κατακορύφου και οι μεταβολές  $\Delta N$  του υψομέτρου του γεωειδούς, από σημείο σε σημείο, σε σχέση με το συγκεκριμένο ελλειψοειδές αναφοράς.

## 2. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το σύγχρονο σύστημα των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων "φωτογραφία 1" προέκυψε από τη σύνδεση και την επικοινωνία, ενός γεωδαιτικού σταθμού υψηλής ακρίβειας και δυνατοτήτων με ένα δέκτη του συστήματος GPS, ο οποίος έχει τη δυνατότητα παροχής του παγκόσμιου συντονισμένου χρόνου UTC (Λάμπρου, 2003).

Χρησιμοποιείται ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TDM 5000 της εταιρείας Leica (Leica, 1997), ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των γεωδαιτικών σταθμών υψηλής ακρίβειας. Είναι όργανο ομοαξονικό και σερβοκίνητο, έχει απόδοση στη μέτρηση των γωνιών  $0.1''$  και ακρίβεια  $\pm 1''$ . Επιτρέπει την ψηφιακή μέτρηση και καταγραφή γωνιών, μηκών και χρόνου. Διαθέτει ενσωματωμένο ψηφιακό χρονόμετρο, το οποίο έχει απόδοση  $0.001\text{sec}$ . Έτσι είναι δυνατή η καταγραφή του χρόνου που

αντιστοιχεί στη στιγμή της παρατήρησης. Οι κοχλίες του είναι ατέρμονες, χωρίς πάκτωση οριζόντιου και κατακορύφου δίσκου, διαθέτει ανεξάρτητο πηδάλιο, που σημαίνει ότι οι κοχλίες της μικροκίνησης μπορούν να βρεθούν και να λειτουργήσουν σε οποιαδήποτε θέση και είναι δυνατός ο ρυθμιζόμενος φωτισμός τόσο του τηλεσκοπίου όσο και της οθόνης του, με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση και κατά τη διάρκεια της νύκτας. Επίσης διαθέτει ειδικό πλήκτρο καταγραφής των μετρήσεων (trigger key), το οποίο βρίσκεται πάνω στο πηδάλιο και δίπλα στη θέση του κοχλίου της μικροκίνησης.



Φωτογραφία 1: Το σύστημα των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων.  
Photograph 1: The system for the astrogeodetic observations.

Ο δέκτης 4000DL του συστήματος GPS (Trimble, 1990) που χρησιμοποιείται, είναι ένας κλασικός δέκτης που έχει όμως τη δυνατότητα εξόδου ενός παλμού παγκόσμιου χρόνου UTC στην αρχή κάθε ακέραιου δευτερόλεπτου χρόνου (pulse per second ή pps). Η διάρκεια του παλμού είναι  $2 \cdot 10^{-6}\text{ sec}$  και η ακρίβειά του είναι  $\pm 5 \cdot 10^{-6}\text{ sec}$ .

Η επικοινωνία των δύο οργάνων επιτυγχάνεται αφενός με τη χρήση κατάλληλου καλωδίου (hardware), που κατασκευάστηκε έτσι ώστε όταν τοποθετείται στις εξόδους RS232, που διαθέτουν και τα δύο όργανα, να επιτυγχάνεται η αμφίδρομη μεταφορά και λήψη εντολών και δεδομένων και αφετέρου με πρόγραμμα H/Y (software), που συντάχθηκε σε γλώσσα GEOBASIC (Leica, 1997). Το σύστημα ολοκληρώνεται με την ύπαρξη ψηφιακού θερμομέτρου - βαρομέτρου, ώστε κατά την διάρκεια των μετρήσεων να συλλέγονται στοιχεία πίεσης και θερμοκρασίας.

