



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΛΑΣΙΚΗΣ ΜΑΡΑΘΩΝΙΑΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

2500th Anniversary

ATHENS MARATHON

490 B.C. - 2010 A.D.



ΙΝΩ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΗ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

Αντί Προλόγου

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου αναθέτοντάς μου την παρούσα Διπλωματική Εργασία, την καθοδήγηση και τις γνώσεις που απλόχερα μου μεταλαμπάδευσε και την άμεση και ουσιαστική συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια των δύο τελευταίων ετών.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Χαράλαμπο Ιωαννίδη για τις συνεχείς, εύστοχες υποδείξεις, παρατηρήσεις και ιδέες του καθώς και για την πολύωρη παρουσία του στο εργαστήριο, η οποία υπήρξε πολύτιμη.

Δευτερευόντως ευχαριστώ θερμά τις κ.κ. Σοφία Σοϊλέ, Σεβαστή Ταπεινάκη για τις τεχνικές γνώσεις, τον χρόνο που αφιέρωσαν, την άριστη συνεργασία, και την αμέριστη συμπαράσταση.

Τον κ. Δημήτριο Δελικαράογλου για τη γενικότερη συνεργασία και την άμεση εύρεση των δεδομένων (αρχεία ginex) που μου ήταν απαραίτητα.

Τον κ. Γεώργιο Δούση για τις πολύτιμες πληροφορίες όσο αναφορά τη λεπτομερή περιγραφή του συμβατικού τρόπου μέτρησης των Μαραθώνιων Διαδρομών και για τα αρχεία και το χρόνο που μου διέθεσε.

Τέλος όλους τους συμφοιτητές και φίλους για τις εποικοδομητικές συζητήσεις και την ανιδιοτελή υποστήριξη.

Αθήνα Μάρτιος 2010,
Ινώ Παπαγεωργάκη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Αντί Προλόγου	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	III
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	V
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	VII
Περίληψη	IX
Abstract	IX
Εισαγωγή.....	XI
Κεφάλαιο 1.....	1
1.1 Ιστορικά Στοιχεία.....	3
1.2 Εισαγωγή του Μαραθώνιου Δρόμου στα Ολυμπιακά Αγώνισματα.	4
1.3 Απαιτήσεις και θεμελιώδεις προδιαγραφές κατά τη διαδικασία της μέτρησης ενός Μαραθώνιου δρόμου	5
1.4 Αποδεκτή μέθοδος μέτρησης Αγώνων Δρόμου και Μαραθωνίων ..	7
1.4.1 Συμβατική μέθοδος του βαθμονομημένου ποδηλάτου	7
1.4.1.1 Η επιλογή και μέτρηση της περιοχής βαθμονόμησης.....	8
1.4.1.2 Βαθμονόμηση ποδηλάτου	10
1.4.1.3 Μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής.....	11
1.4.1.4 Επαναβαθμονόμηση ποδηλάτου στην περιοχή βαθμονόμησης	12
1.4.1.5 Υπολογισμός του μήκους της αγωνιστικής διαδρομής	12
1.4.1.6 Εφαρμογή τελικών προσαρμογών στην αγωνιστική διαδρομή.....	12
1.4.1.7 Τεκμηρίωση της μέτρησης	13
1.4.1.8 Παραλλαγή της συμβατικής μεθόδου μέτρησης	14
1.5 Άλλες Προταθείσες Μέθοδοι Μέτρησης	16
1.5.1 Πειραματικός τρόπος μέτρησης μαραθώνιων αποστάσεων με την χρήση του DGPS	16
1.5.2 Εξελιγμένες τοπογραφικές τεχνικές για τη Μέτρηση της Μαραθώνιας Διαδρομής	18
1.5.2.1 Μέτρηση τμήματος με τη συμβατική μέθοδο	18
1.5.2.2 Κλασική τοπογραφική μέθοδος	19

1.5.2.3 Μέθοδος μέτρησης με την χρήση επίγειου σαρωτή Laser (Terrestrial Laser Scanner)	20
1.5.3 Φωτογραμμετρική μέθοδος	23
Κεφάλαιο 2.....	25
2.1 Περιγραφή Δεδομένων	27
2.2 Σάρωση αεροφωτογραφιών	28
2.3 Προσδιορισμός Φωτοσταθερών.....	33
2.4 Μέτρηση των φωτοσταθερών.....	34
2.4.1 Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS).....	34
2.4.1.1 Οι παρατηρήσεις του συστήματος GPS	35
2.4.1.2 Τα σφάλματα του συστήματος GPS.....	36
2.4.1.3 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης.....	36
2.4.2 Μετρήσεις Υπαίθρου	36
2.4.3 Εργασίες Γραφείου.....	39
2.5 Αποκατάσταση Προσανατολισμών	43
2.5.1 Αποκατάσταση εσωτερικού προσανατολισμού.....	43
2.5.2 Αποκατάσταση εξωτερικού προσανατολισμού	44
2.6 Φωτογραμμετρική Συνόρθωση.....	45
2.7 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους – Σύνταξη Ορθοφωτογραφίας	47
2.7.1 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	47
2.7.2 Σύνταξη Ορθοφωτογραφίας	49
2.8 Δημιουργία Μηκοτομής	52
Κεφάλαιο 3.....	57
3.1 Αξιολόγηση Φωτογραμμετρικής Μεθοδολογίας.....	59
3.2 Σύγκριση με την συμβατική μέθοδο	66
3.3 Συμπεράσματα – Προτάσεις	68
Βιβλιογραφία	71
Ελληνική Βιβλιογραφία:	73
Ξένα Βιβλιογραφία:.....	73

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ημεροδρόμος	3
Εικόνα 2. Η συντομότερη πιθανή διαδρομή στις περιπτώσεις όπου: (αριστερά) μόνο η δεξιά πλευρά του δρόμου είναι διαθέσιμη στους αθλητές, (δεξιά) όλο το πλάτος του δρόμου είναι στη διάθεση των αθλητών.	6
Εικόνα 3. Ανάγνωση ένδειξης του μετρητή Jones	9
Εικόνα 4. Διάφορα μοντέλα του μετρητή Jones (Jones Counter)	10
Εικόνα 5. Συντομότερη πιθανή διαδρομή όταν i) είναι διαθέσιμο όλο το πλάτος του δρόμου ii) είναι διαθέσιμη η δεξιά λωρίδα του δρόμου, οπότε η συντομότερη πιθανή διαδρομή ακολουθεί τον άξονα του δρόμου iii) η συντομότερη πιθανή διαδρομή ακολουθεί τα τεχνητά εμπόδια.....	11
Εικόνα 6. Λεπτομέρεια γενικού Χάρτη – Τεκμηρίωση αλλαγής στην αγωνιστική διαδρομή.	13
Εικόνα 7. Γενικός χάρτης Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής.....	14
Εικόνα 8. Η διαδρομή του Μαραθώνιου δρόμου, Σεούλ 1988.....	15
Εικόνα 9. Αεροφωτογραφία της Πανεπιστημιούπολης Curtin, Perth, Australia.	16
Εικόνα 10. Η γραμμή βάσης εκτίνεται βόρεια σε μήκος 1Km.	16
Εικόνα 11. Τμήμα διαδρομής που παρεκκλίνει από το κράσπεδο μέσω μιας διασταύρωσης κυκλικής κυκλοφορίας.	17
Εικόνα 12. Επίγειος Σαρωτής Laser Riegl LMS-Z360.....	20
Εικόνα 13. Η συντομότερη πιθανή διαδρομή όπως προέκυψε από την τοπογραφική αποτύπωση (διακεκομμένη) και από τη ψηφιοποίηση πάνω στο αρχείο της σάρωσης (συνεχόμενη γραμμή).	22
Εικόνα 14. Προσδιορισμός των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων X, Y από την ορθοφωτογραφία και της υψομετρικής συντεταγμένης Z μετά από παρεμβολή στο DTM.	24
Εικόνα 15. Scanner CR4 της Z/I.....	28
Εικόνα 16. Παράμετροι σάρωσης, 1η καρτέλα.	30
Εικόνα 17. Παράμετροι σάρωσης, 2η καρτέλα.	32
Εικόνα 18. Παράμετροι σάρωσης, 3η καρτέλα.	33
Εικόνα 19. Οι μέγιστες βάσεις που μετρήθηκαν από την 1η θέση (ΕΜΠ) του δέκτη Β.	38
Εικόνα 20. Οι μέγιστες βάσεις που μετρήθηκαν από την 2η θέση (ΓΥΣ) του δέκτη Β.	38

Εικόνα 22. Τα φ/σ που έχουν χρησιμοποιηθεί στην επίλυση του αεροτριγωνισμού κατά μήκος του block των α/φ παρουσιάζονται με κόκκινο τρίγωνο.	42
Εικόνα 21. Η κατανομή του συνόλου των φ/σ κατά μήκος του block των α/φ.	42
Εικόνα 23: Η αρίθμηση των εικονοσημάτων	43
Εικόνα 24. Η κατανομή των σημείων σύνδεσης στο block.	45
Εικόνα 25. Επίλυση Λωρίδα 14 α/φ με 10 φ/σ.	46
Εικόνα 26. Επίλυση 10 λωρίδων με 16 φ/σ.....	47
Εικόνα 27. Τρισδιάστατη κατανομή σημείων	49
Εικόνα 28. Δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων, Στάδιο Μαραθώνα	49
Εικόνα 29. Τρισδιάστατη κατανομή σημείων	49
Εικόνα 30. Δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων, Καλλιμάρμαρο Στάδιο.....	49
Εικόνα 31. Ορθοφωτοχάρτης Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Πινακίδα 1.	50
Εικόνα 32. Ορθοφωτοχάρτης Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Πινακίδα 29.	51
Εικόνα 33. Μηκοτομή Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Σχέδιο M1.....	54
Εικόνα 34. Μηκοτομή Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Σχέδιο M2.....	55
Εικόνα 35. Μηκοτομή Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Σχέδιο M3.....	56
Εικόνα 36. Οι τιμές Transmissivity είναι 0,007 και 0,5.	60
Εικόνα 37. Οι τιμές Transmissivity είναι 0,005 και 0,4.	60
Εικόνα 38. Δέκατο χιλιόμετρο, εξασφάλιση σημείου (Grall, J., 2008).	61
Εικόνα 39. Τέσσερα σημεία που στοχεύθηκαν 20 φορές το καθένα για τον προσδιορισμό της ακρίβειας απόδοσης της φωτογραμμετρικής διαδικασίας.	64

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των φ/σ σε ΕΓΣΑ'87, γεωμετρικά υψόμετρα.	40
Πίνακας 2. Ακρίβειες προσδιορισμού Φ/Σ με το σύστημα GPS.....	41
Πίνακας 3. Τα στοιχεία Βαθμονόμησης της φωτομηχανής.	43
Πίνακας 4. Χ.Θ. μηκοτομής στις οποίες έχει τοποθετηθεί Ορίζοντας.	52
Πίνακας 5: Έλεγχος των αποστάσεων μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων.	62
Πίνακας 6. Ακρίβεια Φωτογραμμετρικής Απόδοσης Σημείων (διαστάσεις σε μέτρα)	65

Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετάται ένας εναλλακτικός τρόπος μέτρησης του μήκους της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής με φωτογραμμετρική μεθοδολογία. Η διαδρομή αποδίδεται σε στερεοσκοπικό περιβάλλον, επομένως η μέτρηση αντιστοιχεί σε μέτρηση του μήκους της στον τρισδιάστατο χώρο. Η υψομετρική πληροφορία που είναι διαθέσιμη μετά τη φωτογραμμετρική διαδικασία της απόδοσης της Διαδρομής παρουσιάζεται στο σχέδιο της μηκοτομής, κλίμακας 1:5.000. Το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας, βήματος 5m καθώς και ο ορθοφωτοχάρτης, κλίμακας 1:2.000 της ευρύτερης περιοχής, πλάτους 100m εκατέρωθεν της διαδρομής αποτελούν επιπρόσθετα παράγωγα προϊόντα της Φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Τέλος στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αξιολογείται η Φωτογραμμετρική μέθοδος, συγκρίνεται με τη συμβατική μέθοδο του βαθμονομημένου ποδηλάτου, εξάγονται συμπεράσματα και διατυπώνονται προτάσεις.

Abstract

In this diploma thesis an alternative method for measuring the Classic Marathon Course using photogrammetric methodology is developed and examined. The course is surveyed in stereoscopic environment and therefore the measurement is performed directly in 3D space. The produced elevation data after the processing procedure are presented in the section plan at a scale of 1:5.000. The Digital Surface Model, with a step of 5m, and the orthophotomap at a scale 1:2.000 of a corridor area, with width of 100m on either side of the course represents an additional product of the photogrammetric method. At the end, in this thesis the photogrammetric methodology is being assessed and evaluated, but also it is being compared with the conventional method of the calibrated bicycle and finally are conclusions drawn and proposals are attempted.

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει ιστορικά στοιχεία σχετικά με την μάχη του Μαραθώνα, τους πρώτους ημεροδρόμους, την αναβίωση των αρχαίων Ολυμπιακών Αγώνων και την εισαγωγή του Μαραθώνιου δρόμου στα Ολυμπιακά αγωνίσματα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το χρονικό των διακυμάνσεων (αυξομειώσεων) του μήκους του Μαραθώνιου δρόμου μέχρι την οριστική καθιέρωσή του, καθώς και τις προδιαγραφές που πλέον πρέπει να πληροί ένας έγκυρος αγώνας δρόμου εκτός σταδίου.

Ακολουθεί η ανάλυση της αναγνωρισμένης από την IAAF (International Association of Athletics Federation, Παγκόσμια Ομοσπονδία Στίβου) και την AIMS (Association of International Marathons and Distance Races, Παγκόσμια Ένωση Αγώνων Δρόμου) μεθόδου μέτρησης των αποστάσεων για αγώνες δρόμου εκτός σταδίου, καθώς και κάποιων μεθόδων που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα.

Τέλος συνοπτικά περιγράφεται η φωτογραμμετρική μεθοδολογία που εφαρμόζεται στο επόμενο κεφάλαιο καθώς και μια δεύτερη μέθοδος που επιτρέπει τη μέτρηση της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής πάνω σε ορθοφωτογραφία (ο/φ).

Κεφάλαιο 2

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα πρακτικά στάδια που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας. Συνοπτικά γίνεται αναφορά στη παρουσίαση των δεδομένων που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας σε ένα εκτενές αντικείμενο μελέτης, όπως η μέτρηση της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, στη διαδικασία της σάρωσης των αεροφωτογραφιών (α/φ) σε φωτογραμμετρικό σαρωτή μεγάλης ακρίβειας. Ακολουθεί η περιγραφή της διαδικασίας κατά την οποία γίνεται ο προσδιορισμός και η επιλογή της θέσης των φωτοσταθερών (φ/σ).

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία μέτρησης των φ/σ με τη χρήση του συστήματος GPS. Καταληκτικά αναφέρονται η αποκατάσταση των προσανατολισμών στις εικόνες ώστε να εξαχθεί η μετρητική πληροφορία, οι διαδικασίες παραγωγής ψηφιακού μοντέλου επιφανείας, η σύνταξη ορθοφωτογραφίας, που είναι και το τελικό προϊόν της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και η δημιουργία μηκοτομής του συνόλου της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, προϊόν στο οποίο παρουσιάζεται λεπτομερώς η υψομετρική πληροφορία.

Κεφάλαιο 3

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι αρχικά η αξιολόγηση της Φωτογραμμετρικής Μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και η σύγκρισή της με τη συμβατική μέθοδο του βαθμονομημένου ποδηλάτου.

Τέλος όλων ακολουθεί η παρουσίαση προβλημάτων, συμπερασμάτων και προτάσεων.

Κεφάλαιο 1

1.1 Ιστορικά Στοιχεία

Ένα από τα σπουδαιότερα αγωνίσματα των σύγχρονων Ολυμπιακών Αγώνων είναι ο Μαραθώνιος δρόμος με μήκος 42.195 m που συμπεριελήφθη στο ολυμπιακό πρόγραμμα αθλημάτων το 1896 σε ανάμνηση του ηρωικού κατορθώματος του αγγέλου-αγγελιοφόρου που ανήγγειλε τη νίκη των Ελλήνων κατά των Περσών στην μάχη του Μαραθώνα, το 490 π.Χ..



Εικόνα 1. Ημεροδρόμος

Το ταχυδρομικό σύστημα της Αρχαίας Ελλάδας δεν ήταν οργανωμένο και το οδικό δίκτυο είχε πολλά προβλήματα. Ορισμένοι δε δρόμοι περνούσαν μέσα από εχθρικά εδάφη. Για το λόγο αυτό, ειδικά εκπαιδευμένοι άγγελοι ή ημεροδρόμοι ή δρομοκήρυκες είχαν ορισθεί από την πολιτεία να μεταφέρουν γραπτώς ή προφορικώς μηνύματα που αφορούσαν τον πόλεμο ή την ειρήνη. Έτσι διέτρεχαν αποστάσεις σε δύσβατους δρόμους και σε εντυπωσιακά μικρό χρόνο. Είναι γνωστό ότι οι ημεροδρόμοι – δρομοκήρυκες έτρεχαν οπλισμένοι στο χρόνο και στο χώρο της Αρχαίας Ελληνικής ιστορίας ήδη από τον 7ο π.Χ. αιώνα.

Χαρακτηριστικά, εκατόν πενήντα χρόνια μετά την μάχη του Μαραθώνα ο ιστορικός Ηρακλείδης από τον Πόντο ιστορεί ότι ο δρομοκήρυκας που έτρεξε από το Μαραθώνα προς την Αθήνα ήταν ο Θέρσιππος, καταγόμενος από τον αρχαίο δήμο των Ερωέων. Βέβαια, ο Ηρακλείδης είναι επιφυλακτικός, γιατί οι σύγχρονοι ή οι προγενέστεροί του θέλουν όχι το Θέρσιππο, αλλά τον Ευκλή, ο οποίος τρέχοντας *"συν τοις όπλοις θερμόν από της μάχης και ταις θύραις εμπέσοντα των πρώτων τοσούτον μόνον ειπείν, χαιρείτε και χαίρομεν, είτ'αυθύς εκπνεύσαι"* (<http://www.horse.gr/pgeDynamic.asp?SelectMenu=General&ArticleID=1222&CategoryID=51>,

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B8%CF%8E%CE%BD%CE%B9%CE%BF%CF%82#.CE.99.CF.83.CF.84.CE.BF.CF.81.CE.AF.CE.B1>).

Σε αντίθεση με τον Ηρακλείδη ο Ηρόδοτος, που γεννήθηκε το 485 π.Χ. (5 χρόνια μετά τη μάχη του Μαραθώνα), δεν αναφέρεται στο θέμα του ημεροδρόμου. Ο σκοπός των γραπτών ιστορικών αναφορών του ήταν να μη σβήσουν από τη μνήμη των ανθρώπων "τα μεγάλα και θαυμαστά" έργα, ώστε να μην μείνουν "άκλεα" (=άδοξα) τα σπουδαία κατορθώματα των ηρώων. Περιγράφει με λεπτομέρεια και αντικειμενικότητα τα όσα διαδραματίστηκαν στη μάχη του Μαραθώνα, δεν αναφέρει το περιστατικό του αγγελιοφόρου της νίκης, ενώ σε μεταγενέστερους συγγραφείς είναι διάχυτη η πληροφορία ότι συνέβη πράγματι το γεγονός.

Φαίνεται ότι στις αφηγήσεις του ο Ηρόδοτος παράβλεψε το γεγονός γιατί το θεώρησε ασήμαντο ή γιατί οι σύγχρονοι του δεν του απέδωσαν την σημασία η οποία σήμερα του αποδίδεται. Η ιστορική αυτή παράλειψη δεν προσβάλλει την αξιοπιστία του συγγραφέα, αλλά αντίθετα τη δυναμώνει γιατί το περιστατικό δεν είναι μοναδικό και ανεπανάληπτο μέσα στο χώρο και στο χρόνο της ελληνικής ιστορίας. Στην ιστορική συνείδηση του Ηροδότου η απόσταση αυτή των 34 χιλιομέτρων Μαραθώνας - Αθήνα ήταν μηδαμινή μπροστά στο κατόρθωμα του ημεροδρόμου Φειδιππίδη επισήμου αγγελιοφόρου του στρατεύματος των Ελλήνων ο οποίος έτρεξε την απόσταση Αθήνα

- Σπάρτη, 1140 στάδια (230km) σε δύο ημέρες. Την ίδια απόσταση μετά τη μάχη έτρεξαν δύο χιλιάδες Σπαρτιάτες οπλίτες σε τρεις ημέρες. Τέτοια δρομικά κατορθώματα θαυμαστά και συγχρόνως αμφιλεγόμενα για την σύγχρονη πραγματικότητα ήταν φαινόμενα ασήμαντα και τετριμμένα κατά την αρχαιότητα.

Ειδικότερα ο Λουκιανός αναφέρεται στον ήρωα Φειδιππίδη και το κατορθωμά του, ενώ ο Πausanίας συμφωνεί ως προς το όνομα του αγγελιοφόρου αλλά δεν αναφέρει το κύριο περιστατικό. Από τις ιστορικές αναφορές προκύπτει αβίαστα το συμπέρασμα ότι το μήνυμα της ελληνικής νίκης μεταφέρθηκε στην Αθήνα με ημεροδρόμο, εφόσον είναι γνωστό ότι ήταν αναγκαίος ο αγγελιοφόρος στη λειτουργία του στρατεύματος, και το ότι πρέπει να είναι ο Φειδιππίδης αφού μόνο αυτός αναφέρεται ως επίσημος ημεροδρόμος των Ελλήνων.

