Η τριγωνομετρική σύνδεση μεταξύ Ελλάδας και Αιγύπτου: Το μεγάλο γεωδαιτικό όνειρο του Μεσοπολέμου

Χριστόφορος Κωτσάκης και Δημήτρης Αμπατζίδης

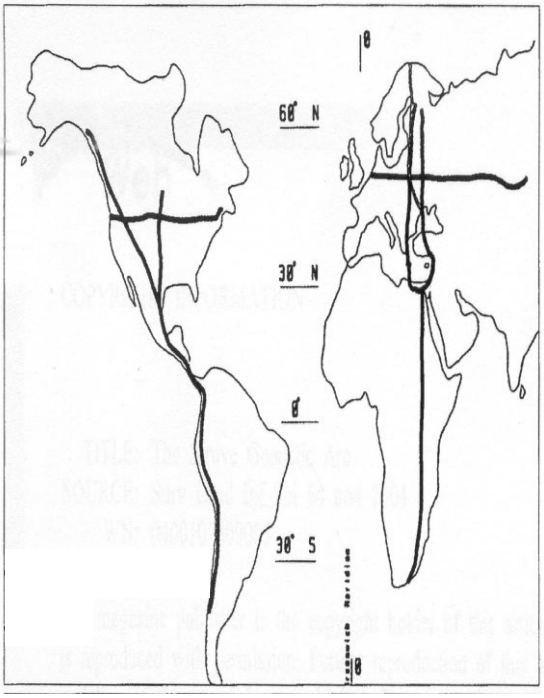
Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και δύσκολα γεωδαιτικά προβλήματα κατά την εποχή του Μεσοπολέμου ήταν η σύνδεση μεταξύ των τριγωνομετρικών δικτύων Ελλάδας και Αιγύπτου. Το φιλόδοξο αυτό σχέδιο θα μπορούσε έμμεσα να υλοποιήσει ένα μεγάλο γεωδαιτικό όνειρο της εποχής: την μέτρηση μήκους τόξου μεσημβρινού που θα εκτείνεται από τη βόρειο Νορβηγία έως και το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας στην Αφρική, η οποία θα μπορούσε να βελτιώσει αισθητά την ακρίβεια εκτίμησης του μεγέθους και σχήματος της Γης. Στη διάλεξη αυτή παρουσιάζονται ορισμένες τεχνικές λεπτομέρειες και ενδιαφέροντα ιστορικά στοιχεία σχετικά με το γεωδαιτικό αυτό πρόβλημα. Δίνεται επίσης μία ανασκόπηση της λύσης γεωδαιτικής σύνδεσης Ελλάδας-Αιγύπτου, μέσω εναέριου φωτο-τριγωνισμού, την οποία πρότεινε το 1930 ο καθηγητής του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου Δ. Λαμπαδάριος κατά την 3η Συνέλευση της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας και Γεωδυναμικής στην Στοκχόλμη.

Λέξεις κλειδιά: Λαμπαδάριος, σύνδεση δικτύων, μεσημβρινά γεωδαιτικά τόξα, Struve Arc.

Εισαγωγή

Ο προσδιορισμός του ακριβούς γεωμετρικού σχήματος της Γης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα έρευνας στην επιστήμη της Γεωδαισίας. Η κλασσική επίλυση αυτού του προβλήματος, η οποία ουσιαστικά οδηγεί σε μία διαδικασία βέλτιστης προσαρμογής κάποιας δισδιάστατης μαθηματικής επιφάνειας (π.χ. σφαίρα, ελλειψοειδές) σε ένα σύνολο διακριτών σημείων του τρισδιάστατου Ευκλείδιου χώρου, βασίζεται στην χρήση μετρήσεων, μετά από κατάλληλες διορθώσεις και αναγωγές, του μήκους τόξων γεωδαιτικών μεσημβρινών και παραλλήλων μεταξύ επιλεγμένων σημείων που υλοποιούνται κατάλληλα στην επιφάνεια της Γης (βλέπε Εικ. 1). Με μια τέτοια μεθοδολογία, για παράδειγμα, ο Ερατοσθένης προσδιόρισε για πρώτη φορά το 230 π.Χ. την ακτίνα της Γης, υπολογίζοντας το μήκος του μεσημβρινού τόξου που συνδέει την Αλεξάνδρεια και την πόλη Ασσουάν στην Αίγυπτο (ίσο περίπου με 7° 12'). Διάφοροι άλλοι επιφανείς επιστήμονες, τόσο στην αρχαιότητα (Ήρων ο Αλεξανδρεύς, Ποσειδώνιος) όσο και κατά τους νεώτερους χρόνους (Snellius, Picard, Maupertuis, Everest), έχουν συνεισφέρει αποτελεσματικά στην επίλυση του θεμελιώδους αυτού γεωδαιτικού προβλήματος, μέσω της εκτέλεσης και επεξεργασίας μετρήσεων γεωδαιτικών τόξων σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μας. Για περισσότερες επιστημονικές πληροφορίες και ιστορικές λεπτομέρειες σχετικά με το πρόβλημα προσδιορισμού του ακριβούς σχήματος και των διαστάσεων της Γης, βλέπε [1, 2].