### 3. Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σύμφωνα με τη μέθοδο της αστρογεωδαιτικής χωροστάθμησης εφόσον είναι γνωστές οι αστρονομικές συντεταγμένες  $\Phi$ ,  $\Lambda$  ενός σημείου της Φ.Γ.Ε και οι αντίστοιχες γεωδαιτικές  $\varphi$ ,  $\lambda$  σε ένα ελλειψοειδές αναφοράς, μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές των συνιστωσών  $\xi$  και  $\eta$  της απόκλισης της κατακορύφου από τις εξισώσεις:

$$\xi = \Phi - \varphi \quad (1)$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Ο υπολογισμός του υψομέτρου του γεωειδούς  $N_j$  ενός σημείου  $j$  της Φ.Γ.Ε., μπορεί να γίνει αν είναι γνωστή η τιμή του  $N_i$  σε ένα αρχικό σημείο  $i$  και ξεκινήσει η μεταφορά του, υπολογίζοντας το  $\Delta N_{ij}$  από σημείο σε σημείο. Η μεταβολή  $\Delta N_{ij}$  του υψομέτρου του γεωειδούς, με την προϋπόθεση ότι μεταξύ των σημείων  $i$  και  $j$  η μεταβολή είναι ομαλή (για αποστάσεις της τάξης των 40Km), υπολογίζεται από την εξίσωση 3 ή 4.

$$\Delta N_{ij} = -1850 \cdot \sin 1'' \cdot \left[ \frac{\xi_i'' + \xi_j''}{2} \cdot \Delta \varphi + \frac{\eta_i'' + \eta_j''}{2} \cdot \Delta \lambda \cdot \cos \varphi_j \right] \quad (3)$$

όπου  $\Delta N_{ij}$  σε m

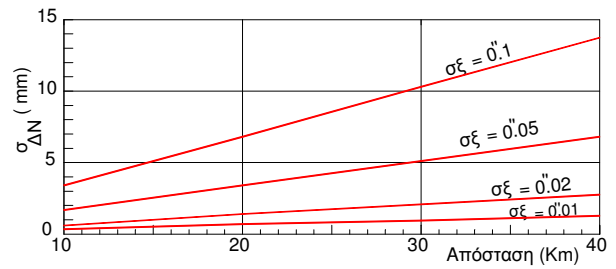
$\Delta \varphi = \varphi_j - \varphi_i$ , η διαφορά των τιμών του γεωδαιτικού πλάτους σε πρώτα λεπτά μοίρας  
 $\Delta \lambda = \lambda_j - \lambda_i$ , η διαφορά των τιμών του γεωδαιτικού μήκους σε πρώτα λεπτά μοίρας  
 $\xi_i, \eta_i, \xi_j, \eta_j$  σε δευτερόλεπτα μοίρας  
 ή

$$\Delta N_{ij} = - \left[ \frac{\xi_i + \xi_j}{2} \cdot \cos A_{ij} + \frac{\eta_i + \eta_j}{2} \cdot \sin A_{ij} \right] \cdot S_{ij} \quad (4)$$

όπου  $A_{ij}, S_{ij}$  = το αζιμούθιο και η απόσταση μεταξύ των σημείων  $i - j$ .

Όπως φαίνεται η ακρίβεια προσδιορισμού του  $\Delta N$  εξαρτάται από την ακρίβεια προσδιορισμού των  $\xi$  και  $\eta$  και επομένως από την ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων  $\Phi$ ,  $\Lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\lambda$ . Από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στην εξίσωση 4, αν θεωρηθεί ότι  $\sigma_\Phi = \sigma_\Lambda$  και  $\sigma_\varphi = \sigma_\lambda$  και άρα  $\sigma_\xi = \sigma_\eta$  προκύπτει:

$$\sigma_{\Delta N_{ij}} = \pm S_{ij} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sigma_\xi \quad (5)$$



Σχήμα 1. Το σφάλμα προσδιορισμού του  $\Delta N$   
 Figure 1. The error of the determination of  $\Delta N$

Το σχήμα 1 παρουσιάζει την ακρίβεια προσδιορισμού του  $\Delta N$  σε σχέση με την απόσταση και την ακρίβεια που έχει επιτευχθεί στον υπολογισμό των συνιστωσών  $\xi$  και  $\eta$  της απόκλισης της κατακορύφου.

Όπως γίνεται αντιληπτό καθοριστική παράμετρος αποτελεί η μεθοδολογία μέτρησης και υπολογισμού των αστρονομικών συντεταγμένων  $\Phi$ ,  $\Lambda$ .