Από τις αναφορές των συγγραφέων βεβαιώνεται ότι ήταν νομικά και ηθικά υποχρεωμένος ο αγγελιοφόρος να τρέχει οπλισμένος μετά τη μάχη για να φέρει το μήνυμα, γιατί διαφορετικά (αναφορικά με την εγκυρότητα του μηνύματος), οι άρχοντες της πολιτείας όταν τον αντίκριζαν θα τον εκλάμβαναν ως ριψάσπιδα ή τρέσαντα (ατιμασμένο άτομο). Επιπλέον εύλογη είναι η απορία που αναφέρεται στην χρήση ίππων από τους ημεροδρόμους, η αδέκαστη όμως θέση της ιστορίας αντιπαραθέτει την ιστορική αλήθεια. Πρώτον, οι Αθηναίοι στο Μαραθώνα σκόπιμα δεν είχαν ιππικό και δεύτερον και σπουδαιότερο, κατά το Φιλόστρατο ήταν απαγορευμένο στους ημεροδρόμους να χρησιμοποιούν ίππους, ώστε διερχόμενοι να μη γίνονται αισθητοί από τον εχθρό (<http://www.athensclassicmarathon.gr/html/ent/017/ent.1017.2.asp>).

1.2 Εισαγωγή του Μαραθώνιου Δρόμου στα Ολυμπιακά Αγώνισματα

Αν και στους αρχαίους Ολυμπιακούς αγώνες (776 π.χ. – 393 μ.Χ.) ο Μαραθώνιος δρόμος δεν αποτελούσε αγώνισμα, στους σύγχρονους Ολυμπιακούς Αγώνες εισάγεται ως ένα μεγάλο γεγονός, που υπενθυμίζει την αρχαία δόξα της Ελλάδας.

Η αναβίωση και ουσιαστικά η αναγέννηση των Ολυμπιακών Αγώνων οφείλεται στις μεγάλες προσπάθειες του Γάλλου παιδαγωγού και λόγιου Pierre de Coubertin, ιδρυτή των σύγχρονων Ολυμπιακών Αγώνων μαζί με τον Έλληνα ποιητή Δημήτρη Βικέλα. Το 1894, σε μια διεθνή συνάντηση για τον αθλητισμό, αποφασίστηκε ότι οι αγώνες θα άρχιζαν ξανά και θα διεξάγονταν κάθε τέσσερα χρόνια σε διαφορετική πόλη. Έτσι, το 1896 η τέλεση των πρώτων σύγχρονων Ολυμπιακών Αγώνων πραγματοποιήθηκε με μεγάλη λαμπρότητα στην Αθήνα, τη γενέτειρα του Ολυμπιακού Πνεύματος και των Ολυμπιακών Ιδεωδών, στο Καλλιμάρμαρο Παναθηναϊκό Στάδιο.

Η πρόταση του Γάλλου Michel Breal, είχε σκοπό να διαιωνίσει την ιστορική μάχη και τη μνήμη του θρυλικού αγγελιοφόρου Φειδιππίδη. Υποστηρικτές της πρότασης αυτής έγιναν οι Pierre de Coubertin και οι Έλληνες οργανωτές (www.la84foundation.org/.../OlympicReview/1976/.../ore109m.pdf). Οι Έλληνες οργάνωσαν ένα αγώνα επιλογής, και αυτός ο πρώτος μαραθώνιος κερδήθηκε από το Χαρίλαο Βασιλάκο σε 3 ώρες και 18 λεπτά, με το Σπύρο Λούη να έρχεται πέμπτος. Ο νικητής του πρώτου ολυμπιακού μαραθωνίου το 1896 (μόνο για άνδρες) ήταν ο Σπύρος Λούης, ένας Έλληνας μεταφορέας νερού. Νίκησε στους Ολυμπιακούς Αγώνες με χρόνο 2 ώρες 58 λεπτά και 50 δευτερόλεπτα. Κατά τη διάρκεια των σύγχρονων Ολυμπιακών αγώνων, έχει γίνει παράδοση ο μαραθώνιος των ανδρών να είναι το

τελευταίο αγώνισμα με τερματισμό στο εκάστοτε Ολυμπιακό Στάδιο. Όμως, ο μαραθώνιος των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004 της Αθήνας αναβίωσε στην κλασική διαδρομή από το Μαραθώνα στην Αθήνα, με τερματισμό στο Παναθηναϊκό στάδιο, γνωστό και ως Καλλιμάρμαρο (<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B8%CF%8E%CE%BD%CE%B9%CE%BF%CF%82#.CE.99.CF.83.CF.84.CE.BF.CF.81.CE.AF.CE.B1>).

Η Κλασική Μαραθώνια Διαδρομή είναι η διαδρομή από το Μαραθώνα μέχρι το Παναθηναϊκό στάδιο και ισούται με 42.195m. Αυτή είναι και η απόσταση που διανύουν πλέον οι μαραθωνοδρόμοι στον αγώνα αντοχής του Μαραθωνίου στους σύγχρονους Ολυμπιακούς Αγώνες. Ο Μαραθώνιος ήταν ένα από τα πρώτα ολυμπιακά αθλήματα των σύγχρονων αγώνων του 1896, αν και η απόσταση δεν καθορίστηκε αυστηρά έως το 1921.

Είναι γεγονός πως ο Μαραθώνιος δρόμος δεν είχε πάντα το τρέχον ονομαστικό μήκος. Το 1896 ο Σπύρος Λούης έτρεξε 40.000m, διότι ο χωματόδρομος που συνέδεε τον Μαραθώνα με την Αθήνα είχε μήκος 40.000m (<http://www.sport.gr/default.asp?pid=52&aid=51139>). Δέκα χρόνια αργότερα, λόγω βελτιώσεων στο οδόστρωμα, οι δρομείς που πήραν μέρος στον μαραθώνιο δρόμο της Μεσοολυμπιάδας στην Αθήνα το 1906, έτρεξαν 41.860m. Το 1908, κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων του Λονδίνου το μήκος της διαδρομής άλλαξε σε 42.195m προκειμένου να περάσουν οι δρομείς μπροστά από τα βασιλικά ανάκτορα και στη συνέχεια τη βασίλισσα Αλεξάνδρα. Χρειάστηκαν 16 επιπλέον χρόνια προτού σταματήσουν οι αυξομειώσεις της απόστασης του μαραθωνίου (Αθήνα 1896: 40.000m, Παρίσι 1900: 40.260m, Σεντ Λούις 1904: 40.000m, Λονδίνο 1908: 42.195m, Στοκχόλμη 1912: 40.200m, Αμβέρσα 1920: 42.750m και από το 1924 στο Παρίσι και πάλι και έπειτα 42.195m.), για να οριστικοποιηθεί στους Ολυμπιακούς αγώνες του Παρισιού το 1924 στην σημερινή καθιερωμένη απόσταση των 42.195m (<http://www.sport.gr/default.asp?pid=52&aid=17305>).

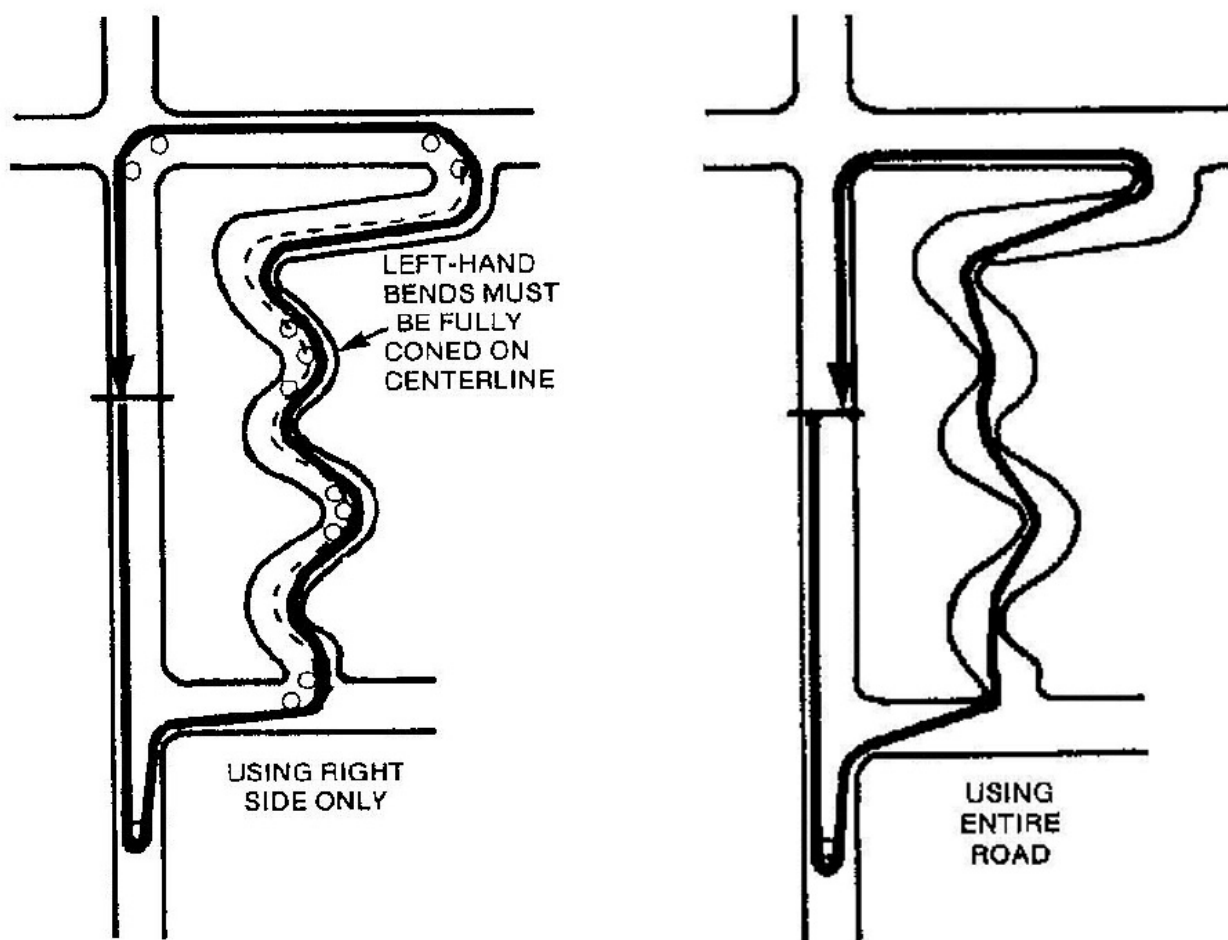
1.3 Απαιτήσεις και θεμελιώδεις προδιαγραφές κατά τη διαδικασία της μέτρησης ενός Μαραθωνίου δρόμου

Στην πληθώρα των αγώνων και δη των Μαραθωνίων δρόμων που διοργανώνονται στην Ελλάδα και σε όλο τον κόσμο, ανακύπτουν μόνιμα ερωτήματα. Είναι σωστά μετρημένη η διαδρομή; Πόση ήταν η απόσταση; Είναι έγκυρο το ρεκόρ; Για να θεωρηθεί έγκυρος ένας χρόνος ρεκόρ προαπαιτείται μια σωστά μετρημένη απόσταση. Επομένως πρέπει να υπάρχουν κανόνες που να εξασφαλίζουν την εγκυρότητα της διοργάνωσης και των επιδόσεων των αθλητών.

Από 1.1.2004 ισχύει ο κανονισμός που διέπει τους αγώνες δρόμου εκτός σταδίου. Ο κανονισμός είναι κοινός για την IAAF (Παγκόσμια Ομοσπονδία Στίβου) και την AIMS (Παγκόσμια Ένωση Αγώνων Δρόμου). Η μοναδική μέθοδος με την οποία μετρείται μια διαδρομή και αναγνωρίζεται ως έγκυρη από τις IAAF/AIMS, είναι αυτή του βαθμονομημένου ποδηλάτου. Βασικός στόχος της AIMS με τη χρήση της μεθόδου αυτής είναι: «οι αθλητές που θα πάρουν μέρος στον αγώνα δρόμου να έχουν πλήρη γνώση ότι ο αγώνας θα είναι ακριβής» (<http://www.runningnews.gr/?id=2821>).

Οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές του τρόπου μέτρησης αποστάσεων εκτός σταδίου πρέπει να συμμορφώνονται με τους κανόνες της IAAF. Συνολικά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η απόσταση του Μαραθώνιου δρόμου πρέπει να είναι μεταξύ 42.195m και 42.237m, δηλ. +0,1% υπέρβαση από τη συνήθη απόσταση και μόνο προσθετική.
- Η απόσταση πρέπει να είναι μετρημένη με ακρίβεια καλύτερη από ένα μέρος στα 1000 (0,1%). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα μέγιστο επιτρεπτό όριο μικρότερο από 42m στο σύνολο της μαραθώνιας απόστασης.
- Η μέτρηση πρέπει να γίνεται κατά μήκος της ιδανικής γραμμής όπου οι αθλητές θα τρέχουν ή θα περπατούν. Για παράδειγμα, η συντομότερη πιθανή διαδρομή να βρίσκεται στο τμήμα αυτό του δρόμου όπου επιτρέπεται στους αθλητές να τρέξουν ή να περπατήσουν (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Η συντομότερη πιθανή διαδρομή στις περιπτώσεις όπου: (αριστερά) μόνο η δεξιά πλευρά του δρόμου είναι διαθέσιμη στους αθλητές, (δεξιά) όλο το πλάτος του δρόμου είναι στη διάθεση των αθλητών.

- Η διαδικασία βαθμονόμησης πρέπει να μην παραλείπεται και τα ποδήλατα πρέπει να βαθμονομούνται πριν και μετά τη διαδικασία μέτρησης. Η βαθμονόμηση γίνεται σε ένα ευθύγραμμο, στρωμένο, επίπεδο και ελαφρά χρησιμοποιημένο τμήμα δρόμου, χωρίς σταθμευμένα οχήματα.
- Η διαδικασία της μέτρησης πρέπει να εφαρμόζεται δύο φορές και τα αποτελέσματα αυτών δεν πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 0,8%. Σε διαφορετική περίπτωση πρέπει να γίνεται και τρίτη μέτρηση.

- Η συντομότερη πιθανή διαδρομή πρέπει να διέρχεται 0,30m από το κράσπεδο, ή την άκρη του δρόμου όταν δεν υπάρχει κράσπεδο. Στην περίπτωση όπου οι δρόμοι έχουν κατασκευές, όπως τοίχους, κατά μήκος της άκρης, η συντομότερη πιθανή διαδρομή πρέπει να μετράται 0,61m από αυτούς.

1.4 Αποδεκτή μέθοδος μέτρησης Αγώνων Δρόμου και Μαραθωνίων

Ο Μαραθώνιος Δρόμος είναι η επιτομή των αγωνισμάτων, καθώς δίνει τη δυνατότητα συμμετοχής σε αθλητές με διαφορετικές ικανότητες. Σκοπός των καταξιωμένων αθλητών είναι η πραγματοποίηση ενός ακόμα παγκόσμιου χρόνου ρεκόρ, ενώ η πλειονότητα των υπολοίπων επικεντρώνεται στην βελτίωση του προσωπικού τους χρόνου. Η μέτρηση των αποστάσεων στους αγώνες δρόμου εκτός σταδίου, καθώς και οι παράμετροι που την επηρεάζουν όπως ο τρόπος, τα μέσα που χρησιμοποιούνται και η ακρίβεια με την οποία μετράται, είναι μερικά από τα θέματα που απασχολούν και επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τη διοργάνωση ενός αγώνα δρόμου έξω από το στάδιο. Γεγονός που επιβάλλει έναν ακριβή, αυστηρό και κοινά αποδεκτό τρόπο μέτρησης της απόστασης (TSAKIRI, M., et al, 2004). Η επίσημη μέθοδος μέτρησης της Μαραθωνίας Διαδρομής είναι αυτή του βαθμονομημένου ποδηλάτου (κανονισμός IAAF 165,1).

Παρόλα αυτά, έχουν χρησιμοποιηθεί ή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ποικίλες μέθοδοι εκτός της αναγνωρισμένης (IAAF, 2004) για να μετρηθούν οι αγώνες δρόμου εκτός σταδίου. Μερικές από αυτές είναι: τοπογραφικές μέθοδοι (χρήση σταδίας, EDM, μετροταινίας από αστάλι) (Seoul Olympic Organizing Committee, 1988), εφαρμογή του συστήματος DGPS (Gordon, S., 2005), χρήση επίγειου σαρωτή Laser (Tsakiri, M., et al, 2004), μετρήσεις αποστάσεων πάνω σε χάρτη, οδόμετρο προσαρμοσμένο πάνω σε αυτοκίνητο, φωτογραμμετρικές μέθοδοι.

1.4.1 Συμβατική μέθοδος του βαθμονομημένου ποδηλάτου

Η βάση της μεθόδου μέτρησης είναι η σχετική αναλογία του αριθμού των πλήρων στροφών της ρόδας του ποδηλάτου που καταγράφονται στον μετρητή και που απαιτούνται για να καλυφθεί το σύνολο της διαδρομής του αγώνα με τον αριθμό των πλήρων στροφών που απαιτούνται για να διανύσουν μια πρότυπη ευθεία βαθμονόμησης γνωστού μήκους. Η μέθοδος είναι απλή και άμεση, αλλά υπάρχουν πολλές σημαντικές λεπτομέρειες και βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να προκύψει μια αποδεκτή και πλήρης μέτρηση της διαδρομής (International Association Of Athletics Federations, 2004).

1.4.1.1 Καθορισμός της αγωνιστικής διαδρομής

Αρχικά, τα βασικά και αυτονόητα που ορίζονται για να γίνει η μέτρηση και ο αγώνας είναι οι γραμμές της εκκίνησης, του τερματισμού και της διαδρομής, που πρέπει να είναι η συντομότερη γραμμή μεταξύ των σημείων έναρξης και τερματισμού. Η συντομότερη διαδρομή ορίζεται σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες της IAAF. Η αγωνιστική διαδρομή καθορίζεται από τους διοργανωτές και φυσικά είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαδικασία της μέτρησης.

Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητο να υπάρχει απάντηση σε πολλά ερωτήματα προτού αρχίσει η διαδικασία της μέτρησης. Πρέπει να έχει αποφασισθεί και συμφωνηθεί με την αστυνομία και την αρμόδια αρχή ποια περιοχή και ποιοί

δρόμοι θα είναι διαθέσιμοι στους δρομείς. Δηλαδή αν θα χρησιμοποιηθεί όλο το τμήμα του δρόμου, από κράσπεδο σε κράσπεδο, και τα δύο ρεύματα κίνησης, αν ο δρόμος θα είναι από ασφαλτο, αν θα υπάρχει ενδιάμεσο τμήμα με γρασίδι ή άμμο. Θέματα που πρέπει να είναι σαφή και που θα καθορίσουν τα χαρακτηριστικά του αγώνα.

Ο ευκολότερος τρόπος για να ορισθεί η αγωνιστική διαδρομή είναι να δοθεί στους αθλητές όλο το πλάτος του δρόμου που περιλαμβάνεται μεταξύ δύο σταθερών εμποδίων όπως για παράδειγμα είτε από κράσπεδο σε κράσπεδο, είτε από κράσπεδο σε διαχωριστικό στηθαίο. Το γεγονός αυτό διευκολύνει και τον μετρητή της αγωνιστικής διαδρομής να κάνει μια ξεκάθαρη μέτρηση της συντομότερης πιθανής διαδρομής.

Στην περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσωρινά εμπόδια (κώνοι) για την οριοθέτηση της διαδρομής. Η χρήση τέτοιου είδους εμποδίων δεν αποτελεί πρόβλημα για τους διοργανωτές καθώς το μόνο που μπορεί να συμβεί είναι να αυξηθεί οριακά το μήκος της διαδρομής.

Η χρυσή τομή είναι μία απλή διαδρομή με τους ελάχιστους απαραίτητους περιορισμούς (κώνους, απότομες στροφές) έτσι ώστε να μην παραλειφθούν ή τοποθετηθούν σε λάθος θέση.

Το τελικό αποτέλεσμα της παραπάνω εργασίας παρουσιάζεται σε ένα χάρτη που περιλαμβάνει ολόκληρη την αγωνιστική διαδρομή. Ο χάρτης πρέπει να είναι πλήρης, επιτρέποντας σε κάποιον μη γνώστη, χρησιμοποιώντας μόνο τον χάρτη να μετρήσει την ίδια ακριβώς διαδρομή που μετρήθηκε την πρώτη φορά. Επομένως, εάν υπάρχει κάτι χαρακτηριστικό πάνω στη διαδρομή πρέπει να είναι ευδιάκριτο και σαφώς τεκμηριωμένο.

1.4.1.1 Η επιλογή και μέτρηση της περιοχής βαθμονόμησης

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου του βαθμονομημένου ποδηλάτου εξαρτάται από την ακριβή διαδικασία της βαθμονόμησης, η οποία απαιτεί τη γρήγορη μετάβαση από την περιοχή βαθμονόμησης στην αγωνιστική περιοχή και αντίστροφα. Τα στοιχεία που αντλούνται από τις βαθμονομήσεις χρησιμοποιούνται καλύτερα, όταν είναι πρόσφατα και πριν οι συνθήκες καλιμπραρίσματος αλλάξουν σημαντικά.