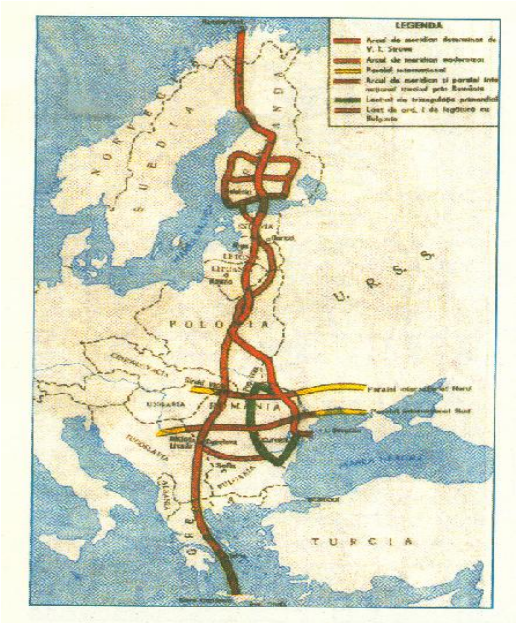
Εικ. 1. Προσδιορισμός του σχήματος της Γης μέσω μετρήσεων μήκους γεωδαιτικών τόξων (στο σχήμα φαίνονται τα γεωδαιτικά τόξα που είχαν παρατηρηθεί με κλασσικές επίγειες μεθόδους έως το 1956).

Έως τις αρχές του εικοστού αιώνα ένας μεγάλος αριθμός γεωδαιτικών αποστολών είχαν ήδη εκτε-

λεστεί σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές της Γης, προκειμένου να επιτευχθεί ο ακριβής προσδιορισμός του μήκους γεωδαιτικών τόξων. Μεταξύ άλλων αξίζει να αναφέρουμε την μέτρηση μεσημβρινού τόξου στην Γαλλία την περίοδο 1795-1798 (στα αποτελέσματα της οποίας βασίστηκε ο πρώτος επίσημος ορισμός του *μέτρου* ως μονάδα μέτρησης του μήκους), την μέτρηση μεσημβρινού τόξου στο Περού από επιστήμονες της Γαλλικής Ακαδημίας Επιστημών την περίοδο 1736-1744, την μέτρηση του μεσημβρινού τόξου κατά μήκος των συνόρων Φινλανδίας και Σουηδίας το 1737, την μέτρηση του μεσημβρινού τόξου που εκτείνεται από το Βόρειο Ακρωτήριο στη Νορβηγία μέχρι την πόλη Ισμαήλ στην Μαύρη Θάλασσα την περίοδο 1816-1852, την μέτρηση του μεσημβρινού τόξου που εκτείνεται από την Σρι-Λάνκα έως τους πρόποδες των Ιμαλαΐων την περίοδο 1800-1840, καθώς και την μέτρηση του μεσημβρινού τόξου των 30°Ε κατά μήκος της Αφρικανικής Ηπείρου που χρειάστηκε 75 ολόκληρα χρόνια για να ολοκληρωθεί (1879-1954).

Οι πολύτιμες εμπειρίες που συσσωρεύτηκαν από όλες αυτές τις γεωδαιτικές αποστολές, σε συνδυασμό με τους τεχνολογικούς περιορισμούς και τις γενικότερες οικονομικές συνθήκες που επικρατούσαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, είχαν κάνει άμεσα αντιληπτή και επιτακτική την ανάγκη για στενή διεθνή συνεργασία μεταξύ των διαφόρων χωρών προκειμένου να επιτευχθεί μία ολοκληρωμένη επίλυση του προβλήματος του ακριβούς προσδιορισμού του σχήματος/μεγέθους της Γης. Έτσι λοιπόν η Διεθνής Ένωση Γεωδαισίας (η οποία είχε ήδη ιδρυθεί από το 1886 με πρώτο διευθυντή της τον διάσημο Γερμανό γεωδαίτη F.R. Helmert), κατά την διάρκεια της 1^{ης} Παγκόσμιας Συνδιάσκεψης της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας και Γεωφυσικής το 1922 στη Ρώμη, πήρε την απόφαση να δημιουργήσει μία ξεχωριστή επιτροπή για την μελέτη και επίβλεψη ενός φιλόδοξου επιστημονικού σχεδίου. Ο στόχος του σχεδίου αυτού ήταν ο ακριβής προσδιορισμός του μήκους του γεωδαιτικού μεσημβρινού που εκτείνεται από τον Βόρειο Παγωμένο Ωκεανό ως το ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας στην Ν. Αφρική.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις αρχές του εικοστού αιώνα είχαν (σχεδόν) ολοκληρωθεί οι μετρήσεις δύο μεγάλων ανεξάρτητων γεωδαιτικών τόξων, το καθένα από τα οποία κάλυπταν ξεχωριστά ολόκληρο το μεσημβρινό εύρος της Ευρώπης και της Αφρικής, αντίστοιχα (βλέπε Εικ. 2 και 3). Στους πίνακες 1 και 2 δίνονται μερικά χαρακτηριστικά στοιχεία για την περιγραφή των γεωδαιτικών αυτών τόξων. Για περισσότερες πληροφορίες, βλέπε [4, 5].