Πριν την εκτέλεση των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων, απαιτείται ο σχεδιασμός τους. Αυτός αποβλέπει στην επιλογή των αστέρων που πρόκειται να παρατηρηθούν. Ο σχεδιασμός αυτός γίνεται ηλεκτρονικά με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος Η/Υ (εικονικό πλανητάριο) (Marriot, 2001).

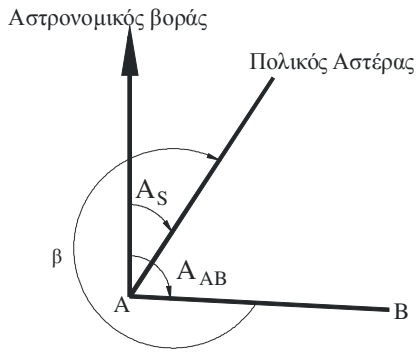
Η διαδικασία εκτέλεσης των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων είναι η ακόλουθη. Αρχικά είναι απαραίτητος ο προσανατολισμός του γεωδαιτικού σταθμού στον αστρονομικό βορρά. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου της διεύθυνσης μηδενισμού του γεωδαιτικού σταθμού.

Για τον προσδιορισμό του **αστρονομικού αζιμουθίου** επιλέγεται η μέθοδος της ωριαίας γωνίας με σκοπεύσεις στον Πολικό Αστέρα (Mueller, 1969). Το μέγεθος που μετράται είναι ο Παγκόσμιος Συντονισμένος Χρόνος (UTC) τη στιγμή της διάβασης του αστέρα από το κατακόρυφο νήμα του οργάνου. Σκοπεύεται ο Πολικός αστέρας και μετράται ο χρόνος UTC και η οριζόντια γωνία  $\beta$  μεταξύ της διεύθυνσης AB και του Πολικού Αστήρα. Υπολογίζεται το αστρονομικό αζιμούθιο  $A_s$  του Πολικού Αστήρα για κάθε παρατήρηση και στη συνέχεια το αστρονομικό αζιμούθιο της διεύθυνσης AB "σχήμα 2" από τη σχέση:

$$A_{AB} = (400^s - \beta) + A_s \quad (6)$$

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται στον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου της διεύθυνσης μηδενισμού του γεωδαιτικού

σταθμού, είναι  $\pm 0''.01$  και ο χρόνος που απαιτείται είναι 5min (Πανταζής, 2002).



Σχήμα 2. Το αστρονομικό αζιμούθιο της διεύθυνσης AB.  
Figure 2. The astronomical azimuth of the direction AB.

Για τον προσδιορισμό του **αστρονομικού πλάτους  $\Phi$**  του σημείου, μετράται η ζενίθια γωνία του αστέρα σε κάθε παρατήρηση. Επιλέγεται μια σύνθετη μέθοδος, σύμφωνα με την οποία παρατηρούνται ζεύγη αστερών (Βόρειο-Νότιο) με σκοπό την εξάλειψη της αστρονομικής διάθλασης (Sterneck), που έχουν μεταξύ τους μικρή διαφορά ζενιθίων αποστάσεων (Hörrebow-Talcott), πριν και μετά τη μεσουράνηση τους (παραμεσημβρινές διαβάσεις) (Mueller, 1969). Γίνονται συνολικά 80 έως 120 παρατηρήσεις σε κάθε αστέρα, σε χρονικό διάστημα περίπου 6min. Είναι δυνατή η παρατήρηση 6 αστερών σε χρονικό διάστημα μιας ώρας. Η επεξεργασία των  $n$  μετρήσεων σε κάθε αστέρα, αποβλέπει στον προσδιορισμό της τιμής της ζενιθιακής γωνίας  $z_{\mu}$ , που αντιστοιχεί την στιγμή της μεσουράνησής του (Λάμπρου, 2003).