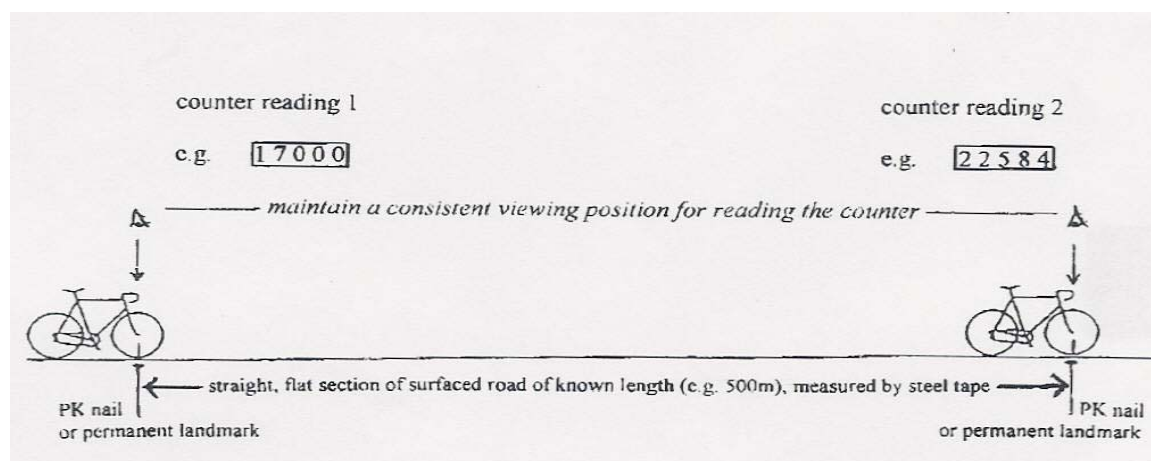
Η περιοχή βαθμονόμησης είναι μία μετρημένη γραμμή βάσης που χρησιμοποιείται για να βαθμονομηθεί το ποδήλατο. Είναι ένα ευθύγραμμο, επίπεδο και ελαφρά ταξιδεμένο τμήμα δρόμου από ασφαλτο, χωρίς σταθμευμένα οχήματα. Το μήκος του είναι 300-500 m και το σημείο έναρξης είναι ορατό από το σημείο τερματισμού. Μια περιοχή βαθμονόμησης μικρότερη των 300m είναι προτιμότερη από μια μακρύτερη περιοχή π.χ. 500m, ακόμα κι αν η τελευταία (500m) διέπεται από καλύτερες συνθήκες.

Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος μέτρησης του μήκους της διαδρομής βαθμονόμησης είναι αυτή με τη χρήση ειδικής ασφάλινης μετροταινίας με μηδέν διασταλτικότητα/συσταλτικότητα στους 20°C. Το μήκος της ασφάλινης μετροταινίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 30 m. Η διαδρομή μετρείται με ακρίβεια χιλιοστού προς τη μία κατεύθυνση και αντίθετα. Η μέτρηση επαναλαμβάνεται. Τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων δεν πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 0,8%, στην περίπτωση που η διαφορά είναι μεγαλύτερη απαιτείται τρίτη μέτρηση.

Η θέση της περιοχής βαθμονόμησης πρέπει να είναι ασφαλής και να πληροί τις παραπάνω προϋποθέσεις. Κάθε φορά που μετράται μια απόσταση πάνω στην

αγωνιστική διαδρομή, πρέπει να διανύεται με το ποδήλατο η γραμμή βάσης (περιοχή βαθμονόμησης) οκτώ φορές (τέσσερις φορές πριν από τη μέτρηση και τέσσερις φορές κατόπιν αυτής), και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Στη συνέχεια, η γραμμή βάσης χωρίζεται σε δέκα τμήματα. Τα σημάδια που χρησιμοποιούνται για να χωρίσουν τη διαδρομή βαθμονόμησης σε δέκα επιμέρους τμήματα, πρέπει να είναι σταθερά σημεία (καρφιά) και πάνω στο οδόστρωμα, έτσι ώστε όταν ο μετρητής ποδηλατεί, η ρόδα του ποδηλάτου να μπορεί να τα αγγίξει.



Εικόνα 3. Ανάγνωση ένδειξης του μετρητή Jones

Συνήθως χρησιμοποιούνται καρφιά, αλλά σε αστικές περιοχές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνιμα αντικείμενα πάνω στις οδούς όπως φρεάτια, καπάκια αγωγών ως σημάδια τέλους της διαδρομής βαθμονόμησης. Εάν τα καρφιά αρχής - τέλους δεν μπορούν να βρεθούν κατά την διάρκεια μιας μελλοντικής μέτρησης, η διαδικασία βαθμολόγησης πρέπει να πραγματοποιηθεί ξανά.

Κατά τη διάρκεια μέτρησης της γραμμής βάσης, αρκεί η ύπαρξη δύο ατόμων. Το τρίτο άτομο (αν υπάρχει) διευκολύνει την κατάσταση προσέχοντας την κυκλοφοριακή κίνηση ή κρατώντας σημειώσεις. Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κράσπεδο, από το οποίο και ευθυγραμμίζεται η μετροταινία, το τρίτο άτομο μπορεί παρατηρώντας τα δύο προηγούμενα σημεία, να διατηρεί τη σχετική ευθυγραμμία των ενδιάμεσων σημείων μέτρησης.

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται χαρτοταινία για την ακριβέστερη προσημείωση των μηκών. Η χαρτοταινία τοποθετείται στην άσφαλτο, κοντά στην πιθανή θέση όπου θα συμπληρωθεί το πλήρες μήκος της μετροταινίας. Εκεί εφαρμόζεται ένταση της ατσάλινης μετροταινίας και μετράται η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σημειώνεται το πλήρες μήκος της μετροταινίας πάνω στη χαρτοταινία που είναι κολλημένη στο οδόστρωμα. Και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου συμπληρωθεί το πλήρες μήκος της περιοχής βαθμονόμησης.

Το μήκος της γραμμής βάσης πρέπει να μετρηθεί τουλάχιστον δύο φορές. Η δεύτερη μέτρηση γίνεται με αντίθετη κατεύθυνση από την πρώτη και με το πρώτο σημάδι μετατεθειμένο ένα μέτρο από το σημείο τέλους. Σκοπός της παραπάνω ενέργειας είναι η τοποθέτηση νέων σημείων για τη μέτρηση της απόστασης. Η δεύτερη μέτρηση θα οδηγήσει σε ένα δεύτερο αριθμό που δείχνει την απόσταση μεταξύ των αρχικών σημείων αρχής - τέλους, και όχι ένα νέο σύνολο σημείων αρχής - τέλους.

Η δεύτερη μέτρηση αποτελεί στοιχείο έλεγχου της πρώτης μέτρησης. Εάν η διαφορά των δύο μετρήσεων είναι σημαντική θα πρέπει να επαναληφθούν οι μετρήσεις έως

όπου ελαττωθεί η διαφορά. Μια διαφορά της τάξης των 0,05 m για το σύνολο της απόστασης των 500m, χαρακτηρίζεται σημαντική και πρέπει να μειωθεί στο 0,8%. Το τελικό αποτέλεσμα θα βασιστεί στο μέσο όρο και των δύο μετρήσεων.

1.4.1.2 Βαθμονόμηση ποδηλάτου



Εικόνα 4. Διάφορα μοντέλα του μετρητή Jones (Jones Counter)

Η σοβαρότερη ενέργεια της όλης διαδικασίας είναι το καλιμπράρισμα της ρόδας του ποδηλάτου με το μετρητή του Jones («Jones counter»). Ο μετρητής Jones είναι ένα ελαφρύ όργανο που προσαρμόζεται στη ρόδα του ποδηλάτου. Λειτουργεί ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ποδηλάτου και η ένδειξή του (πενταψήφιος ή εξαψήφιος αριθμός) αναφέρεται σε συγκεκριμένη απόσταση που διανύθηκε.

Ο στόχος στη βαθμονόμηση του ποδηλάτου, πριν γίνει η μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής, είναι να υπολογιστεί ο αριθμός των μονάδων που καταχωρούνται στο μετρητή Jones για κάθε χιλιόμετρο που διανύεται με το ποδήλατο. Αυτός ο αριθμός καλείται **σταθερά εργασίας**.

Τα παρακάτω εννιά βήματα οδηγούν στο καλιμπράρισμα του ποδηλάτου :

- ✓ Έλεγχος της πίεσης των ελαστικών του ποδηλάτου. Πρέπει να οδηγηθεί το ποδήλατο για αρκετά λεπτά πριν αρχίσει η διαδικασία της βαθμονόμησης, ώστε τα ελαστικά να έχουν τη θερμοκρασία του αέρα και να μην αλλοιώνουν τις τιμές στο μετρητή Jones.
- ✓ Κύλιση της μπροστινής ρόδας, ώστε ο μετρητής Jones να δείχνει την τιμή με την οποία θα ξεκινήσει η βαθμονόμηση (η διαδικασία αυτή γίνεται σε ένα σημείο της διαδρομής καλιμπραρίσματος). Κλείδωμα της ρόδας με το φρένο και τοποθέτηση του άξονά της ακριβώς πάνω από το σημείο έναρξης. Καταγραφή της ένδειξης του μετρητή Jones.
- ✓ Διάνυση της διαδρομής βαθμονόμησης με το ποδήλατο, απευθείας όσο το δυνατόν πιο ευθύγραμμο και με το ίδιο βάρος και εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί και στην αγωνιστική διαδρομή.
- ✓ Σταμάτημα του ποδηλάτου λίγο πριν φτάσει στο τελευταίο σημείο και αργή κύλιση της ρόδας μέχρι ο άξονας της να βρεθεί ακριβώς πάνω από το τελευταίο σημείο. Κλείδωμα της μπροστινής ρόδας. Καταγραφή της ένδειξης του μετρητή Jones.
- ✓ Αναστροφή του ποδηλάτου στο ίδιο σημείο και έλεγχος ότι δεν έχει αλλάξει η τιμή του μετρητή Jones.
- ✓ Επανάληψη των βημάτων 3, 4, 5, έως ότου διανυθεί 4 φορές η διαδρομή βαθμονόμησης (δύο σε κάθε κατεύθυνση).
- ✓ Αφαίρεση της ανάγνωσης της έναρξης από την ανάγνωση του τέλους. Αν κάποιος από τους τέσσερις γύρους έχει μεγάλη διαφορά, δεν λαμβάνεται υπ' όψιν και εκτελείται ξανά.
- ✓ Υπολογισμός του μέσου όρου για τους τέσσερις γύρους.

Διαίρεση του μέσου όρου για τους τέσσερις γύρους με το μήκος (σε Km) της διαδρομής βαθμονόμησης. Το αποτέλεσμα είναι ο αριθμός των μονάδων του μετρητή Jones ανά χιλιόμετρο, το οποίο και πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή

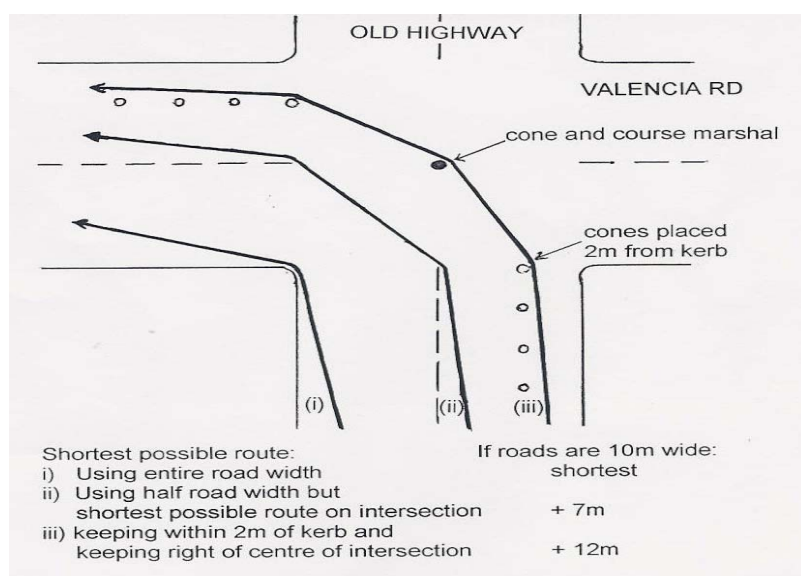
SCPV (short course prevention factor) 1,001 για να προκύψει η **σταθερά εργασίας**. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται ο πολλαπλασιασμός αυτός είναι για να προκύψει συνολική απόσταση για τον Μαραθώνιο μεταξύ των τιμών 42.195 m 42.237m. Με αυτόν τον τρόπο κανένας αθλητής δεν θα διανύσει απόσταση μικρότερη από 42.195 m.

1.4.1.3 Μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής

Η μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής καθορίζεται από τη μέτρηση της συντομότερης πιθανής διαδρομής (shortest possible route, SPR) που ένας δρομέας μπορεί να τρέξει χωρίς να αποκλειστεί βάσει των επίσημων κανονισμών. Είναι απίθανο κάποιος δρομέας να ακολουθήσει τη συντομότερη διαδρομή, όπως επίσης είναι ακατόρθωτο για κάποιο δρομέα να κρατά πάντα σταθερή απόσταση από το κράσπεδο. Και αυτό διότι στην περίπτωση της προσπέρασης άλλων αθλητών θα πρέπει να απομακρυνθεί από αυτό. Η συντομότερη πιθανή διαδρομή είναι θεωρητικά καθορισμένη με σαφήνεια και ακρίβεια. Ο καθορισμός της αγωνιστικής διαδρομής με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζει ότι όλοι οι δρομείς θα τρέξουν τουλάχιστον τη δηλωμένη απόσταση αγώνα. Η μέτρηση της συντομότερης πιθανής διαδρομής πρακτικά σημαίνει ότι η διαδρομή που πρέπει να μετρηθεί επίσημα βρίσκεται 0,30m εσωτερικά από το κράσπεδο ή από άλλα σταθερά όρια (κιγκλιδώματα, τοίχους αντιστήριξης) της επιφάνειας που τρέχουν οι αθλητές.

Η συντομότερη πιθανή διαδρομή στις διάφορες οδικές διαμορφώσεις παρουσιάζεται παρακάτω:

Στην περίπτωση όπου δεν είναι ευδιάκριτα τα όρια της αγωνιστικής διαδρομής, πρέπει να τοποθετούνται εμπόδια (κώνοι) και η θέση τους να υποδεικνύεται στο χάρτη. Ο μετρητής πρέπει να είναι σίγουρος πως οι αθλητές θα ακολουθήσουν τη διαδρομή που τους υποδεικνύει. Με δεδομένο ότι κάτι τέτοιο δε μπορεί να επιβληθεί στους αθλητές, ο μετρητής είναι υποχρεωμένος να μετρήσει τη συντομότερη πιθανή διαδρομή από τα φυσικά όρια που υπάρχουν (βλέπε περίπτωση i, εικόνα 5) και όχι από τα εμπόδια που τοποθετήθηκαν.



Εικόνα 5. Συντομότερη πιθανή διαδρομή όταν i) είναι διαθέσιμο όλο το πλάτος του δρόμου ii) είναι διαθέσιμη η δεξιά λωρίδα του δρόμου, οπότε η συντομότερη πιθανή διαδρομή ακολουθεί τον άξονα του δρόμου iii) η συντομότερη πιθανή διαδρομή ακολουθεί τα τεχνητά εμπόδια.

1.4.1.4 Επαναβαθμονόμηση ποδηλάτου στην περιοχή βαθμονόμησης

Ο στόχος της επαναβαθμονόμησης του ποδηλάτου μετά από τη μέτρηση είναι να ελεγχθεί εάν έχει υπάρξει οποιαδήποτε αλλαγή στον αριθμό των πλήρων περιστροφών της ρόδας του ποδηλάτου που χρειάστηκαν για την κάλυψη του μήκους της διαδρομής βαθμονόμησης. Η αλλαγή του αριθμού των πλήρων περιστροφών είναι πολύ πιθανή, στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία έχει αυξηθεί, η σταθερά βαθμονόμησης θα είναι μικρότερη ή ακόμα η ύπαρξη μιας μικρής οπή στο ελαστικό του ποδηλάτου.

Η επαναβαθμονόμηση του ποδηλάτου είναι απαραίτητο να γίνει αμέσως μετά τη διαδικασία των μετρήσεων, ώστε να επικρατούν οι ίδιες συνθήκες με αυτές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι ίδια με αυτά της βαθμονόμησης (βήματα από 2 έως 6), και μετά τους υπολογισμούς με τα βήματα 7, 8, 9 προκύπτει η **τελική σταθερά**.

1.4.1.5 Υπολογισμός του μήκους της αγωνιστικής διαδρομής

Για τον υπολογισμό του μήκους της αγωνιστικής διαδρομής που μετράται μέσα σε μία ημέρα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η **σταθερά της ημέρας**, είτε ως μέσος όρος της σταθεράς εργασίας και τελικής σταθεράς, είτε ως η μέγιστη τιμή των δύο παραπάνω σταθερών(εργασίας και τελικής).

Στη συνέχεια υπολογίζεται η διαφορά των αριθμών που καταγράφηκαν από τον Jones counter, ανάμεσα στην αρχή και το τέλος του τμήματος της αγωνιστικής διαδρομής που διανύθηκε με το ποδήλατο την ημέρα αυτή. Ο αριθμός αυτός διαιρείται με τη σταθερά της ημέρας, και το πηλίκο είναι το μήκος της αγωνιστικής διαδρομής που μετρήθηκε εκείνη την ημέρα. Αν οι μετρήσεις κράτησαν δύο και πλέον ημέρες, τότε προστίθενται τα τελικά μήκη της κάθε ημέρας.

Η διαδικασία της μέτρησης της αγωνιστικής διαδρομής πρέπει να εφαρμοσθεί δύο φορές, όπου η δεύτερη φορά θα έχει το χαρακτήρα ελέγχου. Τα αποτελέσματα αυτών των δύο μετρήσεων δεν πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 0,08%. Όταν ισχύει κάτι τέτοιο, ως τελικό μήκος της αγωνιστικής διαδρομής επιλέγεται η μικρότερη τιμή των δύο μετρήσεων. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου η διαφορά είναι μεγαλύτερη από 0,08%, πρέπει να γίνει και τρίτη μέτρηση.

1.4.1.6 Εφαρμογή τελικών προσαρμογών στην αγωνιστική διαδρομή

Με το πέρας του υπολογισμού του τελικού μήκους της αγωνιστικής διαδρομής, που ίσως μετρήθηκε (διανύθηκε με το ποδήλατο) σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των δύο ημέρες, είναι πιθανή η παρουσία ελλείμματος ή πλεονάσματος απόστασης. Για παράδειγμα να έχουν μετρηθεί 42.175m και να υπολείπονται 20m για την συμπλήρωση του μήκους του Μαραθωνίου. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται προσαρμογή. Πιθανή προσαρμογή είναι η πρόσθεση (προσθαφαίρεση στην γενική περίπτωση) κάποιας απόστασης με τη χρήση της ασάλινης μετροταινίας, έτσι ώστε να προκύψει το επιθυμητό μήκος της αγωνιστικής διαδρομής (42.195 m για το Μαραθώνιο). Η παρέμβαση αυτή μπορεί να γίνει είτε στην έναρξη, είτε στον τερματισμό είτε σε κάποιο σημείο αναστροφής (turnaround point).

Αν απαιτούνται περισσότερες αλλαγές, όπως επαναπροσδιορισμός της διαδρομής σε διαφορετικούς δρόμους, τότε είναι απαραίτητη η χρήση του ποδηλάτου και η διεξαγωγή βαθμονόμησης πριν και μετά από τη μέτρηση. Αν η επέμβαση γίνει σε σημείο αναστροφής και χρειαστεί μετακίνηση ή αφαίρεση του σημείου αυτού, με αποτέλεσμα το μήκος της διαδρομής να αυξηθεί ή θα μειωθεί ανάλογα. Για

παράδειγμα, αν αφαιρεθεί ένα σημείο δυο περικυκλώσεων, θα μειωθεί το μήκος της αγωνιστικής διαδρομής τέσσερις φορές.

1.4.1.7 Τεκμηρίωση της μέτρησης

Ο χάρτης της αγωνιστικής διαδρομής είναι το σημαντικότερο μέρος της τεκμηρίωσης του αγώνα. Πρέπει να παρέχει όλες τις χρήσιμες πληροφορίες σε έναν αθλητή για να τρέξει τον αγώνα, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της μέτρησης όπως αυτή πιστοποιείται.

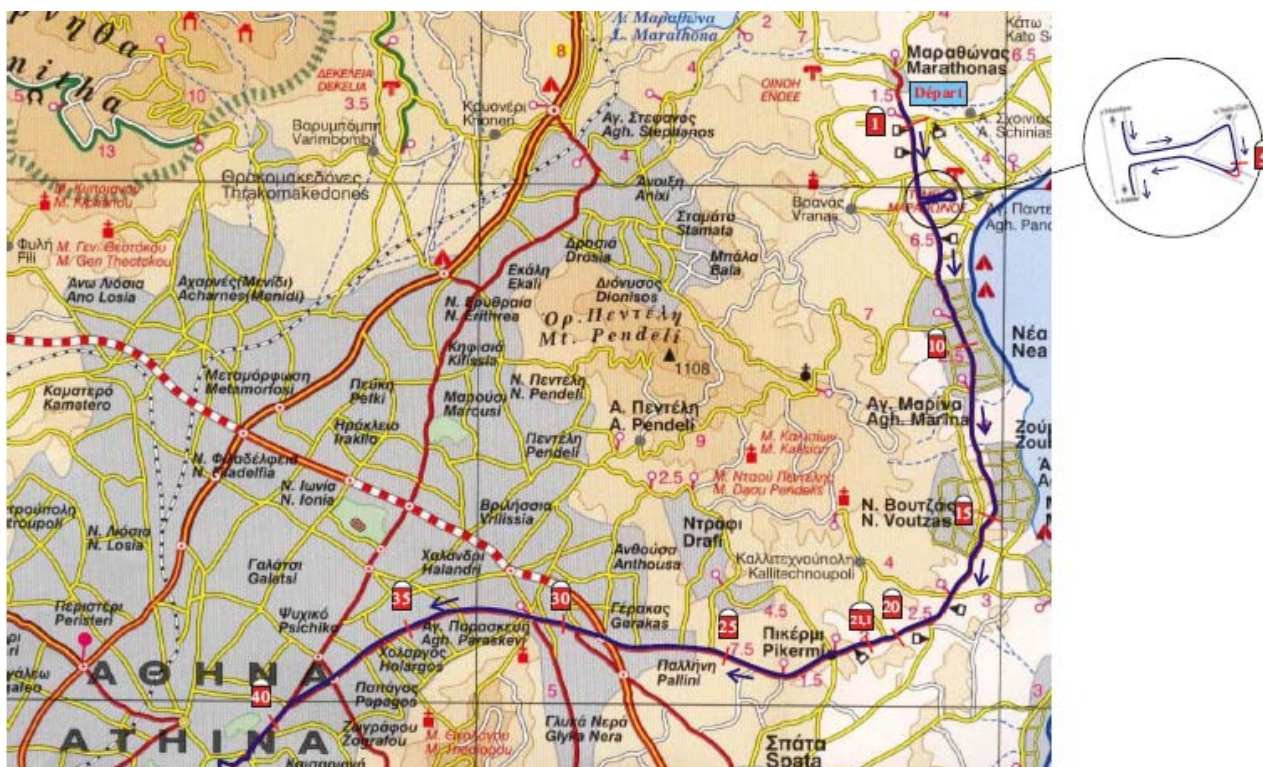
Ο χάρτης παρουσιάζει όλη την αγωνιστική διαδρομή, τις οδούς που χρησιμοποιεί και σχόλια για να την καταστήσουν αυτή σαφή. Οι χάρτες δεν είναι συνήθως σε κλίμακα για να υπάρχουν τμήματα απλοποιημένα και τμήματα με ιδιαίτερες λεπτομέρειες. Η θέση της έναρξης, του τερματισμού και των σημείων αναστροφής πρέπει να συνοδεύονται από τις εξασφαλίσεις ώστε να είναι εύκολο να προσδιοριστούν ανά πάσα στιγμή.