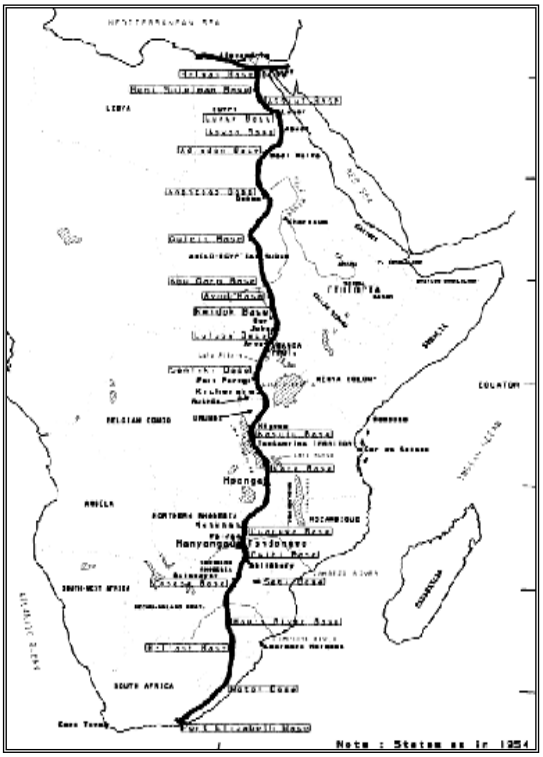
Εικ. 2. Το μεσημβρινό γεωδαιτικό τόξο του Struve στον Ευρωπαικό χώρο. Αξίζει να σημειωθεί πως το τόξο του Struve χαρακτηρίστηκε από την UNESCO ως μνημείο παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς το 2005.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά στοιχεία για το γεωδαιτικό τόξο του του Struve.

Βόρειο άκρο	Fuglenaes 70° 40' 11" N 23° 38' 48" E
Νότιο άκρο	Staro-Nekrassowka 45° 20' 03" N 28° 55' 40" E
Εύρος Πλάτους	25° 20' 8"
Μήκος	2822 km
Χώρες	10
Αρ. Σημείων	265
Αστρ. Σταθμοί	13
Περίοδος μετρήσεων	1816-1852

Η λήψη της απόφασης για την δημιουργία της προαναφερθείσης ειδικής γεωδαιτικής επιτροπής το 1922 βασίστηκε στο σκεπτικό ότι η μέτρηση ενός γεωδαιτικού τόξου «παγκόσμιας κλίμακας», το οποίο θα καλύπτει σχεδόν όλες τις ζώνες γεωγραφικού πλάτους πάνω στη Γη, θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της εκτίμησης των γεωμετρικών διαστάσεων και του σχήματος του πλανήτη μας. Στην συγκεκριμένη επιτροπή (η οποία αρχικά είχε μόνο προσωρινό χαρακτήρα, αλλά ύστερα μετατράπηκε σε μόνιμη επιτροπή κατά την 2^{η} Παγκόσμια Συνδιάσκεψη της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας και Γεωφυσικής το 1924 στην Μαδρίτη) συμμετείχαν επιστήμονες που εκπροσωπούσαν

όλες τις χώρες διέλευσης του μεσημβρινού τόξου που φαίνεται στην Εικ. 2. Την Ελλάδα εκπροσωπούσε ο καθηγητής της Ανώτατης Σχολής Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου, κ. Δημήτριος Λαμπαδάριος (βλέπε Εικ. 4).



Εικ. 3. Το μεσημβρινό γεωδαιτικό τόξο των 30° Ε, το οποίο κάλυπτε το σύνολο της Αφρικανικής ηπείρου.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά στοιχεία για το μεσημβρινό γεωδαιτικό τόξο 30° Ε.