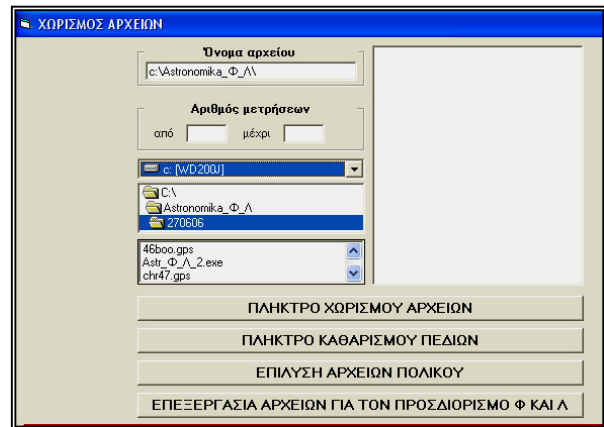
Ο προσδιορισμός του **αστρονομικού μήκους  $\Lambda$**  γίνεται ταυτόχρονα με τη μέτρηση του παγκόσμιου συντονισμένου χρόνου UTC και της οριζόντιας γωνίας τη στιγμή της κάθε παρατήρησης. Σ' αυτή την περίπτωση η επεξεργασία των  $n$  μετρήσεων σε κάθε αστέρα, αποβλέπει στον προσδιορισμό της τιμής του χρόνου  $t_{\mu}$  όταν ο αστέρας μεσουρανή (Λάμπρου, 2003). Με τη μέθοδο Mayer (Mueller, 1969) προσδιορίζεται η καλύτερη τιμή του αστρονομικού μήκους  $\Lambda$  του σημείου παρατήρησης.

Η εφαρμογή της μεθόδου έδειξε ότι παρατηρώντας 10 έως 12 αστέρες σε χρονικό διάστημα περίπου 2 ωρών η ακρίβεια προσδιορισμού των  $\Phi, \Lambda$  είναι  $\pm 0''.01$ .

#### 4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΡΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για την επεξεργασία των μετρήσεων, χρησιμοποιείται κατάλληλο πρόγραμμα, που συντάχθηκε σε γλώσσα Visual Basic 6.0. Το πρόγραμμα είναι φιλικό σε κάθε χρήστη και παρέχει άμεσα τις τιμές:

- του αστρονομικού αζιμουθίου
- των αστρονομικών συντεταγμένων  $\Phi, \Lambda$  του σημείου παρατήρησης
- την ακρίβεια προσδιορισμού των αστρονομικών συντεταγμένων
- των συνιστωσών  $\xi$  και  $\eta$  της απόκλισης της κατακόρυφου.
- την ακρίβεια προσδιορισμού των συνιστωσών.
- τη μεταβολή  $\Delta N$  του γεωειδούς σε σχέση με κάποιο άλλο σημείο, με την προϋπόθεση ότι ο χρήστης θα εισάγει τις τιμές  $\xi, \eta$  και τις γεωδαιτικές συντεταγμένες  $\phi, \lambda$  του σημείου αυτού.



Φωτογραφία 2. Η αρχική οθόνη εργασίας του προγράμματος.

Photograph 2. The software's initial display.

Για τη λειτουργία του προγράμματος συντάχθηκαν επιμέρους υποπρογράμματα που εκτελούν τις ακόλουθες ενδιάμεσες ενέργειες:

- διαχωρίζεται σε επιμέρους αρχεία το ολικό αρχείο που περιλαμβάνει τις μετρήσεις προς τον Πολικό Αστέρα αλλά και προς τους υπόλοιπους αστέρες "φωτογραφία 2". Στη συνέχεια ενεργοποιείται το υποπρόγραμμα προσδιορισμού αστρονομικού αζιμουθίου.
- υπολογίζεται το αστρονομικό αζιμούθιο του προσανατολισμού του γεωδαιτικού σταθμού "φωτογραφία 3".
- αναγνωρίζεται η ημερομηνία παρατήρησης και αυτόματα ενημερώνονται οι περιοχές με τα

στοιχεία που αφορούν στην τιμή του αστρικού χρόνου Greenwich στις 0hUT "φωτογραφία 4" καθώς και στις ουρανογραφικές συντεταγμένες των αστερών (α, δ).