Εικόνα 6. Λεπτομέρεια γενικού Χάρτη – Τεκμηρίωση αλλαγής στην αγωνιστική διαδρομή.

Τέλος ο χάρτης πρέπει να συνοδεύεται από μία γραπτή έκθεση που να περιλαμβάνει σημειώσεις για το πώς έγινε η μέτρηση, δίνοντας έμφαση σε ασυνήθιστες πτυχές. Αναλυτικότερα πρέπει να περιλαμβάνει:

- αίτηση της πιστοποίησης της αγωνιστικής διαδρομής,
- περίληψη των μετρήσεων,
- επισκόπηση της διαδικασίας μέτρησης,
- λεπτομέρειες της διαδικασίας βαθμονόμησης,
- φύλλο δεδομένων για τις μετρήσεις με ασφάλινη μετροταινία,
- φύλλο δεδομένων για τη βαθμονόμηση του ποδηλάτου,
- φύλλο δεδομένων για τη μέτρηση της διαδρομής,
- χάρτη αγώνα.



Εικόνα 7. Γενικός χάρτης Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής.

1.4.1.8 Παραλλαγή της συμβατικής μεθόδου μέτρησης

Κατά τη μελέτη της βιβλιογραφίας για τις μεθόδους με τις οποίες μετράται το αγώνισμα του Μαραθώνιου Δρόμου διαπιστώθηκε πως αν και η IAAF δεν αποτρέπει τη μέτρηση των αγωνιστικών διαδρομών με διαφορετικές τεχνικές πέραν της συμβατικής, μέχρι τώρα δεν έχει γίνει πλήρης μέτρηση του συνόλου της μαραθώνιας διαδρομής των 42.195m με κάποια άλλη μέθοδο.

Το σύνηθες φαινόμενο είναι να προτείνεται μία τεχνική και να εφαρμόζεται σε μήκος δρόμου πολύ μικρότερο από 42.195m. Επιπλέον, σε ένα μεγάλο ποσοστό, εκτός από την προτεινόμενη μέθοδο εφαρμόζεται και η διαδικασία του βαθμονομημένου ποδηλάτου επικουρικά ή συγκριτικά.

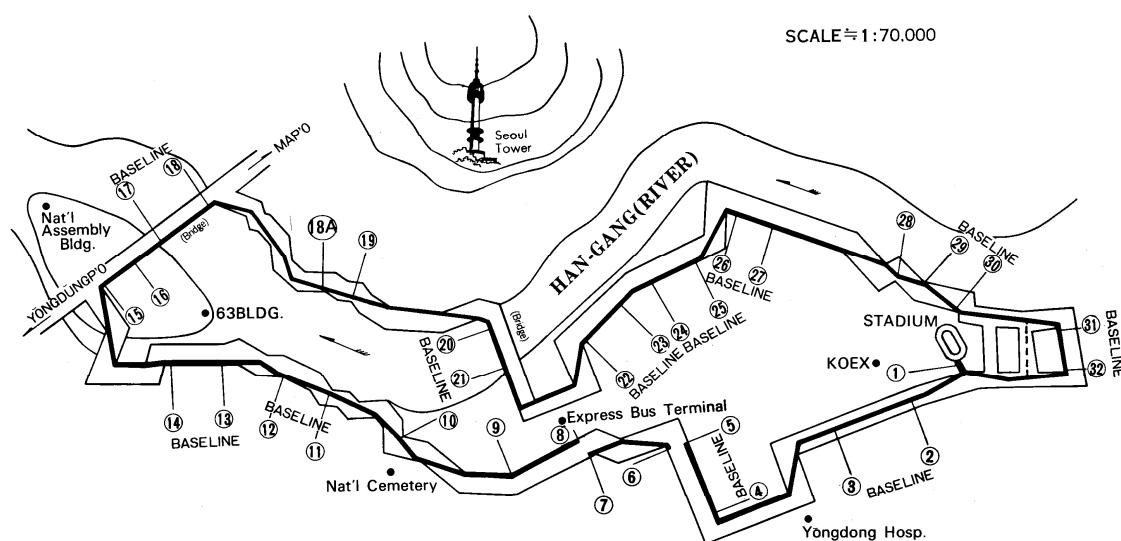
Αν και υπάρχουν πολλοί τρόποι για να μετρηθεί ένας αγώνας δρόμου εκτός σταδίου, η μέθοδος του βαθμονομημένου ποδηλάτου είναι αυτή που προτιμάται από τους επίσημους μετρητές. Είναι γεγονός ότι η IAAF δεν παροτρύνει τους μετρητές να χρησιμοποιήσουν μία συγκεκριμένη μέθοδο αλλά επισημαίνει ότι η μέθοδος του ποδηλάτου είναι εγκυρότερη για τη μέτρηση αγώνων δρόμου εκτός σταδίου. Αντίθετα, άλλοι οργανισμοί όπως η United States of America Track and Field (USATF), δεν αναγνωρίζουν τεχνικές όπως οδόμετρα ή τοπογραφικές εργασίες, οι οποίες περιλαμβάνουν το σύστημα ηλεκτρονικών οργάνων μέτρησης μηκών (Electronic Distance Measurement, EDM) και μετρήσεις πάνω σε τοπογραφικούς χάρτες.

Παρ' όλα αυτά, χρησιμοποιούνται τοπογραφικές διαδικασίες και κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης του ποδηλάτου αλλά και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της αγωνιστικής διαδρομής επικουρικά, διαδικασίες όπως η χρήση ασάλινης μετροταινίας μήκους από 30m έως 100m και η χρήση του συστήματος EDM για τον ακριβή προσδιορισμό και τοποθέτηση των ασαλένιων καρφιών κατά μήκος της διαδρομής βαθμονόμησης.

Κατά τις διαδικασίες μέτρησης του Μαραθώνιου δρόμου στους XXIV Ολυμπιακούς Αγώνες του 1988 στη Σεούλ, χρησιμοποιήθηκαν EDM για τη μέτρηση όλων των ευθύγραμμων τμημάτων που αποτελούσαν την αγωνιστική διαδρομή, η μέθοδος του βαθμονομημένου ποδηλάτου για τη μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής και για τις συμπληρωματικές μετρήσεις μικρών αποστάσεων, ασάλινη μετροταινία (Seoul Olympic Organizing Committee, 1988).

Με την επιστημονική ομάδα να αποτελείται από επιστήμονες, μηχανικούς και τεχνικούς που ειδικεύονται στο χώρο της τοπογραφίας, γεωδαισίας, χαρτογραφίας, φωτογραμμετρίας και των GPS τέθηκαν στόχοι για τη διοργάνωση ενός έγκυρου Μαραθώνιου Δρόμου στους Ολυμπιακούς Αγώνες του 1988:

- χάραξη της διαδρομής που θα ακολουθούσε ο Μαραθώνιος δρόμος,
- μέτρηση όλων των ευθύγραμμων τμημάτων που αποτελούσαν την αγωνιστική διαδρομή,
- μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής,
- δημιουργία μηκοτομής της διαδρομής,
- χαρτογράφηση της διαδρομής,
- διαδικασία ανάλυσης δεδομένων,
- σύνταξη τελικής αναφοράς.



Εικόνα 8. Η διαδρομή του Μαραθώνιου δρόμου, Σεούλ 1988

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων η διαδρομή χωρίστηκε σε ευθύγραμμα τμήματα που μετρήθηκαν με δύο όργανα EDM, τα οποία παρείχαν υψηλής ακρίβειας μετρήσεις. Επιπλέον προσημειώθηκαν σημεία πάνω στην διαδρομή εκ των οποίων έγινε επιλογή 33 σημείων αναφοράς όπως φαίνεται στην εικόνα 1.7, στα οποία καταγράφηκε η ένδειξη του μετρητή του Jones ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιήθηκαν, θερμόμετρο και βαρόμετρο, όπως απαιτεί η διαδικασία μέτρησης με το ποδήλατο, για την καταγραφή της θερμοκρασίας και της πίεσης.

Ο ποδηλάτης στην περίπτωση αυτή είναι αναγκασμένος να ποδηλατεί ακολουθώντας τα προσημασμένα, από την τοπογραφική διαδικασία, σημεία, με

σταθερή ταχύτητα και με όσο το δυνατόν μικρότερη παρέκκλιση. Σκοπός των διοργανωτών με το συνδυασμό των δύο τεχνικών ήταν να ελαχιστοποιηθούν τα πιθανά σφάλματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της μέτρησης με τη χρήση του ποδηλάτου και επομένως να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή μέτρηση.

Για να είναι επομένως η παραπάνω διαδικασία μέτρησης ακριβής, πρέπει να προσδιορισθεί ο παράγοντας ασφαλείας της διαδικασίας αυτής. Η απαίτηση από την IAAF είναι ο παράγοντας ασφαλείας να είναι μικρότερος από 0,1%. Η τιμή αυτή εξαρτάται από την εμπειρία και τις ικανότητες του ποδηλάτη.

1.5 Άλλες Προταθείσες Μέθοδοι Μέτρησης

1.5.1 Πειραματικός τρόπος μέτρησης μαραθώνιων αποστάσεων με την χρήση του DGPS



Εικόνα 9. Αεροφωτογραφία της Πανεπιστημιούπολης Curtin, Perth, Australia.

Σκοπός της παρακάτω έρευνας είναι να συγκριθεί ο μέχρι σήμερα αποδεκτός τρόπος του βαθμονομημένου ποδηλάτου με αυτόν της χρήσης του συστήματος DGPS (Differential GPS, διαφορικό GPS). Τμήμα της τρέχουσας έρευνας (Gordon, S., 2005) έγκειται στην ανεύρεση άλλων τεχνικών μέτρησης των μαραθώνιων αγωνισμάτων που να προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια μέτρησης σε σχετικά μικρότερο χρόνο και με λιγότερο κόστος. Για το λόγο αυτό συγκρίνεται η μέθοδος του βαθμονομημένου ποδηλάτου με αυτή στην οποία πάνω στο ποδήλατο προσαρμόζεται εξοπλισμός DGPS σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε τμήμα δρόμου της πανεπιστημιούπολης στο Περθ, δυτικής Αυστραλίας.

Στο πρώτο πείραμα επιλέχθηκε μία γραμμή βάσης μήκους 1km σε επίπεδο δρόμο. Ο σκοπός αυτού του πειράματος ήταν να καθοριστεί η ακρίβεια του μετρητή Jones για ένα ευθύ επίπεδο τμήμα του δρόμου.



Εικόνα 10. Η γραμμή βάσης εκτίνεται βόρεια σε μήκος 1Km.

Η γραμμή βάσης καθορίστηκε αρχικά από έναν τοπογράφο. Πριν από τη χρήση του μετρητή Jones, η γραμμή μετρήθηκε χρησιμοποιώντας έναν προβαθμονομημένο γεωδαιτικό σταθμό (EDM). Ο γεωδαιτικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε προσδιορίζει αποστάσεις με ακρίβεια $\pm 4\text{mm}$. Στη συνέχεια, η μέτρηση της απόστασης διορθώθηκε από συστηματικά σφάλματα λόγω θερμοκρασίας και πίεσης, και η γραμμή βάσης καθορίστηκε να είναι 1000m.

Δύο ποδηλάτες μέτρησαν τη γραμμή

βάσης αρκετές φορές στο σύνολο των διαφορετικών ημερών, καταγράφοντας τη θερμοκρασία και την πίεση. Από τις ενδείξεις του μετρητή Jones που καταγράφηκαν κατά τη διάνυση της γραμμής βάσης και προς τις 2 κατευθύνσεις, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι ακρίβειες των ποδηλάτων είναι περίπου $\pm 0.099\text{m}$ και $\pm 0.133\text{m}$, αντίστοιχα.

Στο δεύτερο πείραμα επιλέχθηκε να ελεγχθεί η απόδοση του Jones Counter σε μία κυκλική γραμμή βάσης μήκους 2.900m που δεν ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά μιας αγωνιστικής περιοχής. Η γραμμή βάσης βρίσκεται μέσα στην πανεπιστημιούπολη Curtin και ένα από τα πλεονεκτήματα αυτής της επιλογής είναι ο μικρός κυκλοφοριακός φόρτος.

Η διαδρομή των 2.900m είναι μια κλειστή διαδρομή όπου η έναρξη και ο τερματισμός συμπίπτουν. Στη διαδρομή έχει επίσης προκαθοριστεί η συντομότερη πιθανή διαδρομή και μπορεί να ακολουθηθεί εύκολα από τον ποδηλάτη. Οι ποδηλάτες πρέπει απλώς να διατηρήσουν μια σταθερή απόσταση από το κράσπεδο ίση με 0,4m, για το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής. Υπήρξαν μόνο 3 περιπτώσεις όπου ο ποδηλάτης έπρεπε να αφήσει το κράσπεδο. Επομένως, με αυτό το πείραμα ελέγχεται αν ο Jones Counter είναι ανεξάρτητος από τον καθορισμό της διαδρομής.

Η εικόνα 1-9 παρουσιάζει ένα τμήμα της διαδρομής όπου οι ποδηλάτες αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τη σταθερή καθορισμένη απόσταση από το κράσπεδο και να διέλθουν μέσω μιας διασταύρωσης κυκλικής κυκλοφορίας. Αυτές ήταν οι μόνες περιπτώσεις όπου οι ποδηλάτες κλήθηκαν να λάβουν μια απόφαση σχετικά με τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν.



Εικόνα 11. Τμήμα διαδρομής που παρεκκλίνει από το κράσπεδο μέσω μιας διασταύρωσης κυκλικής κυκλοφορίας.

Μετά από την επεξεργασία των ενδείξεων του Jones Counter, ο μέσος όρος των δυο ποδηλάτων διέφερε μόνο κατά 0,02m. Η μέση απόσταση του τρίτου ποδηλάτη ήταν μόνο 0,30m διαφορετική από τους άλλους δύο ποδηλάτες.

Ο στόχος του τρίτου πειράματος ήταν να αξιολογηθεί η ακρίβεια της μεθόδου του βαθμονομημένου ποδηλάτου μέσα από μια διαδρομή μήκους 10Km. Αντίθετα από τα προηγούμενα δύο πειράματα, η συντομότερη πιθανή διαδρομή αποτελεί πλέον καθοριστικό παράγοντα. Σε κάθε ποδηλάτη ζητήθηκε στο σημείο κυκλικής κυκλοφορίας της διαδρομής των 10Km να επιλέξει και να ακολουθήσει τη συντομότερη πιθανή διαδρομή. Μόλις κατανοήσουν αυτή την πορεία, πρέπει να διανύσουν το τμήμα της διαδρομής που διέρχεται από την διασταύρωση κυκλικής κυκλοφορίας, 5 φορές και όσο το δυνατόν πιο πιστά.

Η διαδρομή μήκους 10Km αποτελείται σε ένα μεγάλο ποσοστό από τμήματα πεζόδρομου και σε ένα μικρότερο ποσοστό από τμήματα οδικού άξονα. Επομένως, τα πιθανά εμπόδια είναι πεζοί ή αυτοκίνητα.

Τα αποτελέσματα για τους 4 ποδηλάτες και για τον Jones Counter μετά από τις 6 επαναλήψεις αυτής της διαδικασίας παρουσιάζουν την τυπική απόκλιση για κάθε

ποδηλάτη να είναι περίπου ίδια αν και οι μέσοι όροι σε μερικές περιπτώσεις είναι ελάχιστα διαφορετικοί.

Αυτά τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι η εγκυρότητα της μεθόδου του βαθμονομημένου ποδηλάτου δικαιολογείται από άποψη ακρίβειας και ταχύτητας μέτρησης.

Δεδομένου ότι οι μετρητές είναι γνώστες του αντικειμένου, η σημαντικότερη αβεβαιότητα με τη μέθοδο του βαθμονομημένου ποδηλάτου δεν έγκειται στην ακρίβεια του οργάνου του Jones, αλλά στον υποκειμενικό τρόπο προσδιορισμού της συντομότερης πιθανής διαδρομής από το μετρητή. Αυτό μαρτυρούν τα αποτελέσματα από τα πειράματα 2 και 3. Στο δεύτερο πείραμα δεν υπήρχε περιθώριο λάθους, καθώς οι ποδηλάτες δεν παίρνουν καμία πρωτοβουλία από άποψη επιλογής της συντομότερης πιθανής διαδρομής, με συνέπεια την άριστη συμφωνία στα αποτελέσματα των τριών ποδηλατών.

Τέλος το DGPS, περιλαμβάνει επεξεργασμένες παρατηρήσεις GPS με σκοπό να αφαιρέσει μερικά συστηματικά λάθη βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια της μέτρησης του GPS.

Οι κύριες διαφορές DGPS και GPS είναι:

- Οι διαφορικές διορθώσεις λαμβάνονται από ένα σταθμό βάσης
- Το λογισμικό πλοήγησης χρησιμοποιείται έτσι ώστε στην επεξεργασία που θα γίνει μετά τις μετρήσεις να λαμβάνει δεδομένα και από τους δύο δέκτες
- Η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στο DGPS είναι της τάξης του 1m, ενώ ο οριζοντιογραφικός προσδιορισμός θέσης του GPS είναι της τάξης των 10m.

Ένας από τους στόχους του πειράματος ήταν να ερευνηθεί εάν το DGPS είναι σε θέση να παρέχει καλύτερα αποτελέσματα για τη μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής από την κλασική μέθοδο προσδιορισμού θέσης με ένα φορητό δέκτη GPS.

Καταληκτικά αναφέρεται πως το DGPS υφίσταται τα ίδια προβλήματα με οποιαδήποτε μεθοδολογία GPS, όπως απώλεια σήματος λόγω μη οπτικής επαφής.

1.5.2 Εξελιγμένες τοπογραφικές τεχνικές για τη Μέτρηση της Μαραθώνιας Διαδρομής

Η τεχνική εφαρμόστηκε σε ένα τμήμα δρόμου 500m, στην περιφερειακή οδό του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Το τμήμα αυτό επιλέχτηκε με σκοπό να μην είναι μεγαλύτερο από 500m, να μην είναι ευθύγραμμο, και να παρουσιάζει στροφές και υψομετρική διαφορά μεταξύ αρχής και τέλους. Αν και μικρού μήκους είναι επαρκές για να διέλθει η συντομότερη πιθανή διαδρομή, καθώς ένα μεγαλύτερο τμήμα είναι απαγορευτικό λόγω κυκλοφοριακού φόρτου. Η διαδρομή αυτή μετρήθηκε με τη μέθοδο του βαθμονομημένου ποδηλάτου, με συμβατική τοπογραφία (χρήση γεωδαιτικού σταθμού) και με επίγειες μεθόδους σάρωσης laser (TSAKIRI, M., et al, 2004).

1.5.2.1 Μέτρηση τμήματος με τη συμβατική μέθοδο

Αρχικά για να παραχθεί μια ένδειξη της ακρίβειας της μεθόδου του ποδηλάτου, μετρήθηκε η γραμμή βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας δύο δέκτες GPS (Javad, Legacy) καθώς επίσης και μια μεταλλική μετροταινία 50m. Η γραμμή βαθμονόμησης

ήταν ένα ευθύγραμμο, επίπεδο τμήμα δρόμου 300m, όπως προτείνεται από το κανονισμό USATF (RRTC, 2003), μέσα στη Πολυτεχνειούπολη. Οι δύο δέκτες GPS μετρούσαν για 30 λεπτά, λαμβάνοντας δεδομένα από 8 δορυφόρους. Από την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίστηκε το μήκος της γραμμής ίσο με 300,001m με εσωτερική ακρίβεια $\pm 0,0015m$. Στη συνέχεια ο μετρητής του Jones προσαρμόστηκε σε αγωνιστικό ποδήλατο, ο αναβάτης του ήταν ένας νεαρός αθλητής ποδηλασίας. Τα λάστιχα του ποδηλάτου ζεστάθηκαν πριν τη διαδικασία της προ-βαθμονόμησης και η θερμοκρασία τους μετρήθηκε και ήταν σταθερή στους $14^{\circ}C$ καθ' όλη τη διάρκεια των 4 μετρήσεων (2 ανά κατεύθυνση).