Βόρειο άκρο	F-1 NE of Cairo 30° 01' 43² N 31° 16' 34² E
Νότιο άκρο	Buffelsfontein 33° 59' 32² S 25° 30' 43² E
Εύρος Πλάτους	64° 01' 15″
Μήκος	7120 km
Χώρες	11
Αρ. Σημείων	608
Αστρ. Σταθμοί	42
Περίοδος μετρήσεων	1879-1954

Εικ. 4. Δημήτριος Λαμπαδάριος: διετέλεσε καθηγητής στη Ανωτάτη Σχολή Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), πρύτανης του ΕΜΠ κατά την διάρκεια 1929-1933, διευθυντής στην Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Συγκοινωνιών, γ.γ. και αντιπρόεδρος της Γεωδαιτικής Επιτροπής του Κράτους, και μέλος της Ακαδημίας Αθηνών στην έδρα της Γεωδαισίας.

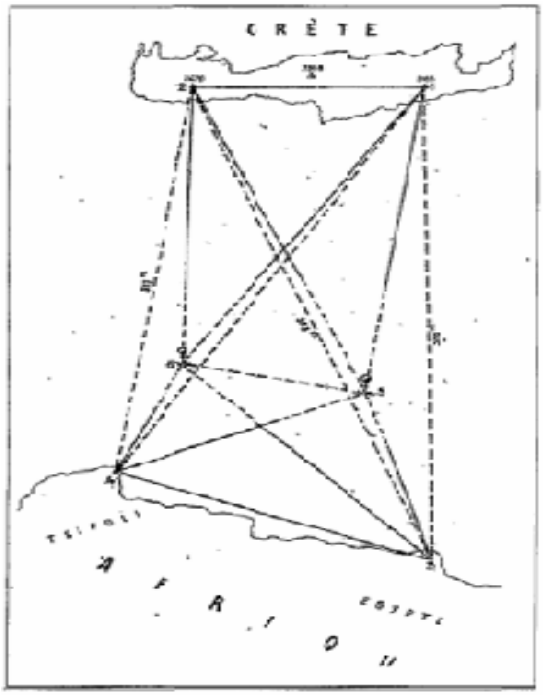
Δεδομένου ότι το 1922 η μέτρηση μήκους τόξων γεωδαιτικών μεσημβρινών είχε ήδη προχωρήσει σε σημαντικό βαθμό, τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αφρική, το σπουδαιότερο ίσως πρόβλημα (από επιστημονικής τουλάχιστον πλευράς) που είχε να αντιμετωπίσει η προαναφερθείσα επιτροπή της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας ήταν η σύνδεση των τριγωνομετρικών δικτύων Ελλάδας και Αιγύπτου.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να δώσει ορισμένες τεχνικές λεπτομέρειες και ιστορικά στοιχεία σχετικά με αυτό το γεωδαιτικό πρόβλημα, καθώς και να παρουσιάσει μία ανασκόπηση της λύσης σύνδεσης που πρότεινε ο καθηγητής Λαμπαδάριος με την μέθοδο του εναέριου φωτοτριγωνισμού [3].

Η γεωδαιτική σύνδεση Ελλάδας και Αιγύπτου

Στη διάρκεια του πρώτου μισού του εικοστού αιώνα (προ-διαστημική εποχή της γεωδαισίας), η σύνδεση των τριγωνομετρικών δικτύων Ελλάδας και Αιγύπτου δεν μπορούσε να επιτευχθεί με άμεσες επίγειες παρατηρήσεις, λόγω της έλλειψης αμοιβαίας ορατότητας των σημείων στάσης που βρίσκονται στην Αίγυπτο και στην Κρήτη. Αν θεωρήσουμε ότι το μέγιστο υψόμετρο των σημείων στάσης στην Κρήτη είναι περίπου 2470m και δεδομέ-

νου ότι η μέση απόσταση μεταξύ Κρήτης και Αφρικής είναι γύρω στα 393km, τότε για να είναι ορατά τα αντίστοιχα σημεία στην Αίγυπτο θα πρέπει να έχουν ένα μέσο υψόμετρο της τάξης των 2500m εξ'αιτίας της καμπυλότητας της Γης. Αυτό βέβαια είναι αδύνατο αφού το βόρειο άκρο της Αιγύπτου είναι σχεδόν επίπεδο, με υψόμετρα που δεν υπερβαίνουν τα 200m.



Εικ. 5. Σχέδιο για τη γεωδαιτική σύνδεση Ελλάδας και Αφρικής μέσω παρατηρήσεων από ενδιάμεσους θαλάσσιους ή εναέριους σταθμούς.