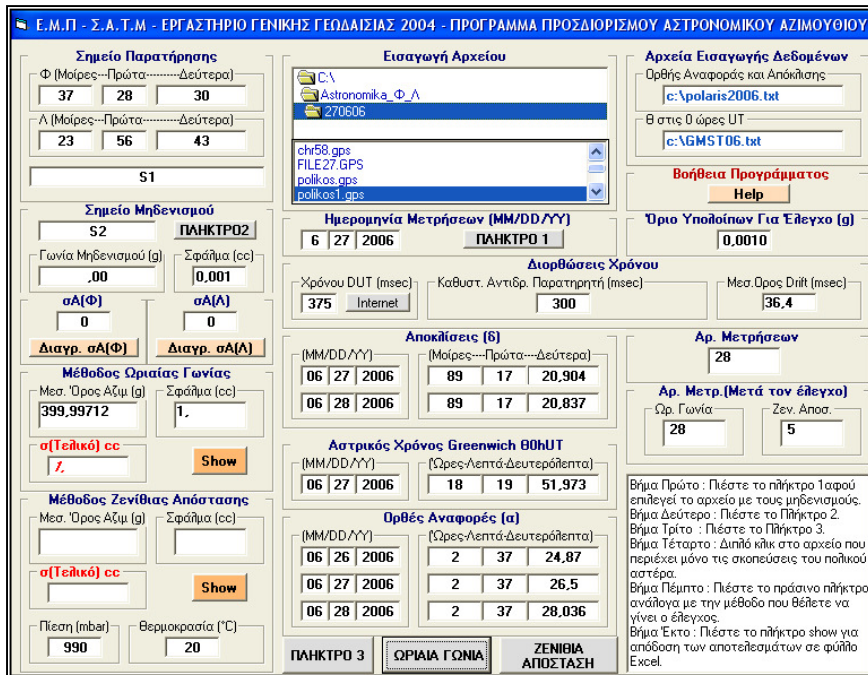
Στη συνέχεια ο χρήστης πρέπει να:

- Εισάγει τις γεωδαιτικές συντεταγμένες του σημείου παρατήρησης (φ, λ), στο σύστημα αναφοράς που επιθυμεί να υπολογιστούν οι συνιστώσες ξ και η "φωτογραφία 5" αλλά και

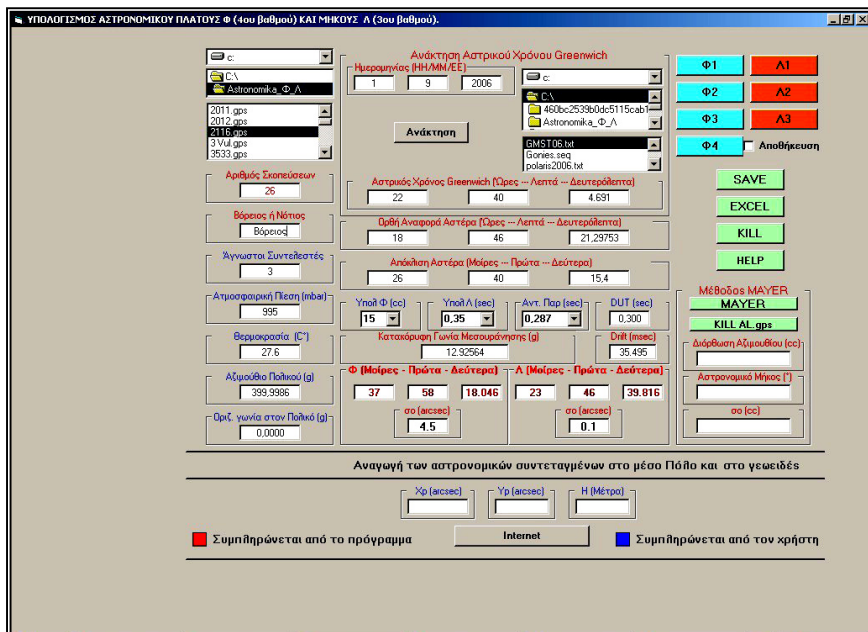
η μεταβολή ΔN του γεωειδούς "φωτογραφία 6".

- Ορίσει τη διαδρομή του δίσκου από την οποία θα λαμβάνονται οι μετρήσεις.
- Εισάγει τα μετεωρολογικά στοιχεία (πίεση, θερμοκρασία).