Ο ποδηλάτης ακολούθησε, όσο ήταν δυνατό, τη συντομότερη πιθανή διαδρομή, που ήταν σημαδεμένη πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Τα αποτελέσματα του $1^{ου}$ και $2^{ου}$ γύρου είναι 437,75m και 440,05m αντίστοιχα. Οι αποστάσεις είναι χωρίς την ενσωμάτωση του παράγοντα πρόληψης SCPF (short course prevention factor), η διαφορά μεταξύ τους είναι λιγότερο από 0,8%. Που αντιστοιχεί στην επιτρεπτή διαφορά μεταξύ των δύο μετρήσεων της γραμμής βαθμονόμησης για την IAAF, και επομένως δεν απαιτείται $3^{η}$ μέτρηση. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός ότι ο ποδηλάτης δεν ακολούθησε επακριβώς τη συντομότερη πιθανή διαδρομή, στον 1° γύρο καθώς ποδηλατούσε στη κατηφόρα με μεγάλη ταχύτητα, ενώ στο 2° γύρο, προς την αντίθετη κατεύθυνση ακολούθησε ακριβέστερα τη συντομότερη πιθανή διαδρομή.

Ο μέσος όρος των δύο γύρων (δηλ. 438.9m) διαφέρει από την αντίστοιχη απόσταση που μετρήθηκε με τη ταινία και με EDM κατά 2.020m και 1.993m, αντίστοιχα. Λόγω της δυσκολίας να ακολουθηθεί απολύτως η συντομότερη πιθανή διαδρομή, η χρήση του παράγοντα SCPF 0,1% έχει ενσωματωθεί στη διαδικασία βαθμονόμησης έτσι ώστε, και με τα λίγα σφάλματα λόγω απόκλισης από τη συντομότερη πιθανή διαδρομή, η απόσταση αυτή να μην είναι ποτέ συντομότερη.

Καταληκτικά, οι διαφορές των δύο μεθόδων έγκεινται στο γεγονός ότι τα καρφιά για τον προσδιορισμό της συντομότερης πιθανής διαδρομής τοποθετήθηκαν ακριβώς 0,30m από την άκρη του κρασπέδου επομένως η αποφυγή πιθανών εμποδίων (φρεάτια συλλογής όμβριων υδάτων), συνεπάγεται αύξηση της απόστασης που θα διανύσει κάποιος, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτό να διανύσει ακριβώς την συντομότερη πιθανή διαδρομή.

1.5.2.2 Κλασική τοπογραφική μέθοδος

Η τοπογραφική διαδικασία εφαρμόστηκε με σκοπό την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Η συντομότερη πιθανή διαδρομή υλοποιήθηκε με τη χρήση 39 καρφιών HILTI, όπου στα ευθύγραμμα τμήματα τοποθετήθηκαν καρφιά μόνο στην αρχή και το τέλος τους. Η πασσάλωση στις κυρτές περιοχές έγινε κάθε 3m, όπως υποδεικνύεται από τους a priori γεωμετρικούς υπολογισμούς για την ακτίνα καμπυλότητας που ποικίλλει από 15m σε 150m. Η επιλεγείσα περιοχή μετρήθηκε ανεξάρτητα με ασάλινη μετροταινία 50m και με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TC1800 (ονομαστικής ακρίβειας $\pm 2mm \pm 2ppm$ για τις αποστάσεις και $1''$ για τις γωνίες), ο οποίος ήταν πρόσφατα βαθμονομημένος. Η μέτρηση όλων των καμπύλων και ευθειών γραμμών με τη μετροταινία και το γεωδαιτικό σταθμό έδωσε συνολικό μήκος της διαδρομής 436.907m $\pm 18.5mm$.

Οι (x, y, H) συντεταγμένες των 39 σημείων υπολογίστηκαν σε ένα τοπικό τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα και οι κεκλιμένες αποστάσεις μεταξύ των σημείων υπολογίστηκαν από την σχέση: $D = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta H^2)}$

Το συνολικό μήκος της διαδρομής που προέκυψε από τις υπολογισμένες συντεταγμένες είναι 436,878m \pm 30,8mm. Η διαφορά των 29mm μεταξύ των δύο υπολογισμών δεν είναι στατιστικά σημαντική σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

1.5.2.3 Μέθοδος μέτρησης με την χρήση επίγειου σαρωτή Laser (Terrestrial Laser Scanner)

Οι επίγειοι σαρωτές Laser παρέχουν ένα πυκνό σύνολο τρισδιάστατων σημείων, σχετικά με τη θέση του σαρωτή, στα άγνωστα σημεία, που καλείται νέφος σημείων. Ο όγκος των σημείων και η υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας της σάρωσης Laser προσφέρουν στους χρήστες την ικανότητα ανάπτυξης μιας ομαλής επιφάνειας που επακριβώς αντιπροσωπεύει τη σαρωμένη περιοχή, αποτελώντας ουσιαστικά ένα μικρής κλίμακας ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM).



Εικόνα 12. Επίγειος Σαρωτής Laser Riegl LMS-Z360.

Η συλλογή δεδομένων για την περιοχή ενδιαφέροντος έγινε με τη

χρήση του σαρωτή Laser Riegl LMS-Z360. Ο εν λόγω σαρωτής (εικόνα 12) έχει εμβέλεια μέχρι 200m και οπτικό πεδίο 90 μοίρες. Οι κατασκευαστές του οργάνου αναφέρουν ανάλυση μέτρησης 5mm και μια τυπική κατά μέσο όρο ακρίβεια της τάξης των 6mm.

Το όργανο στήθηκε τρεις φορές και επομένως πραγματοποιήθηκε ισοδύναμος αριθμός σαρώσεων. Πάνω στα 39 καρφιά που είχαν καρφωθεί κατά τη διάρκεια της τοπογραφικής διαδικασίας τοποθετήθηκαν κυλινδρικοί ανακλαστήρες διαστάσεων 50mm ύψους και διαμέτρου 50mm. Γεγονός που εξασφαλίζει κοινά σημεία και επομένως ευκολότερη σύγκριση. Επιπρόσθετα, ίδιου τύπου ανακλαστήρες τοποθετήθηκαν περιμετρικά της περιοχής ενδιαφέροντος για να διευκολύνουν τη σύνδεση

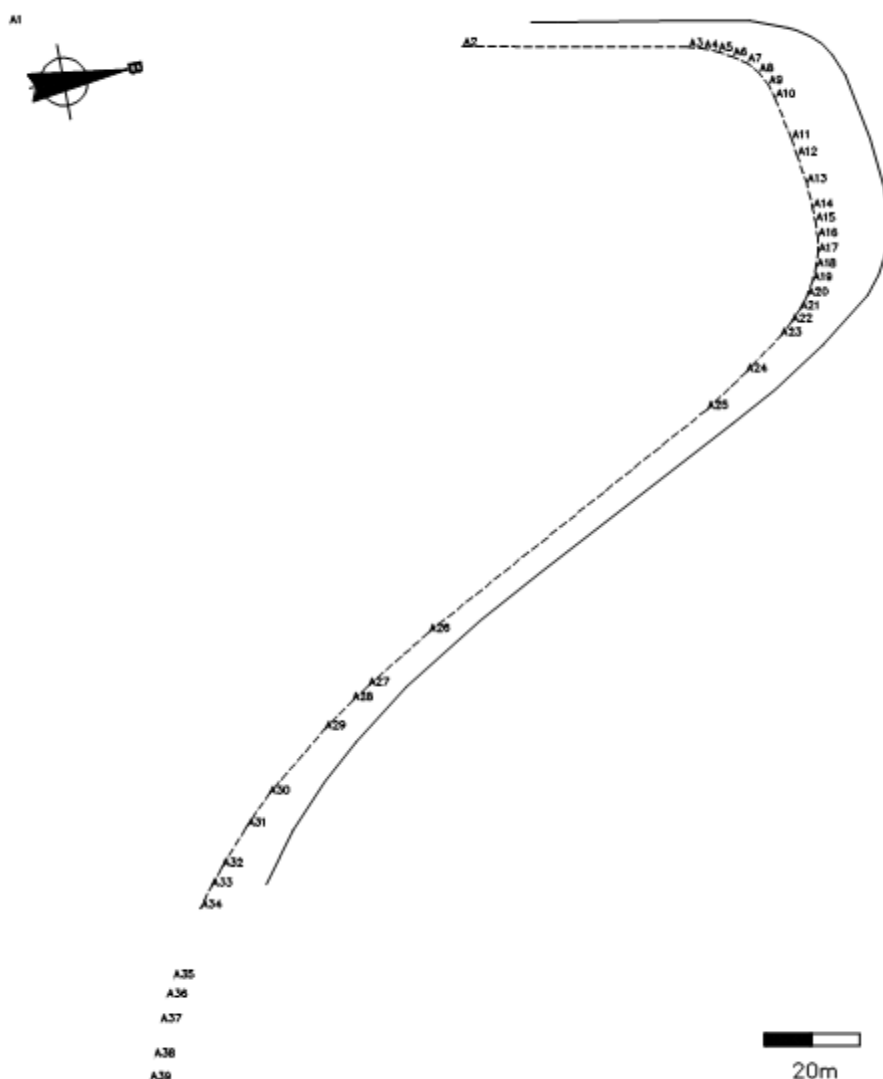
των σαρώσεων μεταξύ τους. Και οι τρεις σαρώσεις λήφθηκαν με γωνιακή ανάλυση 120mdegrees, η οποία συστήνεται από τους κατασκευαστές για την γρήγορη παραγωγή DTM, επαρκούς ακρίβειας. Κάθε σάρωση διήρκεσε λιγότερο από 6min, συμπεριλαμβανομένης της σάρωσης που απαιτείται τοπικά σε κάθε στόχο. Τα ψηφιακά αρχεία που προέκυψαν είχαν μέγεθος 1,5Gb που αντιστοιχεί σε νέφος με 15 εκατομμύρια σημεία. Το μεγάλο μέγεθος αρχείων οφείλεται στις 360 μοίρες σκηνή που σαρώνει, θεωρητικά ο σαρωτής πρέπει να αποκτήσει σημεία μόνο για την περιοχή ενδιαφέροντος.

Οι γνωστές συντεταγμένες των σημείων από τη τοπογραφική διαδικασία, χρησιμοποιήθηκαν για να επιτευχθεί η γεωαναφορά του αποκτηθέντος νέφους σημείων στο τοπικό γεωδαιτικό σύστημα, όπως αυτό καθορίστηκε από τις μετρήσεις των γεωδαιτικών σταθμών. Η εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για το γεωαναφερμένο νέφος σημείων έδωσε διαφορές που κυμαίνονται από 3mm έως 8mm από τις συντεταγμένες των γνωστών σημείων. Οι ανωτέρω υπολογισμοί και η σχετική επεξεργασία εκτελέστηκαν στο πακέτο λογισμικού RiSCAN PRO (www.riegl.com). Από το νέφος σημείων, εξήχθη το DTM του δρόμου, το οποίο υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό PolyWorks Modeler

(www.innovmetric.com). Ένα τέτοιο μοντέλο εδάφους μπορεί έπειτα να εισαχθεί σε οποιοδήποτε λογισμικό, χαμηλού κόστους που επιτρέπει τη ψηφιοποίηση γραμμών, κατ' αυτό τον τρόπο, η συντομότερη πιθανή διαδρομή μπορεί να καθοριστεί εύκολα με τη ψηφιοποίηση ευθειών γραμμών που απέχουν 30cm από το κράσπεδο σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Όπως φαίνεται στην εικόνα I-13 η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει τη μέτρηση της συντομότερης πιθανής διαδρομής όπως καθορίζεται από τα πασσαλωμένα σημεία (A1 έως A39) που μετρήθηκαν με τη τοπογραφική διαδικασία. Η συνεχόμενη γραμμή αντιπροσωπεύει τη ψηφιοποιημένη γραμμή της συντομότερης πιθανής διαδρομής από το μοντέλο του σαρωτή Laser. Η ψηφιοποιημένη γραμμή προσδιορίστηκε χωρίς την πρωτύτη γνώση της γραμμής που προέκυψε από τις τοπογραφικές διαδικασίες (διακεκομμένη γραμμή). Οι δυο γραμμές διαφέρουν 5 cm, επομένως θεωρείται ότι συμπίπτουν. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το συνολικό μήκος της διαδρομής μετρήθηκε στις τρεις διαστάσεις (συμψηφισμός της κλίσης του εδάφους) και όχι στο επίπεδο. Στο παράδειγμα αυτό η απόσταση μεταξύ των σημείων A2 και A34 πάνω από τα καρφιά είναι 295,03m, ενώ για το ίδιο τμήμα η ψηφιοποιημένη γραμμή έχει μήκος 296,70m. Αυτή η διαφορά των δύο αποτελεσμάτων έγκειται στο τρόπο με τον οποίο ο χειριστής ψηφιοποιώντας ορίζει τη συντομότερη πιθανή διαδρομή. Από την άλλη μεριά, τα καρφιά που έχουν τοποθετηθεί με τοπογραφικές διαδικασίες βασίζονται σε γεωδαιτικούς υπολογισμούς, αλλά στην πραγματικότητα κανένας αθλητής δεν μπορεί να ακολουθήσει επακριβώς αυτή τη διαδρομή. Τέλος όταν η ίδια διαδρομή μετρήθηκε από τις συντεταγμένες των σημείων, που προήλθαν από τα γεωαναφερμένα νέφη σημείων, ήταν 295,06m το οποίο μήκος είναι εντός των ορίων των κανονισμών της IAAF (αβεβαιότητα 0,1%).

Στο πλαίσιο των κανονισμών της IAAF, η μέθοδος του βαθμονομημένου ποδηλάτου είναι και η αποδεκτή μέθοδος για τις μετρήσεις διαδρομών εκτός σταδίου. Αν και η μέθοδος αυτή είναι σαφώς γρηγορότερη από τις δύο που περιγράφονται παραπάνω, παρέχει μια τιμή του μεγέθους της απόστασης της διαδρομής. Εντούτοις, η επανάληψή της είναι αμφισβητήσιμη καθώς αυτή η μέθοδος δεν έχει κανένα μόνιμο αρχείο της πεπατημένης διαδρομής. Σε περίπτωση μελλοντικής χρήσης του ίδιου δρόμου, πρέπει να πραγματοποιηθούν νέοι υπολογισμοί. Δεν είναι πάντα πρακτικό να τοποθετούνται δέκτες GPS πάνω σε ένα ποδήλατο και να καταγράφουν την πορεία του ποδηλάτου κατά μήκος της διαδρομής, καθώς συναντώνται προβλήματα όπως η διακοπή της οπτικής επαφής μεταξύ του επίγειου δέκτη και των δορυφόρων. Το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση του μήκους της γραμμής βαθμονόμησης, αν και, η τυπική τοπογραφική διαδικασία είναι καταλληλότερη για αυτό το στόχο.



Εικόνα 13. Η συντομότερη πιθανή διαδρομή όπως προέκυψε από την τοπογραφική αποτύπωση (διακεκομμένη) και από τη ψηφιοποίηση πάνω στο αρχείο της σάρωσης (συνεχόμενη γραμμή).

Η τυπική τοπογραφική διαδικασία με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού και ασφάλινης μετροταινίας, αν και είναι αποδεκτή μέθοδος από την IAAF, είναι πολύ χρονοβόρα στην αποτύπωση μη ευθύγραμμων γραμμών. Σε αυτή την έρευνα, η τοπογραφική διαδικασία ακολουθήθηκε για να καθορίσει τη συντομότερη πιθανή διαδρομή, αλλά πρακτικά δεν μπορεί να σχεδιαστεί μια τέτοια διαδρομή. Η προσημασμένη γραμμή που υποδεικνύει στους αθλητές την αγωνιστική διαδρομή δεν είναι σε καμία περίπτωση μία γεωμετρικά σχεδιασμένη γραμμή.

Το παραπάνω πείραμα δείχνει πως η μέτρηση αγωνιστικών διαδρομών εκτός σταδίου είναι δυνατόν να γίνει με τη χρήση επίγειου σαρωτή Laser. Το παραγόμενο DTM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό σύντομων διαδρομών και τη σύγκριση αυτών πριν τη τελική επιλογή. Η μέτρηση των αποστάσεων μπορεί εύκολα να γίνει σε ένα περιβάλλον CAD. Το παραχθέν νέφος σημείων επιτρέπει τη δημιουργία ενός εικονικού μοντέλου της διαδρομής, όπου όλα τα χαρακτηριστικά είναι εμφανή. Αυτές οι μετρητικές πληροφορίες, καθώς και πρόσθετα στοιχεία όπως οι μηκοτομές, μπορούν απλά να εξαχθούν και από ένα τοπογραφικό χάρτη. Τα δεδομένα από τη τρισδιάστατη καταγραφή της επιφάνειας του δρόμου, μπορούν να

χρησιμοποιηθούν αν πάσα στιγμή για τον έλεγχο της διαδρομής. Τέλος, οι κανονισμοί της IAAF καθορίζουν ότι η εφαρμογή για να πιστοποιηθεί πρέπει να περιλαμβάνει έναν λεπτομερή χάρτη της διαδρομής.

Το δύο διαστάσεων (2D) σχέδιο της διαδρομής παράγεται εύκολα σε ένα περιβάλλον CAD από τα τρισδιάστατα δεδομένα του νέφους σημείων, καθώς περιέχει όλα τα βασικά σημεία (έναρξης, τερματισμού, αναστροφές, θέσεις κώνων). Το κύριο εμπόδιο της μεθόδου, της επίγειας σάρωσης Laser είναι η αργή διαδικασία κατά το στήσιμο του οργάνου. Θεωρώντας ότι για μία διαδρομή περίπου 500m, απαιτήθηκαν τρεις θέσεις σάρωσης του επίγειου σαρωτή Laser, μια μαραθώνια διαδρομή θα καλυπτόταν με τουλάχιστον 85 σαρώσεις. Επομένως, η μέθοδος είναι χρονοβόρα για πρακτική εφαρμογή. Εντούτοις, υπάρχουν εφαρμογές, (www.geodata.at) αναφερόμενες στον τρόπο με τον οποίο ο σαρωτής τοποθετείται σε κατάλληλη θέση σε κινούμενο όχημα επιτρέποντας τη γρήγορη απόκτηση δεδομένων. Με την επιπλέον τοποθέτηση δέκτη GPS παρέχονται οι απαραίτητες πληροφορίες για την γεωαναφορά του νέφους σημείων (TSAKIRI, M., et al, 2004).

Η μέθοδος μέτρησης της συντομότερης πιθανής διαδρομής με την χρήση επίγειου σαρωτή Laser (Terrestrial Laser Scanner) εξασφαλίζει ότι το παραχθέν νέφος σημείων επιτρέπει τη δημιουργία ενός πρόσφατου εικονικού μοντέλου της διαδρομής, στο οποίο κάθε λεπτομέρεια - αλλαγή είναι εμφανής. Η ακρίβεια μέτρησης της συντομότερης πιθανής διαδρομής είναι πολλή καλύτερη από την απαιτούμενη ακρίβεια που μέχρι σήμερα ορίζεται από την IAAF γεγονός που καθιστά τη μέτρηση με τη μέθοδο αυτή αξιόπιστη. Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου στο σύνολο των 42.195m, τα μειονεκτήματα είναι η πληθώρα των σαρώσεων, το μεγάλο χρονικό διάστημα των μετρήσεων υπαίθρου, το κόστος απόκτησης του οργάνου, ο μεγάλος όγκος δεδομένων αλλά και το γεγονός ότι είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που εφαρμόζεται από επιστημονικό προσωπικό.

1.5.3 Φωτογραμμετρική μέθοδος

Φωτογραμμετρία είναι η τέχνη, επιστήμη και τεχνική απόκτησης αξιόπιστων μετρητικών πληροφοριών για φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσω διαδικασιών καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας, φωτογραφικών εικόνων, πρότυπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλων φαινομένων (McGlone J.C. (ed.), 2004).

Η βασική ιδέα για τη χρήση της φωτογραμμετρίας στη μέτρηση του Μαραθώνιου αγωνίσματος προήλθε από το γεγονός ότι η φωτογραμμετρική μέτρηση μπορεί να είναι τόσο αποτελεσματική όσο η συμβατική μέθοδος του βαθμολογημένου ποδηλάτου, που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για τη μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής.

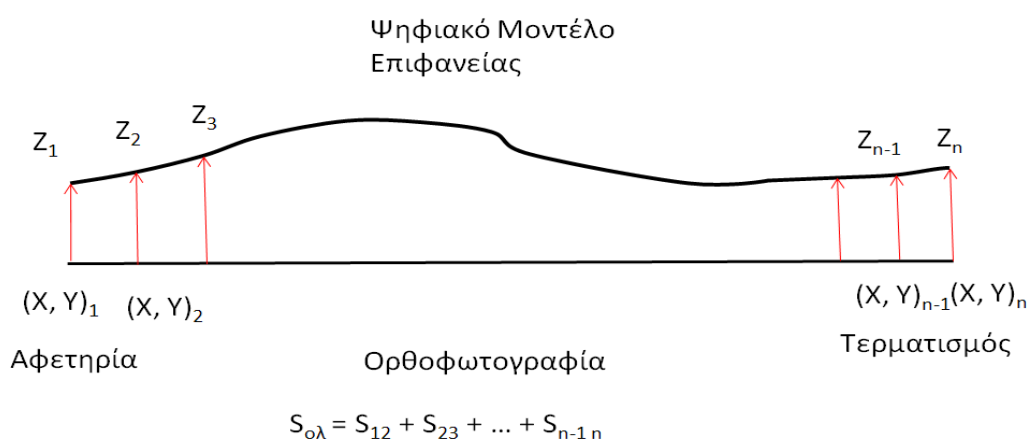
Ο σκοπός της πρότασης για τη χρήση της φωτογραμμετρίας είναι ότι αυτή η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιείται για να ενισχύσει (και όχι απαραίτητα να αντικαταστήσει) τις υπάρχουσες μεθόδους, ειδικότερα σε γεγονότα μεγάλης εμβέλειας όπως ένας Μαραθώνιος.