Για την επίτευξη της γεωδαιτικής σύνδεσης Ελλάδας και Αιγύπτου προτάθηκε αρχικά (γύρω στο 1923) η σύνδεση μέσω φωτογράφησης στόχων που υλοποιούνται σε ενδιάμεσα σημεία μεταξύ Κρήτης και Αφρικής. Οι στόχοι θα υλοποιούνταν μέσω εκλάμψεων σε ορισμένο ύψος, είτε από αερόστατα εκτοξευόμενα από πλοία, είτε από αεροπλάνα (η τεχνική αυτή είναι γνωστή και ως *flare triangulation*). Αν θεωρήσουμε ότι οι σταθμοί στην Αφρική βρίσκονται σε ένα μέσο υψόμετρο 100m, η θέση του πλοίου θα πρέπει να ήταν 117km βόρεια της Αφρικής ενώ στην περίπτωση χρήσης αερόστατου το ύψος πτήσης του θα ήταν γύρω στα 530m προκειμένου να εξασφαλιστεί η αμοιβαία ορατότητα (Εικ. 5). Η επιτυχία μιας τέτοιας προσπάθειας θα απαιτούσε εξαιρετικά ακριβή συντονισμό ενεργειών σε τρεις διαφορετικές περιοχές (σημεία στάσης στην Κρήτη, σημεία στάσης στην Βορ. Αφρική, σημεία εκλάμψεων στο πλοίο ή αερόστατο). Επίσης, η ακρίβεια της μεθόδου (για τα δεδομένα και τις απαιτήσεις της εποχής) δεν θα ήταν ιδιαίτερα καλή, αν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι θα έπρεπε να παρατηρηθούν στόχοι που δεν θα βρίσκονταν σε σταθερά μόνιμη βάση. Ένας ακόμη κίνδυνος για την αδυναμία της επιτυχούς υλοποίησης της μεθόδου ήταν η δυσκολία εξασφάλισης επαρκούς φωτεινότητας των ενδιάμεσων στόχων. Για τους παραπάνω λόγους, η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόστηκε ποτέ για την γεωδαιτική σύνδεση Ελλάδας και Αιγύπτου.

Μια άλλη ¨εύκολη¨ λύση του προβλήματος θα ήταν μια σύνδεση διαμέσου της διαδρομής Αιγύπτου-Παλαιστίνης-Λιβάνου-Συρίας-Μ. Ασίας-Ελλάδας. Ο F.G.W. Struve μάλιστα είχε ήδη σχεδιάσει από το 1868 εργασίες τριγωνισμού για τη σύνδεση του μεσημβρινού τόξου του Struve με την Κω, διαμέσου γεωδαιτικών μετρήσεων που θα εκτελούνταν στην Ρουμανία, Βουλγαρία, Ελλάδα και Τουρκία. Όμως η Διεθνής Ένωση Γεωδαισίας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για την σύνδεση του μεσημβρινού τόξου του Struve (Εικ. 2) με το μεσημβρινό τόξο των 30°Ε στην Αφρική (Εικ. 3) θα ήταν προτιμότερο να διατηρηθεί η ιστορική φορά των δύο αρχικών τόξων σε Ευρώπη και Αφρική, και έτσι η σύνδεση θα έπρεπε αναγκαστικά να γίνει διαμέσου της Μεσογείου Θάλασσας (IUGG, Πράγα 1927). Εξ' άλλου ο γ.γ. της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας (στρατηγός G. Perrier, 1920-1946), αναγνωρίζοντας την δυσκολία του προβλήματος, υποστήριξε ότι η Ελλάδα και η Αίγυπτος πρέπει να συνεργαστούν, με την υποστήριξη της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας, προκειμένου να επιτευχθεί η άμεση σύνδεση των τριγωνομετρικών τους δικτύων (IUGG, Πράγα 1927).

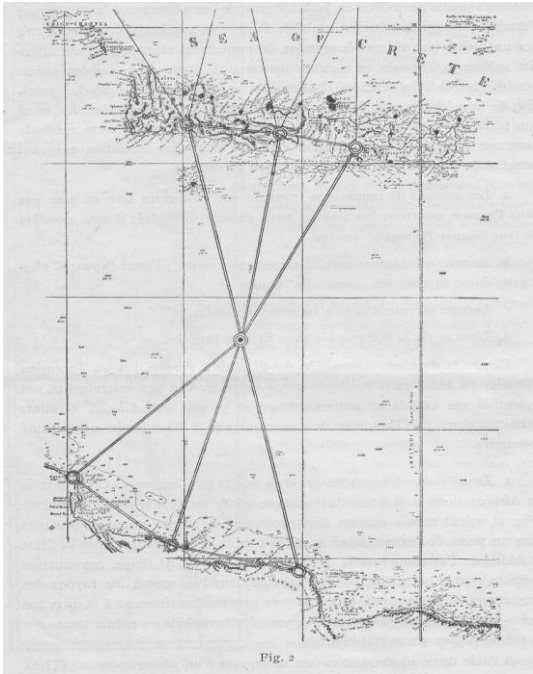
Ο καθηγητής του ΕΜΠ Δ. Λαμπαδάριος, κατά την διάρκεια της 4^{ης} συνδιάσκεψης της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας και Γεωφυσικής στην Στοκχόλμη το 1930, πρότεινε την τριγωνομετρική επίλυση του προβλήματος σύνδεσης των γεωδαιτικών δικτύων Ελλάδας και Αιγύπτου μέσω φωτογραμμετρικών μετρήσεων [3], όπου όλα τα σημεία σύνδεσης εμφανίζονται σε μία ή περισσότερες αεροφωτογραφίες που λαμβάνονται από ενδιάμεσα σημεία (βλέπε Εικ. 6). Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε από τον Λαμπαδάριο ¨εναέριος φωτο-τριγωνισμός¨ (*Phototriangulation Aérienne*).