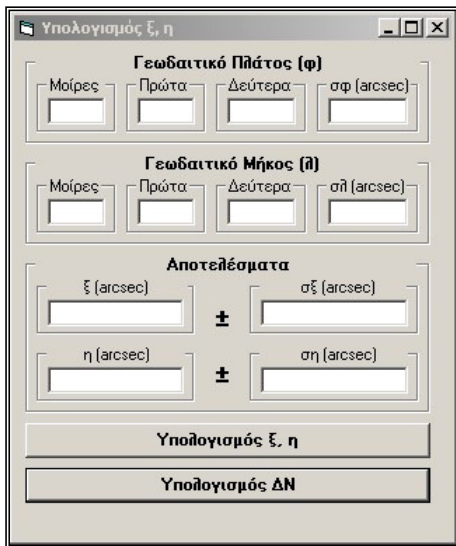
Ακολούθως εκτελείται η διαδικασία υπολογισμού του αστρονομικού πλάτους Φ και του αστρονομικού μήκους Λ.



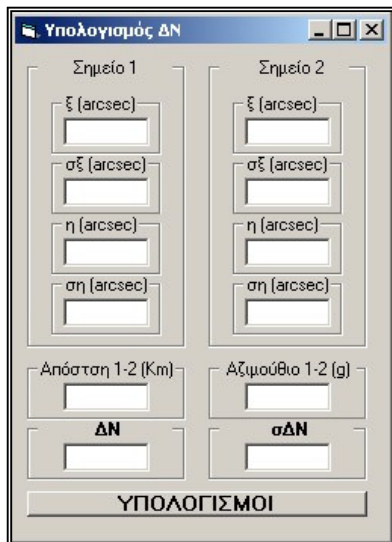
Φωτογραφία 3. Η οθόνη για τον προσδιορισμό του αστρονομικού αζιμουθίου.  
Photograph 3. The display for the determination of the astronomical azimuth.



Φωτογραφία 4. Η οθόνη για τον υπολογισμό των αστρονομικών συντεταγμένων.  
Photograph 4. The display for the determination of the astronomical coordinates.



Φωτογραφία 5. Η οθόνη για τον υπολογισμό των συνιστωσών  $\xi$  και  $\eta$ .  
 Photograph 5. The display for the determination of the components  $\xi$  and  $\eta$ .



Φωτογραφία 6. Η οθόνη για τον υπολογισμό της μεταβολής  $\Delta N$  του γεωειδούς.  
 Photograph 6. The display for the determination of the geoid undulation difference  $\Delta N$ .

## 5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Τα πλεονεκτήματα, που παρουσιάζει η νέα αυτή αντιμετώπιση των αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων σε σχέση με παλαιότερες μεθόδους είναι:

- Ο ταυτόχρονος προσδιορισμός των αστρονομικών συντεταγμένων  $\Phi$ ,  $\Lambda$ , ο οποίος πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τις ίδιες σκοπεύσεις προς τους ίδιους αστέρες.

- Ο μικρός χρόνος και ο ψηφιακός τρόπος σχεδιασμού των παρατηρήσεων.
- Ο χρόνος εγκατάστασης του συστήματος στο σημείο παρατήρησης είναι της τάξης των 10min.
- Το συνολικό βάρος του συστήματος είναι περίπου 15kg και ο όγκος του μικρός.
- Το πλήθος των παρατηρήσεων, σε κάθε αστέρα κατά τη διάρκεια της φαινόμενης τροχιάς του στην ουράνια σφαίρα, δίνει τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης των τυχαίων σφαλμάτων. Οι παρατηρήσεις, αναλύονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και προκύπτουν αξιόπιστα αποτελέσματα.
- Ο χρόνος παραμονής στο ύπαιθρο είναι της τάξης των 2 ωρών. Έτσι η διαδικασία δεν είναι κουραστική, αποφεύγεται ο κίνδυνος μεταβολής των καιρικών συνθηκών, που θα μπορούσε να ακυρώσει προγραμματισμένες μετρήσεις.
- Συνεργείο δύο ατόμων αρκεί και για την μεταφορά και εγκατάσταση του εξοπλισμού αλλά και για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.
- Ο χρόνος επεξεργασίας των μετρήσεων με τη χρήση του λογισμικού είναι της τάξης των 10min.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΗ

- Η μέθοδος της αστρογεωδαιτικής χροστάθμησης με τη χρήση του σύγχρονου συστήματος, της νέας μεθοδολογίας αστρογεωδαιτικών παρατηρήσεων, των αστέρων και υπολογισμού των αποτελεσμάτων μπορεί να δώσει άμεσα αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα.
- Η ακρίβεια με την οποία επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των αστρονομικών συντεταγμένων  $\Phi$ ,  $\Lambda$  είναι της τάξης  $\pm 0.01''$  επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της μεταβολής του υψομέτρου του γεωειδούς  $\Delta N$  μεταξύ δύο σημείων με ακρίβεια μερικών mm
- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας επιτρέπει τον υπολογισμό των συνιστωσών της απόκλισης της κατακορύφου και έτσι είναι δυνατή η αναγωγή στο ελλειψοειδές αναφοράς των επίγεια μετρούμενων μεγεθών σε γεωδαιτικά δίκτυα υποδομής.

Η ανάπτυξη του νέου δικτύου μόνιμων σταθμών GPS (HEPOS) στον ελλαδικό χώρο ο οποίος θα αποτελέσει τη βάση αναφοράς για όλες τις τοπογραφικές εργασίες και κυρίως του Εθνικού Κτηματολογίου κάνει επιτακτική την

ανάγκη προσδιορισμού του ακριβούς ορθομετρικού υψομέτρου για τους σταθμούς αυτούς σε ενιαίο σύστημα αναφοράς.

Ο υπολογισμός της μεταβολής του υψομέτρου του γεωειδούς ΔN, επιτρέπει τη μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων  $h$ , που υπολογίζονται μέσω των μετρήσεων GPS σε ορθομετρικά ( $\Delta H = \Delta h + \Delta N$ ) και έτσι είναι δυνατή η σύνδεση σε εθνικό επίπεδο όλων των σημείων του ελλαδικού χώρου (ηπειρωτική και νησιωτική Ελλάδα) σε ένα ενιαίο υψομετρικό σύστημα αναφοράς.

Προτείνεται η εκπόνηση προγράμματος προσδιορισμού των αστρονομικών συντεταγμένων  $\Phi, \Lambda$  σε ένα δίκτυο σημείων σε όλη την Ελλάδα, με τη χρήση του συστήματος και της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε.

Στο δίκτυο αυτό πρέπει να περιλαμβάνονται:

- τα σημεία των μόνιμων σταθμών GPS και
- άλλα σημεία πύκνωσής του όπου αυτό κριθεί απαραίτητο.

Επίσης μπορούν να αξιοποιηθούν στοιχεία παλαιότερων αντίστοιχων εργασιών αφού πρώτα αξιολογηθούν κατάλληλα.

Το τελικό παράγωγο ενός τέτοιου προγράμματος θα είναι:

- a. ο προσδιορισμός των ορθομετρικών υψομέτρων των μόνιμων σταθμών GPS της Ελλάδας και των υπόλοιπων σημείων που θα επιλεγούν σε ενιαίο σύστημα αναφοράς
- b. Η δημιουργία ενός ακριβούς και αξιόπιστου ψηφιακού χάρτη του υψομέτρου του γεωειδούς της Ελλάδας με ακρίβεια της τάξης του  $\pm 1\text{cm}$ .

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Λάμπρου, Ε. (2003), "Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Αστρογεωδαιτικών Προσδιορισμών με Ψηφιακά Γεωδαιτικά Όργανα", Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., ΣΑΤΜ.

Leica Heerbrugg AG, (1997), "Users Manual for TM 5000/TDM 5000 system", V2.2.

Marriott, C. (2003), "Skymap Pro" Version10.

Mueller, I. (1969), "Spherical and practical Astronomy as applied to Geodesy", Frederick Ungar Publishing Co, Inc.

Πανταζής, Γ. (2002), "Διερεύνηση προσανατολισμού μνημείων, με Γεωδαιτικές και Αστρονομικές μεθόδους. Εφαρμογή στα Μετέωρα", Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ.

Trimble Navigation (1990), "Operation Manual Model 4000DL, Differential Locator", Revision A.