Πριν την εφαρμογή οποιασδήποτε φωτογραμμετρικής διαδικασίας γίνεται μία προμελέτη κατά την οποία επιλέγονται τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και οι παράμετροι των διαδικασιών που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να επιτευχθεί ο εκάστοτε στόχος. Η μικρή κλίμακα των α/φ που χρησιμοποιεί η φωτογραμμετρία δίνει τη δυνατότητα μέτρησης του συνόλου της διαδρομής, σε αντίθεση με τις

τοπογραφικές μεθόδους (χρήση γεωδαιτικών σταθμών ή επίγειων σαρωτών Laser) όπου κάτι τέτοιο είναι αδύνατον, καθώς δεν είναι εύκολη η κάλυψη του αντικειμένου.

Παρόλα αυτά η φωτογραμμετρική διαδικασία μπορεί να είναι και εξαρτημένη από τοπογραφικές μετρήσεις (μέτρηση φ/σ με GPS) στην ευρύτερη περιοχή του αντικειμένου, χωρίς κάτι τέτοιο να είναι καθοριστικό καθώς με τη φωτογραμμετρία δίνεται η δυνατότητα μέτρησης της διαδρομής πάνω σε ορθοφωτογραφία. Ουσιαστικά πρόκειται για μία αντίστροφη διαδικασία όπου επιτρέπει την εξαγωγή οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (X,Y) από τη δεδομένη (και όχι την παραχθείσα) ορθοφωτογραφία και στη συνέχεια με παρεμβολή στο DTM αντιστοιχίζεται μία τιμή υψομέτρου $z=f(x,y)$ για κάθε ζευγάρι συντεταγμένων.

Αναλυτικότερα ένας δεύτερος εναλλακτικός φωτογραμμετρικός τρόπος με τον οποίο μπορεί να μετρηθεί η Διαδρομή είναι πάνω σε ορθοφωτογραφία. Ο προσδιορισμός των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων των κορυφών της διαδρομής γίνεται πάνω στην ορθοφωτογραφία και στη συνέχεια με παρεμβολή αυτών τιμών στο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DSM) δύναται να προσδιοριστεί η τιμή του υψομέτρου για κάθε κορυφή. Τέλος ο υπολογισμός του μήκους προκύπτει από τις τρισδιάστατες συντεταγμένες των κορυφών με την εφαρμογή της σχέσης $D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$.



Εικόνα 14. Προσδιορισμός των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων X, Y από την ορθοφωτογραφία και της υψομετρικής συντεταγμένης Z μετά από παρεμβολή στο DTM.

Κεφάλαιο 2

Εν τάχει η φωτογραμμετρική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής είναι:

- εύρεση του συνόλου των α/φ που απεικονίζουν τη διαδρομή, σε κατάλληλη κλίμακα,
- ψηφιοποίηση τους και εισαγωγή των ψηφιοποιημένων εικόνων που προκύπτουν σε ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό (PhotoMod 4.4),
- αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού,
- αποκατάσταση του εξωτερικού προσανατολισμού, μέτρηση φωτοσταθερών (φ/σ) στην ύπαιθρο με τη χρήση του συστήματος GPS,
- τρισδιάστατη απόδοση της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής (3D polyline),
- και εξαγωγή της 3D polyline στο πρόγραμμα AutoCad, όπου έγινε και η μέτρηση του μήκους της.

Η δημιουργία ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (Digital Surface Model, DSM) καθώς και η σύνταξη ορθοφωτογραφίας (ο/φ) πλάτους 100m εκατέρωθεν της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής είναι φωτογραμμετρικές διαδικασίες που εκτελούνται στο πρόγραμμα PhotoMod και δεν συμβάλουν στην αυτό καθ' αυτό μέτρηση της Διαδρομής. Τέλος η σύνταξη μηκοτομής της Διαδρομής (όχι του άξονα του δρόμου) έγινε στο πρόγραμμα GeoCalc.

2.1 Περιγραφή Δεδομένων

Αρχικός στόχος ήταν η εύρεση πρόσφατων αεροφωτογραφιών (α/φ) που στο επικαλυπτόμενο τμήμα τους να περιέχεται το σύνολο της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής. Στην Ελλάδα δύο είναι οι χορηγοί αεροφωτογραφικού υλικού, η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) και ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (ΟΚΧΕ). Με το πέρας της πρώτης επίσκεψης, έγινε σύγκριση των πρώτων στοιχείων :

- από ΓΥΣ: α/φ κλίμακας 1:15.000, φωτοληψίας 2005, έγχρωμες
- από ΟΚΧΕ: α/φ κλίμακας 1:10.000, φωτοληψίας 06/2001, έγχρωμες.

Επιλέχθηκαν οι α/φ από τη ΓΥΣ σε μορφή έγχρωμων διαθετικών καθώς ήταν πιο πρόσφατες και προφανώς εμπεριέχουν όλες τις πιθανές αλλαγές στους δρόμους, οι οποίες έγιναν κατά τη διάρκεια προετοιμασίας της Χώρας για τους Ολυμπιακούς Αγώνες της Αθήνας το 2004. Συνεπώς τα πρώτα δεδομένα για τη Φωτογραμμετρική Μέτρηση της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής αποτελούνται από 34 έγχρωμα διαθετικά, αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:15.000, φωτοληψίας του 2005. Οι αριθμοί των α/φ είναι με κατεύθυνση από Μαραθώνα προς Αθήνα:

- 1^η λωρίδα με τις: 278309, 278308, 278307, 278306, 278305, 278304,
- 2^η λωρίδα με τις: 278281, 278282, 278283, 278284, 278285, 278286, 278287, 278288,

- τέλος 10 ζεύγη: 277398-399, 278085-086, 278006-007, 278482-483, 278961-961, 278600-601, 278645-646, 278718-719, 278753-754, 278540-541.

Στο σύνολο των οποίων απεικονίζονται οι οδοί: Λεωφόρος Μαραθώνος, Λεωφόρος Μεσογείων, Λεωφόρος Μιχαλακοπούλου, Λεωφόρος Φειδιππίδου, Λεωφόρος Βασ. Σοφίας, Ηρώδου Αττικού, οι εν λόγω αποτελούν και τη διαδρομή που ακολουθεί ένας δρομέας από την αφετηρία στο Μαραθώνα μέχρι τον τερματισμό στο Καλλιμάραρο όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1.

Η επιλογή της κλίμακας των α/φ έγινε με σκοπό να καλύπτει τη μέτρηση της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής από άποψη ακρίβειας. Για να επιτευχθεί η φωτογραμμετρική μέτρηση του συνόλου στις διαδρομές των 42.195m με ακρίβεια $\pm 42m$ πρέπει οι αρχικές α/φ κλίμακας 1:15.000 να σαρωθούν σε φωτογραμμετρικό ψηφιακό σαρωτή μεγάλης ακρίβειας με μέγεθος εικονοστοιχείου στα 21 μm , γεγονός που επιτρέπει την αναγνώριση αντικειμένων έως και 0,15 m πάνω στις ψηφιοποιημένες πλέον α/φ.

Οι αεροφωτογραφίες ήταν σε αναλογική μορφή και ψηφιοποιήθηκαν, με σάρωση των αναλογικών διαθετικών σε ψηφιακό σαρωτή Photoscan, μεγάλης ακρίβειας με ραδιομετρική ανάλυση 8 bits και χωρική ανάλυση 21 μm (1200 dpi) (βλέπε Κεφάλαιο 3, παράγραφος 1).

Η μηχανή εναέριας λήψης των αεροφωτογραφιών είναι η ZEISS RMK TOP 15 με σταθερά 153,120 mm, από την οποία εμφανίζονται α/φ διαστάσεων 230 x 230 mm με οκτώ εικονοσήματα. Τα στοιχεία πτήσης είναι: 60% κατά μήκος επικάλυψη, 30% κατά πλάτος και ύψος πτήσης περίπου 2300m.

Όλες οι μετέπειτα διαδικασίες που θα ακολουθήσουν έχουν σκοπό την εξαγωγή της μετρητικής πληροφορίας. Η διαδικασία της σάρωσης (ψηφιοποίηση) των αναλογικών α/φ είναι απαραίτητη καθώς οι σύγχρονοι ψηφιακοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί δέχονται μόνο ψηφιακές (ψηφιοποιημένες) εικόνες.

2.2 Σάρωση αεροφωτογραφιών



Εικόνα 15. Scanner CR4 της Z/I

Αν και η Φωτογραμμετρία με το πέρασμα των χρόνων έχει φτάσει στο επίπεδο να διαχειρίζεται ψηφιακές εικόνες (ψηφιακή Φωτογραμμετρία), στην παρούσα Διπλωματική Εργασία χρησιμοποιήθηκαν ψηφιοποιημένες αναλογικές α/φ. Οι α/φ επιλέχθηκαν να είναι σε μορφή έγχρωμων διαθετικών κλίμακας 1:15.000 και φωτοληψίας του 2005. Λόγω της μικρής κλίμακας των α/φ καλύπτεται εύκολα όλη η Κλασική Μαραθώνια Διαδρομή. Τα διαθετικά μεγέθους 230x230 mm, λόγω του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένα υπόκεινται σε μικρότερες παραμορφώσεις σε σχέση με το χαρτί πάνω στο οποίο είναι τυπωμένες οι κλασικές α/φ, γεγονός που επιτρέπει μεγαλύτερης ακρίβειας μετρήσεις.

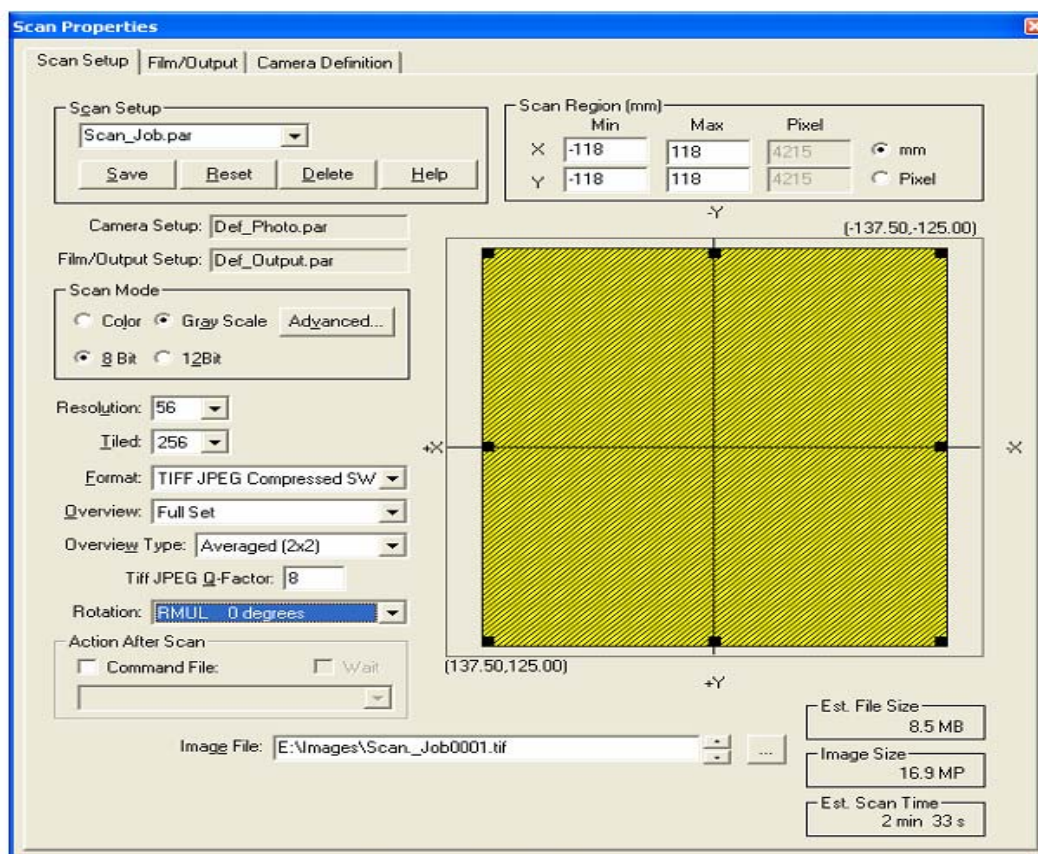
Για τη μετατροπή των αναλογικών έγχρωμων διαθετικών σε ψηφιακά αρχεία απαιτείται η διαδικασία της σάρωσης. Η σάρωση έγινε σε φωτογραμμετρικό σαρωτή

Photoscan υψηλής ακρίβειας, της εταιρίας Z/I όπως φαίνεται στην εικόνα 15.

Η ψηφιακή εικόνα αποτελείται από ένα σύνολο εικονοψηφίδων (ή εικονοστοιχεία ή pixels, picture elements), οι οποίες είναι διατεταγμένες σε γραμμές και στήλες. Η ψηφιακή τιμή του χρώματος και το μέγεθος της κάθε εικονοψηφίδας εξαρτάται από τις τιμές δύο μεταβλητών, της ραδιομετρικής και της χωρικής ανάλυσης. Η ραδιομετρική ανάλυση αντιστοιχεί στο πλήθος των τόνων (ψηφιακών τιμών) του χρώματος (γκρι αν είναι ασπρόμαυρες α/φ) που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την εικόνα, ενώ η χωρική ανάλυση αντιστοιχεί στο φυσικό μέγεθος της εικονοψηφίδας. Στις έγχρωμες α/φ κάθε εικονοστοιχείο εμπεριέχει έναν τόνο από κάθε βασικό χρώμα (R, G, B), αν η σάρωση γίνει με ανάλυση 8bit κάθε χρώμα μπορεί να λάβει μία από τις 256 τιμές, από 0 έως 255 ενώ αν γίνει με ανάλυση 12 bit κάθε χρώμα αναλύεται σε 4.096 τόνους (ψηφιακές τιμές).

Όσον αφορά τη χωρική ανάλυση είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος της εικονοψηφίδας, και άρα τόσο περισσότερες εικονοψηφίδες περιγράφουν μια εικόνα. Ένα μέγεθος που ενδείκνυται για την περιγραφή της ανάλυσης της σάρωσης είναι ο αριθμός των εικονοψηφίδων ανά μία ίντσα dpi (dots per inch) ή ο αριθμός των εικονοψηφίδων ανά 25,4 mm. Οι τιμές για το συγκεκριμένο φωτογραμμετρικό σαρωτή είναι από 3600 έως 115 dpi (dots per inch) που αντιστοιχούν στις παρακάτω τιμές εικονοψηφίδας: 7, 14, 21, 28, 56, 112, 224 μm.

Η ανάλυση με την οποία επιλέγεται να σαρωθεί η α/φ εξαρτάται από την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος. Η ραδιομετρική και η χωρική ανάλυση καταχωρούνται στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου του λογισμικού σάρωσης όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και για τις ανάγκες ακρίβειας του τελικού προϊόντος παίρνουν τιμές 8bit (ραδιομετρική ανάλυση) και 21μm (περίπου 1200dpi χωρική ανάλυση). Στην ίδια καρτέλα καταχωρείται η περιοχή της σάρωσης που είναι περίπου 236x236 mm, για να καλύπτει το διαθέσιμο μεγέθους 230x230 mm καθώς και το όνομα του ψηφιακού αρχείου που θα δημιουργηθεί.



Εικόνα 16. Παράμετροι σάρωσης, 1η καρτέλα.

Για τη βέλτιστη κατανόηση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται κατά τη διαδικασία της σάρωσης αναφέρονται μερικές ιδιότητες του φωτογραφικού υλικού. Οι τιμές των μεγεθών αυτών είναι καθοριστικές για το τελικό προϊόν της σάρωσης. Επιπλέον πρέπει να διευκρινιστεί ότι αν και αναφέρονται, δεν χρησιμοποιήθηκαν όλες οι παρακάτω ιδιότητες για τις πρακτικές ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Γενικότερα οι ιδιότητες αυτές είναι δυνατόν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν οι ιδιότητες που συνδέονται με τη συμπεριφορά του υλικού έναντι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και είναι γνωστές ως ευαισθησιομετρικές ιδιότητες. Σε αυτές περιλαμβάνονται η καμπύλη πυκνότητας ή χαρακτηριστική καμπύλη, η ταχύτητα, ο δείκτης εκθέσεως και η φασματική ευαισθησία.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι ιδιότητες που καθορίζουν την ικανότητα του υλικού να αποδίδει με ακρίβεια τις γεωμετρικές λεπτομέρειες της οπτικής εικόνας και είναι γνωστές ως ιδιότητες δομής της εικόνας. Σε αυτές ανήκει το κοκκώδες, η διαβάθμιση και η διαχωριστική ικανότητα ή η συνάρτηση μεταφοράς διαμορφώσεως (M.T.F.).

Αναλυτικότερα ο βαθμός αμαυρώσεως του γαλακτώματος, μετά την εμφάνιση, εκφράζεται από αριθμό, ο οποίος καλείται αμαύρωση ή πυκνότητα D (density). Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η αμαύρωση του αρνητικού. Η πυκνότητα προσδιορίζεται από το ποσοστό του φωτός, που διέρχεται δια του αρνητικού. Ορίζεται ως ο δεκαδικός λογάριθμος του λόγου έντασης του προσπίπτοντος φωτός I_0 , δια της έντασεως του διερχόμενου φωτός I_t $D = \log \frac{I_0}{I_t}$.

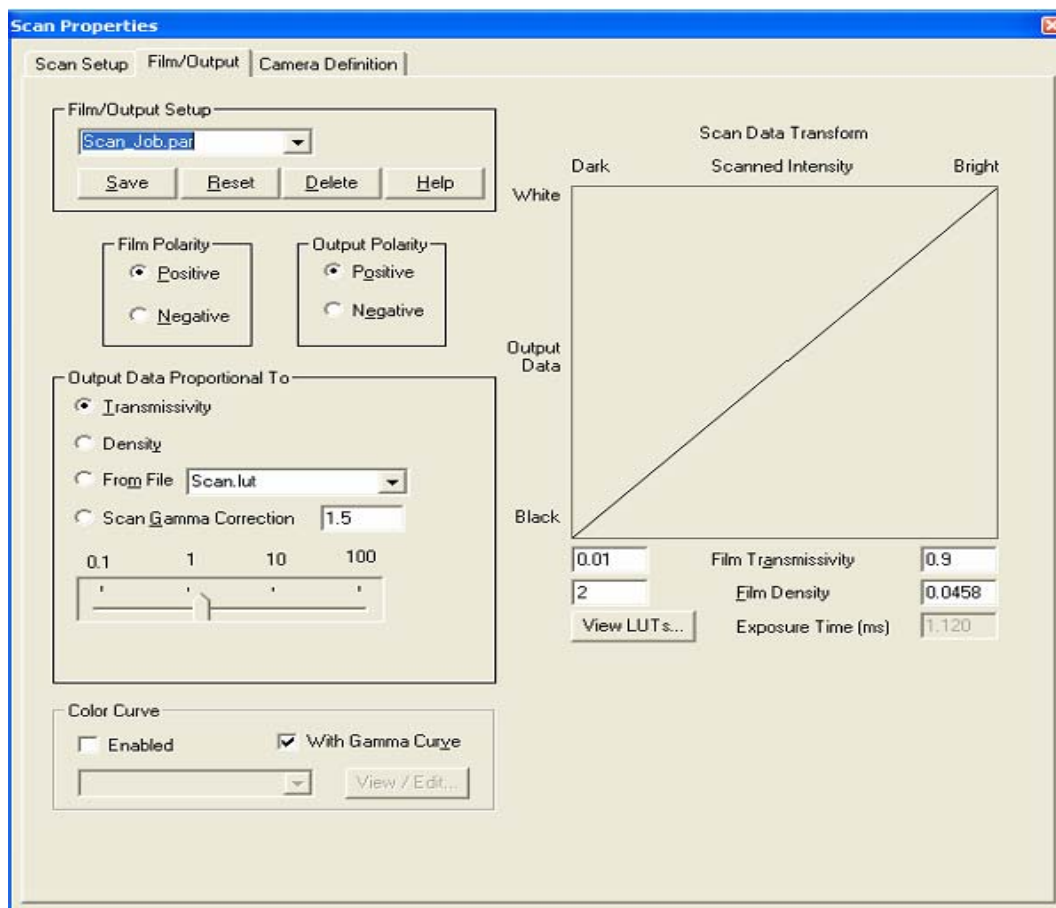
Η πυκνότητα συνδέεται επίσης με τη διαφάνεια T (transmissivity), που ορίζεται ως ο λόγος της εντάσεως του διερχόμενου φωτός προς την ένταση του προσπίπτοντος $T = \frac{I_t}{I_0}$ και επομένως $D = \log \frac{1}{T}$.

Στόχος της διαδικασίας της σάρωσης είναι η πιστή απόδοση των αναλογικών α/φ ώστε να προκύψουν ψηφιακές εικόνες με ραδιομετρικές τιμές ίδιες με αυτές των αρχικών α/φ. Για τον λόγο αυτό έγιναν πολλές δοκιμές με διαφορετικές τιμές των μεγεθών της πυκνότητας D (Film Density) και της διαφάνειας T (Film Transmissivity). Όπως φαίνεται και στην εικόνα III-3 είναι δυνατόν να δοθούν δύο οριακές τιμές στη διαφάνεια T (αριστερά – δεξιά), όπου το εύρος για το αριστερά όριο είναι από 0,004 έως 0,05 ενώ για το δεξιά όριο το εύρος τιμών ήταν από 0,4 έως 0,9. Με την αλλαγή στις τιμές των ορίων της διαφάνειας T αυτόματα διορθώνονταν οι τιμές του μεγέθους της πυκνότητας D ακριβώς από κάτω.