Πιο αναλυτικά, η μέθοδος όπως προτάθηκε από τον Λαμπαδάριο είχε την εξής λογική:

- *Υλοποίηση 3 σημείων σύνδεσης στην περιοχή της Κρήτης και 3 σημείων σύνδεσης στην Βόρε-*

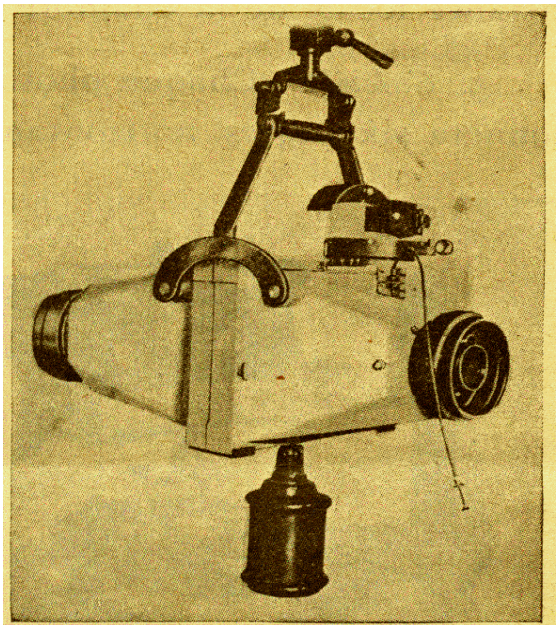
ιο Αφρική των οποίων οι θέσεις θα είναι απολύτως γνωστές.

- *Σε κάθε ένα από τα έξι σημεία σύνδεσης, θα υπάρχει ένας ηλεκτρικός προβολέας, που θα προσανατολίζεται (προσεγγιστικά) σε ένα ενδιάμεσο κεντρικό σημείο το οποίο θα βρίσκεται στην θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου.*
- *Όλα τα σημεία σύνδεσης θα φωτογραφίζονται ταυτόχρονα από μία διπλή μετρική κάμερα (Εικ. 7) έτσι ώστε να εμφανίζονται στην ίδια φωτογραφική πλάκα.*
- *Οι φωτογραφήσεις θα εκτελούνται από αεροπλάνο το οποίο θα πετάει κάθετα στην διεύθυνση της ορθογώνιας απόστασης Κρήτης και Αφρικής.*



Εικ. 6. Η τριγωνομετρική σύνδεση Ελλάδας - Αιγύπτου μέσω εναέριου φωτο-τριγωνισμού, σύμφωνα με την προτεινόμενη μέθοδο του Λαμπαδαρίου.

Με τη βοήθεια ενός οργάνου που ονομάζεται *φωτογωνιόμετρο* (βλέπε Εικ. 8) μετρούνται πάνω στις φωτογραφίες οι οριζόντιες γωνίες που υλοποιούν οι διευθύνσεις σκόπευσης προς τα διάφορα σημεία. Από τις γνωστές συντεταγμένες των σημείων της Κρήτης και τις τιμές των παρατηρηθέντων γωνιών, υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων στην Αίγυπτο. Επίσης δίνεται η δυνατότητα χρήσης περισσοτέρων φωτογραφιών για την επίλυση του προβλήματος μέσω της εφαρμογής της μεθόδου των Ελαχίστων Τετραγώνων.



Εικ. 7. Η διπλή φωτογραφική κάμερα για την εφαρμογή της μεθόδου εναέριου φωτο-τριγωνισμού του Λαμπαδαρίου.

Παρακάτω παρατίθενται τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου του Λαμπαδάριου σε σχέση με τις άλλες προτεινόμενες μεθόδους για την γεωδαιτική σύνδεση Ελλάδας και Αιγύπτου.