Ο εμπειρικός κανόνας του προέκυψε μετά την πληθώρα των δοκιμών προβλέπει σε περίπτωση όπου οι αρχικές εικόνες είναι σκούρες (σκοτεινές) μείωση της αριστερής τιμής για τη διαφάνεια T (περίπου στην τιμή 0,006) έτσι ώστε να περνάει περισσότερο φως κατά τη διάρκεια της σάρωσης και επομένως το αποτέλεσμα να είναι πιο φωτεινό και μείωση της τιμής διαφάνειας T (δεξιά) περίπου στην τιμή 0,64. Στην περίπτωση όπου οι αρχικές α/φ είναι ξεθωριασμένες επιλέγονται τιμές διαφάνειας T αριστερά περίπου 0,01 και δεξιά 0,9.

Συνοπτικά όταν το διαθετικό είναι πολύ σκούρο (σκοτεινό) δίνοντας μία τιμή στη διαφάνεια κοντά στο 0,5 (ίσως και 0,48) το αποτέλεσμα της σάρωσης αποδίδεται με φυσικά χρώματα (κανονικά φωτισμένο). Αντίθετα όταν στην αρχική α/φ τα χρώματα είναι ξεθωριασμένα μία τιμή διαφάνειας 0,8 ή 0,9 αποδίδει καλύτερα τα χρώματα του παράγωγου προϊόντος.

Τέλος στο τρίτο στάδιο επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα διαβαστεί η α/φ (εξαρτάται από το πως έχει τοποθετηθεί η α/φ μέσα στο σαρωτή), γίνεται μια γρήγορη σάρωσή της με μέγεθος εικονοψηφίδας στα 56 μm (βλέπε εικόνα III-4) και ζητείται από το χρήστη η στόχευση ενός εικονοσήματος. Με αυτόν τον τρόπο καθορίζεται η τελική περιοχή σάρωσης και ξεκινάει η διαδικασία της τελικής σάρωσης, που διαρκεί περίπου 7 λεπτά, για μέγεθος εικονοψηφίδας στα 21 μm (1200 dpi).

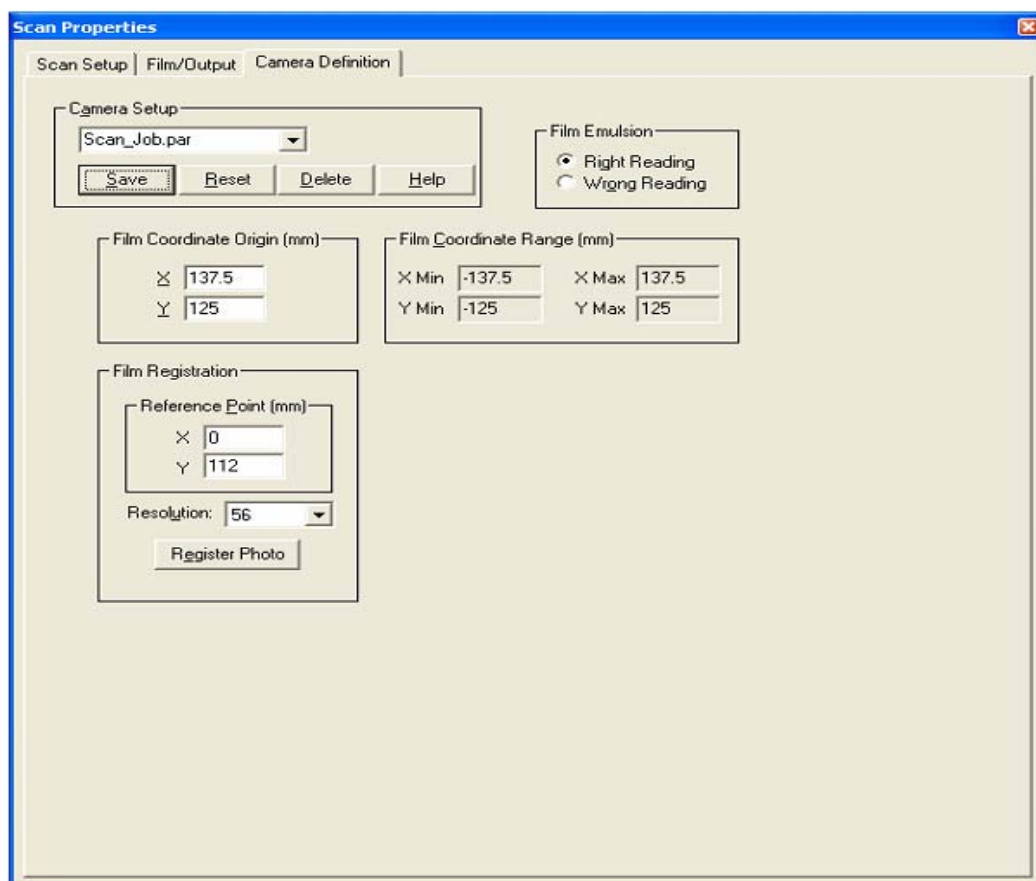


Εικόνα 17. Παράμετροι σάρωσης, 2η καρτέλα.

Το ψηφιακό αρχείο που προκύπτει, μετά τη σάρωση της κάθε α/φ έχει μέγεθος περίπου 600Mb και σε συνδυασμό με το πλήθος τους (συνολικά 34 α/φ) δυσχεραίνει την μεταφορά και καθιστά μεγαλύτερο το χρονικό διάστημα αναμονής για το άνοιγμα των αρχείων μέσα από άλλα προγράμματα.

Καθυστέρηση παρουσιάστηκε κατά το άνοιγμα των ψηφιακών αρχείων στο πρόγραμμα PhotoShop, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για παρατήρηση και ραδιομετρικό έλεγχο των προϊόντων της σάρωσης. Αν και το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη τροποποίησης της ραδιομετρικής ανάλυσης της εικόνας με την προσθήκη ή αφαίρεση κάποιου βασικού χρώματος (R, G, B), δεν εφαρμόστηκαν τέτοιου είδους τεχνικές.

Η διαδικασία της σάρωσης του συνόλου των α/φ διήρκεσε 10 ημέρες καθώς παρουσιάστηκε πλήθος προβλημάτων (παράγραφος 3.1).



Εικόνα 18. Παράμετροι σάρωσης, 3η καρτέλα.

2.3 Προσδιορισμός Φωτοσταθερών

Σε αυτό το στάδιο περιγράφεται ο προσδιορισμός της θέσης των φ/σ. Τα φ/σ είναι ευδιάκριτα σημεία τα οποία αναγνωρίζονται εύκολα πάνω στις α/φ και οι συντεταγμένες τους προσδιορίζονται με τοπογραφικές παρατηρήσεις μετά την φωτογράφιση (Πατιάς, Π., 1991).

Τα φωτοσταθερά χρησιμοποιούνται στη φωτογραμμετρική διαδικασία της αποκατάστασης του εξωτερικού προσανατολισμού μιας φωτογραφίας ή ενός στερεοζεύγους, είναι τα σημεία που συνδέουν το σύστημα της εικόνας με το γεωδαιτικό σύστημα (χώρος του αντικειμένου).

Για τον εξωτερικό προσανατολισμό ενός στερεοζεύγους αεροφωτογραφιών απαιτούνται τουλάχιστον τρία φ/σ, δύο πλήρη (X, Y, Z) και ένα υψομετρικό (Z).

Αυτή είναι και η ιδανική περίπτωση. Γεγονός που αυξάνει το κόστος των εργασιών, με αποτέλεσμα να τίθενται νέοι περιορισμοί κατά τη διαδικασία προσδιορισμού της θέσης τους, και να επιλέγεται η μέθοδος του αεροτριγωνισμού για την επίλυση του δικτύου, που επιτρέπει επίλυση με μικρότερο αριθμό φ/σ από τον απαιτούμενο ιδανικά.

Επιπρόσθετα η επιλογή της θέσης των φ/σ στο block των α/φ έγινε με σκοπό να καλύπτει τις παρακάτω προϋποθέσεις :

- ομοιόμορφη κατανομή, δηλαδή να υπάρχουν φ/σ κατά μήκος της περιμέτρου της περιοχής ενδιαφέροντος, έτσι ώστε το σύστημα να έχει καλή γεωμετρία.

- οι αποστάσεις μεταξύ των φ/σ να είναι της τάξης του 5πλάσιου του πλάτους του στερεομοντέλου (περίπου 10Km).
- να είναι ορατά και εύκολα αναγνωρίσιμα στις φωτογραφίες, επίτευξη χρωματικής αντίθεσης μεταξύ σημείου και περιβάλλοντα χώρου.
- οικονομία, να έχουν όσο το δυνατόν περισσότερες εμφανίσεις, ένα φ/σ να είναι ορατό σε περισσότερες από 2 φωτογραφίες.
- να βρίσκονται μέσα στο επικαλυπτόμενο τμήμα των α/φ.
- να είναι σημεία προσβάσιμα και με ανοιχτό ορίζοντα, διότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα GPS είναι απαραίτητο να μην υπάρχουν εμπόδια (ψηλά κτήρια, γέφυρες, κεραίες) που να διακόπτουν την λήψη του σήματος.

Η θέση των φ/σ επηρεάζει σημαντικά την μετέπειτα πορεία της φωτογραμμετρικής διαδικασίας καθώς και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Τα φ/σ υλοποιούν το σύστημα αναφοράς του αντικειμένου και συμβάλλουν στον απόλυτο προσανατολισμό των μοντέλων. Για την επιλογή τους θεωρήθηκε πρέπει να προηγηθεί στερεοσκοπική παρατήρηση για εντοπισμό της θέσης τους.

Το περιβάλλον του φωτογραμμετρικού σταθμού PhotoMod επιτρέπει τη στερεοσκοπική παρατήρηση μετά την αποκατάσταση του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων. Πριν την τελική επίλυση του εξωτερικού προσανατολισμού με τα τελικά φ/σ προηγήθηκε πρόχειρη επίλυση στην οποία χρησιμοποιήθηκαν φ/σ, των οποίων οι γεωδαιτικές συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ '87 προσδιορίστηκαν χονδρικά από τρεις χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:50.000 (Κηφισιά, Αθήνα–Πειραιάς, Κορωπί).

Μετά από στερεοσκοπική παρατήρηση στο σύνολο του block εντοπίστηκαν οι πιθανές θέσεις των τελικών φ/σ. Από το πρόγραμμα Google Earth εντοπίστηκαν τα ονόματα των οδών, και η διαδρομή που έπρεπε να ακολουθηθεί για την επιτόπια προσέγγιση κάθε σημείου. Συνολικά μετρήθηκαν με το σύστημα GPS 34 φ/σ, εκ των οποίων μόνο 17 χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση του αεροτριγωνισμού. Τα υπόλοιπα χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου.

Η διαδικασία εντοπισμού των θέσεων με στερεοσκοπική παρατήρηση, η εκτύπωση της θέσης κάθε φ/σ όπως φαινόταν στην αντίστοιχη α/φ (print screen), και ο προγραμματισμός της διαδρομής στο Google Earth, εργασίες γραφείου που είναι απαραίτητες πριν τη διάρκεια των μετρήσεων υπαίθρου, διήρκεσαν περίπου 8 ημέρες.

2.4 Μέτρηση των φωτοσταθερών

2.4.1 Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS)

Το σύστημα GPS αποτελεί ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης, το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" εικοσιτεσσάρων τεχνητών δορυφόρων της Γης.

Το GPS στη σημερινή του μορφή βασίζεται στην αρχή της χρήσης ραδιοκυμάτων για τον εντοπισμό της θέσης ενός σημείου. Συνδυάζει όλες τις μεθόδους που είχαν χρησιμοποιηθεί στον ουρανό, δηλαδή την τεχνολογία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς και την παρατήρηση ενός τεχνητού αυτή τη φορά, ουράνιου

σώματος. Οι σταθμοί βάσης που λαμβάνουν και δέχονται τα απαραίτητα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αρχικά ήταν επίγειοι, πλέον εδρεύουν σε δορυφόρους. Με την χρήση των δορυφόρων στον προσδιορισμό της θέσης, κατέστη δυνατός ο τρισδιάστατος εντοπισμός ενός σημείου με ακρίβεια της τάξης μερικών εκατοστών, χωρίς χρονοβόρες πλέον μετρήσεις υπαίθρου και κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες.

2.4.1.1 Οι παρατηρήσεις του συστήματος GPS

- Εξίσωση παρατήρησης ψευδοαπόστασης

Εάν τα χρονόμετρα του δέκτη και του δορυφόρου ήταν τέλεια συγχρονισμένα και επιπλέον το μέσο διάδοσης ήταν το κενό, τότε η ψευδοαπόσταση θα ήταν ίση με τη γεωμετρική απόσταση. Σε όλα τα προβλήματα προσδιορισμού θέσης οι συντεταγμένες του δορυφόρου είναι γνωστές από τα στοιχεία της εφημερίδας (εκπεμπόμενης ή εκ των υστέρων), ενώ οι συντεταγμένες του δέκτη άγνωστες παράμετροι.

Η εξίσωση παρατήρησης της ψευδοαπόστασης εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην ψευδοαπόσταση (παρατήρηση), την αντίστοιχη γεωμετρική απόσταση (παρατηρούμενο μέγεθος) και τα διάφορα συστηματικά και τυχαία σφάλματα.

Η παρατήρηση της ψευδοαπόστασης (μέτρηση κώδικα) βασίζεται στην μέτρηση του χρονικού διαστήματος μεταξύ της στιγμής εκπομπής του σήματος από τον δορυφόρο και της στιγμής λήψης αυτού από το δέκτη. Η χρονική αυτή διαφορά πολλαπλασιασμένη με την ταχύτητα του φωτός δίνει την απόσταση δορυφόρου-δέκτη που λέγεται ψευδοαπόσταση.

$$P_A^i = \rho_A^i + c\delta_A - c\delta^i + c \Delta t$$

Όπου: P_A^i : ψευδοαπόσταση

ρ_A^i : γεωμετρική απόσταση

$c\delta_A$: σφάλμα ρολογιού δέκτη

$c\delta^i$: σφάλμα ρολογιού δορυφόρου

$c \Delta t$: περιέχει το ιονοσφαιρικό και τροποσφαιρικό σφάλμα και το σφάλμα πολυανάκλασης

- Εξίσωση παρατήρησης φάσης

Ο δέκτης μπορεί να μετρά την στιγμιαία κλασματική φάση σε κάθε χρονική στιγμή και τις μεταβολές της από την πρώτη στιγμή του εγκλωβισμού και μετά, λόγω της αλλαγής της απόστασης μεταξύ δέκτη-δορυφόρου. Δεν μπορεί να μετρήσει όμως τον ακέραιο αριθμό κύκλων (ασάφεια φάσης) μεταξύ δέκτη-δορυφόρου, την πρώτη στιγμή του εγκλωβισμού, έτσι ώστε η μέτρηση που κάνει ο δέκτης να αντιστοιχεί στη διαφορά φάσης μεταξύ του εισερχόμενου φορέα (L1 ή L2) και του παραγόμενου αντιγράφου του. Κατά συνέπεια στο παρατηρούμενο μέγεθος θα πρέπει να προστεθεί ο ακέραιος αριθμός κύκλων.

Για τον σχηματισμό της εξίσωσης παρατήρησης πρέπει να γίνει η σύνδεση της παρατήρησης φάσης με την γεωμετρική απόσταση δέκτη-δορυφόρου.

$$\varphi_A^i(t) = \varphi_A(t_A) - \varphi^i(t^i) + n_A^i$$

$\varphi_A^i(t)$: η παρατηρούμενη φάση, σε κύκλους, μεταξύ δορυφόρου i και δέκτη A , όταν αυτή παρατηρείται στο δέκτη A τη στιγμή λήψης του σήματος (t)

$\varphi_A(t_A)$: η φάση του παραγόμενου αντιγράφου

$\varphi^i(t^i)$: η φάση του εισερχόμενου φορέα

n_A^i : η αρχική ασάφεια φάσης

2.4.1.2 Τα σφάλματα του συστήματος GPS

Διακρίνεται μια σειρά σφαλμάτων συστηματικού κυρίως χαρακτήρα (systematic errors, biases), που επηρεάζουν τον προσδιορισμό θέσης με παρατηρήσεις GPS. Τα τυχαία σφάλματα (random errors) που πολλές φορές είναι αναπόφευκτα, κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, αναφέρονται συνήθως και ως θόρυβος.

Τα σφάλματα του συστήματος GPS χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

- Σφάλματα που σχετίζονται με τους δορυφόρους: το σφάλμα της δορυφορικής εφημερίδας ή τροχιάς, το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου και το σφάλμα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας.
- Σφάλματα που σχετίζονται με τους δέκτες: το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη, το σφάλμα της μεταβολής του κέντρου φάσης της κεραίας, το τυχαίο σφάλμα της παρατήρησης ή ο θόρυβος, το σφάλμα εξαιτίας της αβεβαιότητας του γνωστού σημείου κατά την επίλυση μιας βάσης.
- Σφάλματα που σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος: τα ατμοσφαιρικά σφάλματα (ιονοσφαιρικό, τροποσφαιρικό σφάλμα), το σφάλμα της πολυανάκλασης, το σφάλμα της ολίσθησης κύκλων.

2.4.1.3 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης

Με βάση τον αριθμό των δεκτών :

- Ο Απόλυτος Εντοπισμός (Absolute Positioning) στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ένας δέκτης.
- Στον Απόλυτο Εντοπισμό ο προσδιορισμός της θέσης γίνεται ως προς τις τροχιές των δορυφόρων. Είναι απαραίτητες μόνο μετρήσεις ψευδοαπόστασης.
- Ο Σχετικός Εντοπισμός (Relative Positioning) όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι δέκτες.
- Στο Σχετικό Εντοπισμό προσδιορίζεται η θέση ενός δέκτη σε σχέση με τη θέση κάποιου άλλου και χρησιμοποιούνται μετρήσεις ψευδοαπόστασης και φάσης.
- Με βάση την κινηματική κατάσταση των δεκτών :
- Ο στατικός Εντοπισμός (Static Positioning) κατά τη διάρκεια του οποίου ο δέκτης μένει σταθερός σε κάποιο σημείο.
- Ο κινηματικός Εντοπισμός (Kinematic Positioning) κατά τη διάρκεια του οποίου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση (Φωτίου, Πικριδάς, 2006).

2.4.2 Μετρήσεις Υπαίθρου

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα GPS για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των φ/σ εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι του σχετικού κινηματικού εντοπισμού και του στατικού, σχετικού εντοπισμού. Έγιναν μετρήσεις με δύο δέκτες διπλής συχνότητας EPOCH 25, της εταιρίας Spectra Precision.

Το EPOCH 25 παρέχει γρήγορη και αξιόπιστη διαδικασία έναρξης των μετρήσεων για υψηλής ποιότητας μετρήσεις στατικού καθώς και εντοπισμού RTK (Real Time Kinematic, Κινηματικός Εντοπισμός πραγματικού χρόνου). Οι δέκτες αυτοί έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και τις δύο συχνότητες L1, L2 του κώδικα και να μετρούν ανεπηρέαστοι από καιρικά φαινόμενα, καθώς είναι ανθεκτικοί σε πτώσεις, ακραίες θερμοκρασίες, ρύπους και νερό. Σε συνδυασμό με το λογισμικό επεξεργασίας των μετρήσεων Spectra Precision Survey Office, αποτελεί μία ολοκληρωμένη λύση για περαιτέρω έλεγχο των μετρήσεων στο γραφείο.

Κατά την μέτρηση των φ/σ τοποθετήθηκε ένας δέκτης B (Base) σε σταθερό σημείο με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες (π.χ. βάθρο ΓΥΣ) και ο δεύτερος δέκτης R (Rover) στήνεται σε κάθε φ/σ για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από την ακρίβεια προσδιορισμού του σημείου, την απόσταση μεταξύ Base-Rover, τον αριθμό των δορυφόρων που είναι ορατοί στο δέκτη R, κτλ..

Κατά τη διάρκεια των 7 ημερών, που κράτησαν οι μετρήσεις των φ/σ, ο δέκτης B επιλέχθηκε να στηθεί σε δύο θέσεις, στο βάθρο που βρίσκεται ανατολικά στη ταράτσα του κτηρίου Λαμπαδαρίου της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και στο βάθρο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) στην περιοχή του Νέου Βουτζά.

Την πρώτη μέρα μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σχετικού κινηματικού εντοπισμού πραγματικού χρόνου. Ο δέκτης B είχε τοποθετηθεί στη ταράτσα του κτηρίου Λαμπαδαρίου και ο δεύτερος δέκτης (δέκτης R) μέτρησε με RTK για χρονικό διάστημα τριών λεπτών έξι σημεία (φ/σ) στο κέντρο της Αθήνας και για χρονικό διάστημα ενός δευτερολέπτου δύο επιπλέον γειτονικά σημεία για καθένα από τα έξι παραπάνω.

Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων παρατηρήθηκε πως η ακρίβεια (η οποία εμφανίζονταν στο χειριστήριο του συστήματος τη στιγμή της μέτρησης) προσδιορισμού της θέσης των σημείων που μετρήθηκαν για χρονικό διάστημα τριών λεπτών, ήταν μικρότερη από αυτή των μετρήσεων που κράτησαν ένα δευτερόλεπτο. Αυτό συμβαίνει διότι ο δέκτης B προσπαθεί, στο σύντομο χρονικό διάστημα του ενός δευτερολέπτου να στείλει τις απαραίτητες διορθώσεις στον δέκτη R ώστε να πραγματοποιηθεί η μέτρηση (σύντομη δειγματοληψία). Στην περίπτωση κατά την οποία παρεμβάλλεται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα οι διορθώσεις είναι περισσότερες και επομένως μικραίνει η ακρίβεια. Επιπλέον το αποτέλεσμα της μεθόδου του εντοπισμού RTK είναι ένα αρχείο στο οποίο καταγράφονται μόνο οι συντεταγμένες των μετρημένων σημείων και όχι η οριζοντιογραφική και η υψομετρική ακρίβεια προσδιορισμού τους. Επομένως επιλέχθηκε η αλλαγή της μεθόδου προσδιορισμού των συντεταγμένων και η εφαρμογή του σχετικού στατικού εντοπισμού στο υπόλοιπο των έξι ημερών.