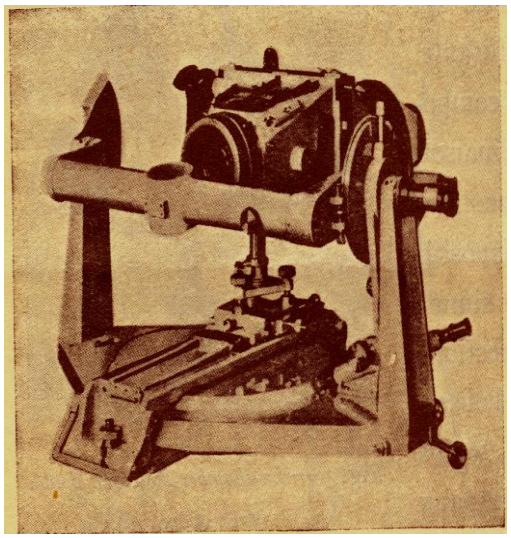
- Οι φωτεινοί στόχοι βρίσκονται σε σταθερά σημεία του εδάφους και όχι "στον αέρα", εκμηδενίζοντας έτσι τον κίνδυνο αποτυχίας λόγω ανεπαρκούς φωτεινότητας των στόχων.
- Δεν είναι απαραίτητη η χρήση τηλέγραφου για τον συντονισμό των ομάδων εργασίας στην Κρήτη και στην Αίγυπτο.
- Δεν είναι απαραίτητος ο ακριβής προσανατολισμός τόσο της φωτογραφικής κάμερας όσο και των φωτεινών προβολέων.

Η φωτογραφική κάμερα για την υλοποίηση της μεθόδου του Λαμπαδαρίου

Είναι μια διπλή κάμερα με δυνατότητα αποτύπωσης των φωτογραφιών στην ίδια πλάκα (4-5 mm) και δυνατότητας συγχρονισμένων λήψεων μέσω ενός κεντρικού μηχανισμού. Αποτελείται από πανομοιότυπα συστήματα φακών (εστιακή απόσταση 33 cm, aperture 1:4.5) και ένα σύστημα πρισμάτων με άξονα στρέψης και δυνατότητα προσδιορισμού της κλίσης.

Το φωτογωνιόμετρο

Είναι μια συσκευή γρήγορης και ακριβούς μέτρησης γωνιών "οπτικού πεδίου" πάνω σε φωτογραφίες. Δίνεται η δυνατότητα διόρθωσης λόγω παραμόρφωσης φακού. Αποτελείται από δύο μικρομετρικά μικροσκόπια διακριτικής ικανότητας 1″.



Εικ. 8. Το φωτογωνιόμετρο για την εφαρμογή της μεθόδου εναέριου φωτοτριγωνισμού του Λαμπαδαρίου.

Η ακρίβεια της μεθόδου σύνδεσης του Λαμπαδάριου

Ο Λαμπαδάριος στην πρόταση που καταθέτει [3], αναφέρει και την ακρίβεια της μεθόδου και των οργάνων που χρησιμοποιούνται. Πιο συγκεκριμένα:

- *Η ακρίβεια σημειακού προσδιορισμού στο επίπεδο της φωτογραφίας είναι της τάξης ± 0.01 mm.*
- *Το σφάλμα του φωτογωνιομέτρου αγγίζει το ±1″.*
- *Το σφάλμα προσδιορισμού για μεμονωμένη διεύθυνση σκόπευσης φτάνει τα ±7″ (f=33cm).*

Με την ανάλυση περισσοτέρων φωτογραφιών, με ταυτόχρονη εφαρμογή της μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων όπως αναφέρθηκε, η μέθοδος του Λαμπαδάριου θα ήταν δυνατό να οδηγήσει σε υψηλής ακρίβειας (για τα δεδομένα της εποχής) αποτελέσματα.

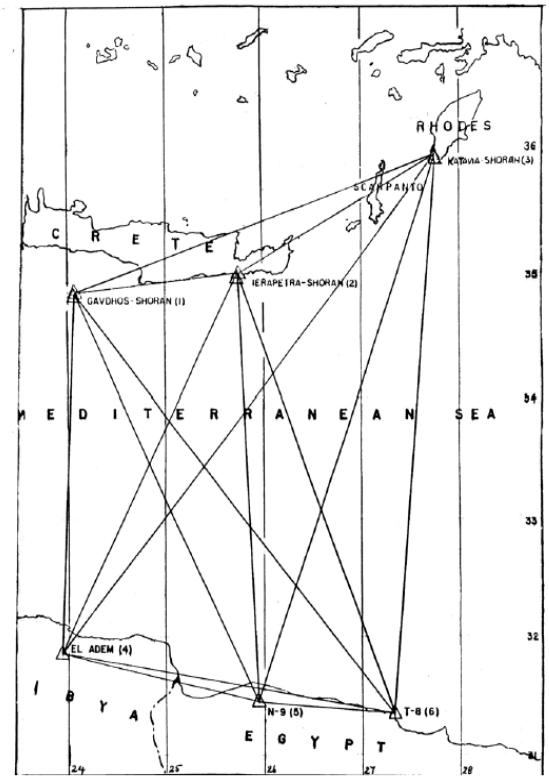
Η αποδοχή της μεθόδου του Λαμπαδάριου

Κατά την διάρκεια της 4ης Παγκόσμιας Διάσκεψης της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας και Γεωφυσικής στη Στοκχόλμη (συνεδρία της 23 Αυγούστου 1930) αποφασίστηκαν τα εξής:

I. η μέθοδος του Δ. Λαμπαδαρίου κηρύχτηκε ομόφωνα ως **"ιδιαιτέρου ενδιαφέροντος"** και ικανή να επιλύσει το πρόβλημα της γεωδαιτικής σύνδεσης Ευρώπης και Αφρικής.

II. εκδόθηκε επίσημη απόφαση με την οποία η Διεθνής Ένωση Γεωδαισίας και Γεωφυσικής καλούσε την Ελληνική κυβέρνηση να προσφέρει τα απαραίτητα μέσα για την πραγματοποίηση της μεθόδου.

Λόγω της συνεχούς πολιτικής αστάθειας στην Ελλάδα (διαδοχικά πραξικοπήματα και δικτατορία), της γενικότερης ύφεσης (οικονομική κατάρευση του 1931 και 1932) αλλά και της έναρξης του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, η πρόταση του καθηγητή Λαμπαδάριου έμεινε τελικά ανεφάρμοστη.



Εικ. 9. Η σύνδεση των τριγωνομετρικων δικτύων Ελλάδας και Αιγύπτου μέσω του συστήματος SHORAN.

Η τελική σύνδεση

Η γεωδαιτική σύνδεση μεταξύ Ελλάδας και Αιγύπτου επιτεύχθηκε τελικά το 1953 με τη συνεργασία των U.S. Army Map Service, της Γεωγραφι-

κής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) και της Αιγυπτιακής Τοπογραφικής Υπηρεσίας. Η σύνδεση των τριγωνομετρικών δικτύων πραγματοποιήθηκε με το σύστημα *SHORAN* (Short Range Navigation), που είναι μία μέθοδος ηλεκτρονικής μέτρησης αποστάσεων με τη χρήση ραδιοσημάτων και εναέριων radar. Στις εργασίες σύνδεσης χρησιμοποιήθηκαν τρία σημεία στην Ελλάδα, δύο σημεία στην Αίγυπτο, ένα σημείο στην Λιβύη (βλέπε Εικ. 9). Η ακρίβεια της μεθόδου ήταν της τάξης του 10^{-5} για αποστάσεις μέχρι και 1000 km.

Το 1957 εκτοξεύτηκε από του Σοβιετικούς ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος (Σπούτνικ Ι) και με τον τρόπο αυτό εγκαινιάστηκε η εποχή της Δορυφορικής (ή Διαστημικής) Γεωδαισίας. Η εξέλιξη αυτή, επέτρεψε την ίδρυση παγκοσμίων γεωδαιτικών δικτύων υψηλής ακρίβειας, για την σύνδεση των οποίων δεν ήταν απαραίτητες πια οι κλασσικές επίγειες γεωδαιτικές παρατηρήσεις. Επομένως πλέον η μέτρηση γεωδαιτικών τόξων μεσημβρινών, απέκτησε ιστορική και μόνο αξία, χωρίς βέβαια να παραγνωρίζουμε την σημαντικότατη συμβολή τους στην ιστορική εξέλιξη της Γεωδαισίας.

Βιβλιογραφία

[1] Greenberg, J.L. (1995) *The Problem of the Earth's Shape from Newton to Clairaut*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

[2] Smith, J.R. (1986) *From Plane to Spheroid - Determining the figure of the Earth from 3000 BC to the 18th century Lapland and Peruvian survey expeditions*. Landmark Enteprises, San Diego, California.

[3] Lampadarios, D. (1931) La phototriangulation aérienne entre la Crète et l'Egypte. *Comptes-rendus de l'Académie d'Athènes*, pp. 204-210.

[4] Smith, J.R. (2004) The Arc of the 30th Meridian. *Surveying and Land Information Science*, vol. 64, no. 3, pp. 201-208.

[5] Smith, J.R. (2004) The Struve Geodetic Arc and its possible connections to the Arc of the 30th Meridian in Africa. Paper presented at the workshop on "History of Surveying and Measurement", *FIG Working Week*, May 22-27, 2004, Athens, Greece.

[6] Athanassiadis, G. and Lampadarios, D. (1927) *Rapport sur les travaux exécutes en Grèce*. Greek National Report, IUGG General Assembly, Prague, Czech Republic.