Στο σύνολο των μετρήσεων, από τις δύο θέσεις που βρίσκονται τα βάθρα, το μέγιστο διάνυσμα βάσης που προκύπτει μεταξύ των δύο δεκτών είναι:

Από τη 1^η θέση του Base (Λαμπαδάριο Κτήριο, Ε.Μ.Π.)

- 5Km έως τη συμβολή Λ. Μαραθώνος – Λ. Λαυρίου (βορειοανατολικά)
- 3Km έως την πλατεία Συντάγματος (δυτικά)

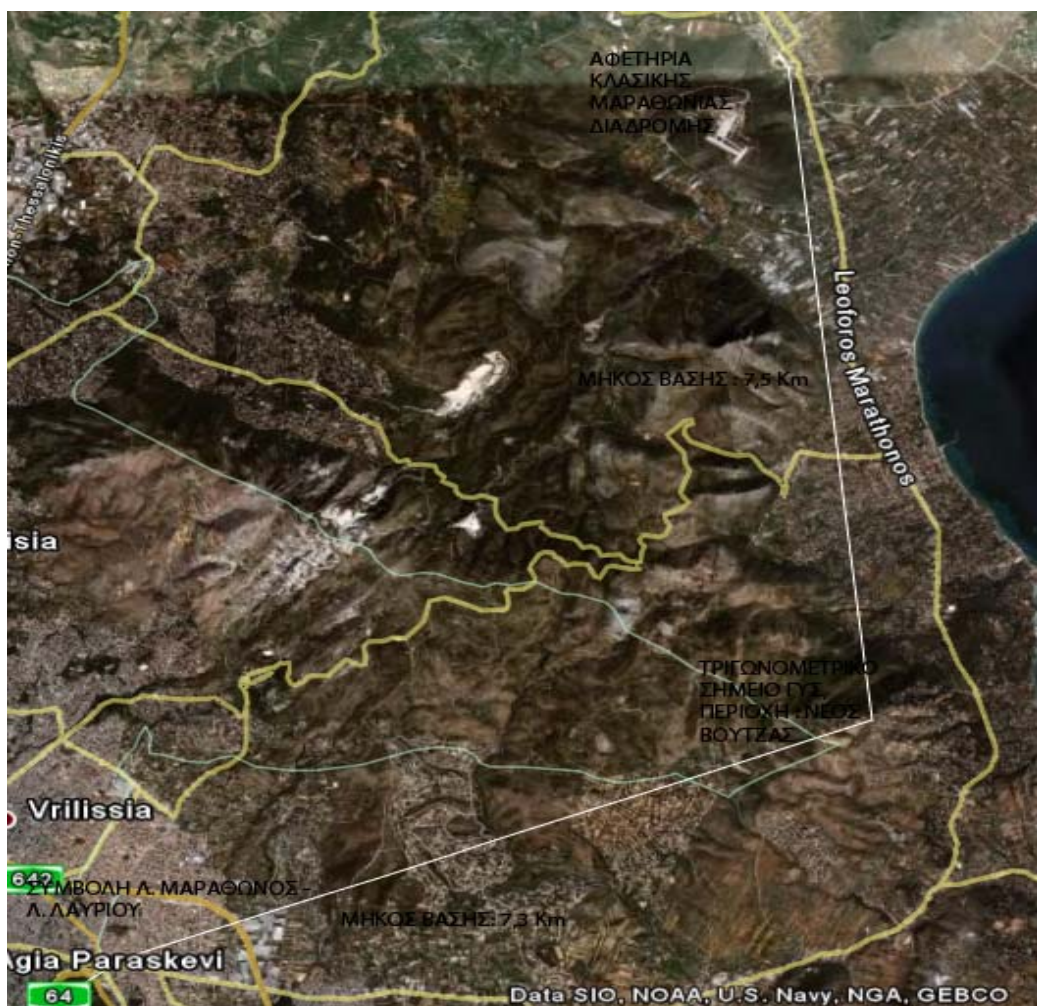
Από τη 2^η θέση του Base (Νέος Βουτζάς, βάθρο ΓΥΣ)

- 7,3Km έως τη συμβολή Λ. Μαραθώνος – Λ. Λαυρίου (νοτιοδυτικά)

- 7,5Km έως την αφετηρία της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής στο Μαραθώνα (βόρεια)



Εικόνα 19. Οι μέγιστες βάσεις που μετρήθηκαν από την 1η θέση (ΕΜΠ) του δέκτη Β.



Εικόνα 20. Οι μέγιστες βάσεις που μετρήθηκαν από την 2η θέση (ΓΥΣ) του δέκτη Β.

Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των δύο βάθρων στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 είναι :

- Λαμπαδάρειο Κτήριο, Ε.Μ.Π.:

$x=480576,857m$, $y=4202782,698m$, $h=215,248m$ (γεωμετρικό υψόμετρο)

- Τριγωνομετρικό Σημείο ΓΥΣ, Ν. Βουτζάς, Ξυλοκερατέα, κωδικός σημείου 161027:

$x=497241,714m$, $y=4210568,952m$, $h=289,656m$ (γεωμετρικό υψόμετρο)

Συνολικά μετρήθηκαν 34 φ/σ εκατέρωθεν της μαραθώνιας διαδρομής. Κατά μέσο όρο ο χρόνος παραμονής σε κάθε φ/σ ήταν 20 - 30min. Η γεωμετρία των δορυφόρων τις ώρες των μετρήσεων ήταν αρκετά καλή δίνοντας μέγιστη τιμή του δείκτη PDOP 2,1.

2.4.3 Εργασίες Γραφείου

Μετά το πέρας της συλλογής δεδομένων στην ύπαιθρο από τους δύο δέκτες έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων με το λογισμικό Spectra Precision Survey Office. Αρχικά μεταφέρθηκαν τα αρχεία που είχαν καταγραφεί από τους δύο δέκτες στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο δέκτης Base καταγράφει τα δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια των ημερήσιων μετρήσεων σε ένα αρχείο, το οποίο και ονομάζει αυτόματα 57431781.T01. Ο δέκτης Rover καταγράφει ένα αρχείο για κάθε σημείο που μέτρησε και αντίστοιχα το ονομάζει 57281781.T01.

Ο πρώτος τετραψήφιος αριθμός στο όνομα των αρχείων αντιστοιχεί στο δέκτη στον οποίο καταγράφηκε το αρχείο, 5743 για το δέκτη Base και 5728 για το δέκτη Rover.

Ο επόμενος τριψήφιος αριθμός είναι η ημέρα του έτους, είναι κοινός και για τους δύο δέκτες από την στιγμή που καταγράφουν παράλληλα. Π.χ. το 177 αντιστοιχεί στις 26/06/2009, το 178 στις 27/06/2009 και ούτω καθεξής.

Τέλος το τελευταίο ψηφίο χαρακτηρίζει την αύξουσα σειρά μέτρησης των σημείων, και παίρνει τις τιμές: 1,3,5,7,9,A,C,E, κτλ.

Η επίλυση των βάσεων έγινε εισάγοντας όλα τα ημερήσια δεδομένα στο περιβάλλον του λογισμικού Spectra Precision Survey Office και ορίζοντας ως σταθμό αναφοράς το βάθρο με τις γνωστές συντεταγμένες που ήταν σημένος ο δέκτης Base. Απαραίτητο στοιχείο για το σωστό προσδιορισμό των υψομέτρων των σημείων είναι τα ύψη κεραίας και των δύο σταθμών. Μετά την επίλυση προέκυψαν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των μετρημένων φ/σ στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 :

Πίνακας 1. Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των φ/σ σε ΕΓΣΑ'87, γεωμετρικά υψόμετρα.

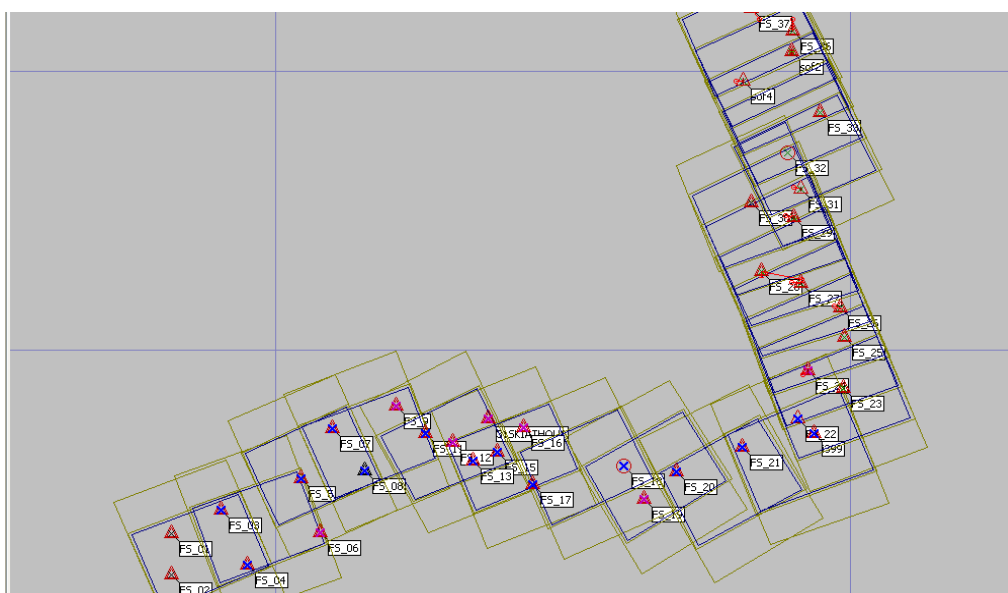
Όνομα φ/σ	x(m)	y(m)	h(m, γεωμετρικό)
ΦΣ_01	476385.483	4203423.996	91.505
ΦΣ_02	476393.34	4201935.429	72.805
ΦΣ_03	478110.752	4204275.096	141.167
ΦΣ_04	479012.444	4202296.556	148.971
ΦΣ_05	480900.295	4205393.399	177.587
ΦΣ_06	481538.855	4203439.452	209.826
ΦΣ_07	481962.24	4207169.413	171.447
ΦΣ_08	483091.744	4205663.166	228.244
ΦΣ_09	484202.363	4207997.704	204.19
ΦΣ_11	485220.839	4207010.494	227.801
ΦΣ_12	486145.39	4206684.57	225.75
ΦΣ_13	486858.283	4206018.366	202.907
ΦΣ_14	481701.691	4205639.03	193.415
ΦΣ_15	487722.222	4206333.298	204.601
ΦΣ_16	488613.135	4207226.114	224.33
ΦΣ_17	488935.441	4205175.243	173.255
ΦΣ_18	492120.73	4205851.853	147.028
ΦΣ_19	492809.448	4204652.336	107.06
ΦΣ_20	493945.279	4205641.769	116.212
ΦΣ_21	496211.164	4206506.956	74.132
ΦΣ_22	498144.71	4207548.146	30.799
ΦΣ_23	499729.449	4208639.836	53.329
ΦΣ_24	498503.327	4209255.137	83.522
ΦΣ_25	499786.956	4210445.879	6.528
ΦΣ_26	499641.205	4211520.369	3.383
ΦΣ_27	498256.847	4212385.272	44.386
ΦΣ_28	496937.767	4212795.07	122.9
ΦΣ_29	498011.011	4214753.235	13.594
ΦΣ_30	496532.226	4215282.417	57.49
ΦΣ_31	498260.4	4215766.242	1.1
ΦΣ_32	497789.776	4217054.938	1.33
ΦΣ_33	498929.783	4218499.804	1.38
ΦΣ_36	497991.363	4221427.155	17.4
ΦΣ_37	496549.708	4222271.591	31.516

Οι ακρίβεια προσδιορισμού του κάθε σημείου με το σύστημα GPS φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

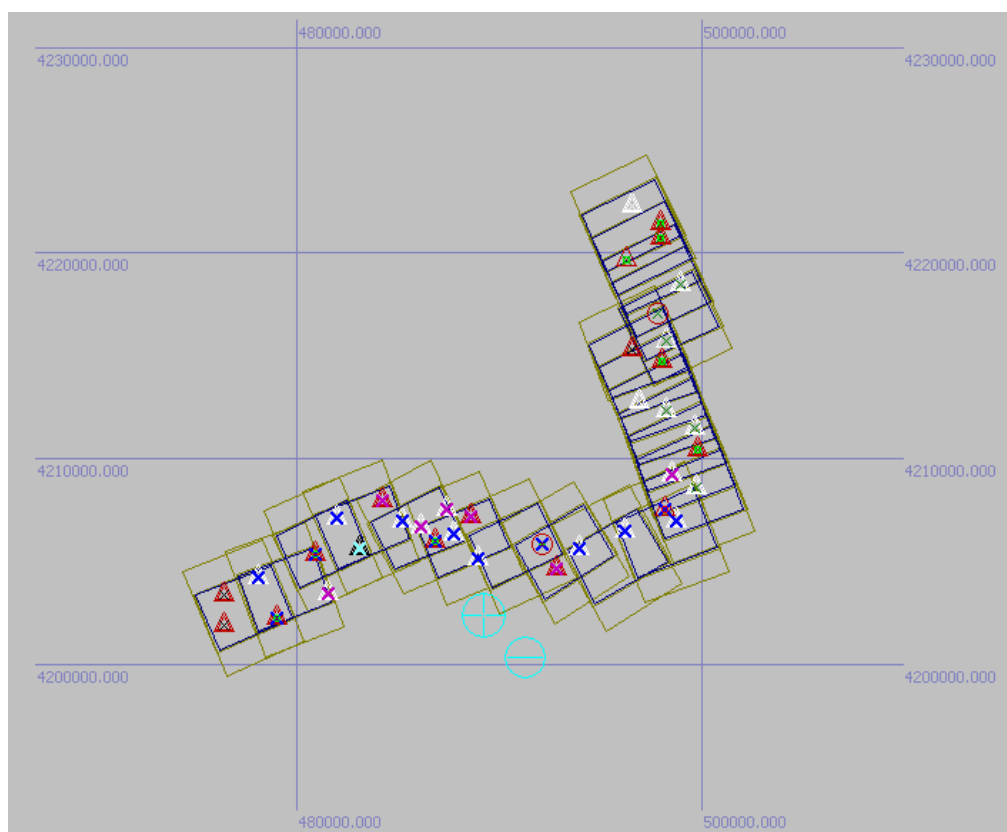
Πίνακας 2. Ακρίβειες προσδιορισμού Φ/Σ με το σύστημα GPS.

Όνομα φ/σ	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (m)	Υψομετρική ακρίβεια (m)	Σύντομη Περιγραφή
ΦΣ_01	-	-	Μετρό Πανεπιστήμιο
ΦΣ_02	-	-	Καλιρρόης
ΦΣ_03	0,009	0,021	Μέγαρο Θέμιδος
ΦΣ_04	-	-	Γήπεδο Καισαριανής
ΦΣ_05	0,016	0,018	Εθνική Άμυνα
ΦΣ_06	0,010	0,015	Παπάγου
ΦΣ_07	0,015	0,022	Σαχτούρη
ΦΣ_08	0,011	0,017	Γήπεδο Αγ. Παρασκευής
ΦΣ_09	0,016	0,018	Μετρό Χαλανδρίου
ΦΣ_11	0,014	0,024	Δήμητρας
ΦΣ_12	0,031	0,034	Λ. Λαυρίου
ΦΣ_13	0,031	0,024	Πλατεία Πρασίνου Λόφου
ΦΣ_14	0,016	0,018	Χολαργός
ΦΣ_15	0,018	0,040	Λ. Μεσογείων
ΦΣ_16	0,019	0,038	Λ. Ανθούσας
ΦΣ_17	0,023	0,030	Σαχτούρη
ΦΣ_18	0,020	0,030	Alex Park
ΦΣ_19	0,015	0,031	Πέτσα
ΦΣ_20	0,018	0,026	Δωρίδος
ΦΣ_21	0,011	0,021	Νταού Πεντέλης
ΦΣ_22	0,011	0,016	Φλέμινγκ
ΦΣ_23	0,012	0,019	Δημοκρατίας
ΦΣ_24	0,009	0,015	Σμύρνης
ΦΣ_25	0,011	0,012	Κυκλάδων
ΦΣ_26	0,018	0,014	Καλογεροπούλου
ΦΣ_27	0,009	0,013	Αγ. Μαρίνα
ΦΣ_28	0,009	0,022	Ονειρών
ΦΣ_29	0,013	0,022	Πλατεία Ν. Μάκρης
ΦΣ_30	0,012	0,019	Διονύσου - Μάκρης
ΦΣ_31	-	-	Κολωνάκι, Σοφίας
ΦΣ_32	0,019	0,026	Golden
ΦΣ_33	-	-	Γλύστρα, Σοφίας
ΦΣ_36	0,026	0,038	Μαραθώνας 02
ΦΣ_37	0,025	0,046	Μαραθώνας 01

Η κατανομή του συνόλου των φ/σ παρουσιάζεται στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21. Η κατανομή του συνόλου των φ/σ κατά μήκος του block των α/φ.



Εικόνα 22. Τα φ/σ που έχουν χρησιμοποιηθεί στην επίλυση του αεροτριγωνισμού κατά μήκος του block των α/φ παρουσιάζονται με κόκκινο τρίγωνο.

2.5 Αποκατάσταση Προσανατολισμών

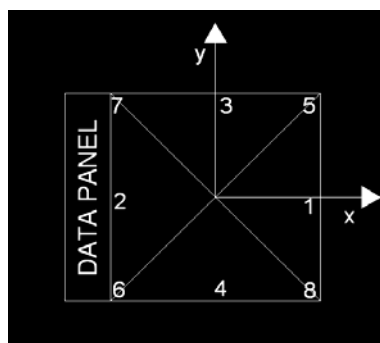
Για την εξαγωγή των συντεταγμένων του αντικειμένου απαιτείται η γνώση του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής και του εξωτερικού προσανατολισμού κάθε εικόνας. Οι διαδικασίες για την αποκατάσταση των προσανατολισμών λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον του φωτογραμμετρικού σταθμού PhotoMod.

2.5.1 Αποκατάσταση εσωτερικού προσανατολισμού

Ο εσωτερικός προσανατολισμός είναι η διαδικασία μαθηματικής ανάπλασης της δέσμης των προβολικών ακτινών που προερχόμενες από τα σημεία του χώρου, δημιουργήσαν την εικόνα. Στην πραγματικότητα αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού ισοδυναμεί με το να οριστεί το σύστημα της εικόνας (Πέτσα, Ε., 2000), έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί το μοντέλο της κεντρικής προβολής.

Πίνακας 3. Τα στοιχεία Βαθμονόμησης της φωτομηχανής.

Εσωτερικός Προσανατολισμός Φωτομηχανής		
c= 153.120 mm	απόσταση 1-2= 226.000mm	
	απόσταση 3-4= 226.007 mm	
Εικονόσημα, FM	x (mm)	y (mm)
1	113.001	-0.001
2	-112.999	0.000
3	0.001	113.016
4	0.003	-112.991
5	113.009	113.010
6	-112.996	-112.988
7	-112.994	113.013
8	112.997	-112.996
κέντρο, FC	0.002	0.000



Εικόνα 23: Η αρίθμηση των εικονοσημάτων

Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της φωτομηχανής, RMK TOP 15 που χρησιμοποιήθηκε κατά τη λήψη των α/φ και ορίζουν την δέσμη είναι τα εξής:

η σταθερά της μηχανής c

οι δύο εικονοσυντεταγμένες x_0 , y_0 του πρωτεύοντος σημείου

οι συντεταγμένες των εικονοσημάτων

η καμπύλη της ακτινικής διαστροφής (Δr)

Για την αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού μέσα στο περιβάλλον του προγράμματος PhotoMod απαιτείται η στόχευση των οκτώ εικονοσημάτων κάθε α/φ και η εφαρμογή αφινικού μετασχηματισμού. Κατά μέσο όρο ο εσωτερικός προσανατολισμός όλων των εικόνων έκλεισε με σφάλμα 0,005 mm, που είναι μικρότερο από το μισό της εικονοψηφίδας (21μm, σάρωση στα 1200 dpi).

2.5.2 Αποκατάσταση εξωτερικού προσανατολισμού

Ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας φωτογραφίας κατά τη διάρκεια της λήψης της ορίζεται από τη θέση του σημείου λήψης στο χώρο X_0, Y_0, Z_0 και από τον προσανατολισμό του οπτικού άξονα, γωνίες ω, φ, κ (Πατιάς, Π., 1991). Τα στοιχεία των εξωτερικών προσανατολισμών των a/φ είναι γενικά άγνωστα. Με τη βοήθεια των φ/σ όμως προσδιορίζονται από το λογισμικό του προγράμματος PhotoMod μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας του αεροτριγωνισμού. Ουσιαστικά πρόκειται για τις διαδικασίες αποκατάστασης του σχετικού και απόλυτου προσανατολισμού για κάθε στερεοζεύγος, επιλύοντας συνολικά το block των a/φ .

Αναλυτικότερα, πριν τη συνόρθωση του block με τη μέθοδο των δεσμών, το PhotoMod απαιτεί από τον χρήστη την στόχευση φ/σ και σημείων σύνδεσης (ή σημεία Gruber). Οι θέσεις των φ/σ είναι αποτέλεσμα επιλογής του χρήστη και είναι κατανομημένα στην περίμετρο του block, ενώ αντίθετα των σημείων σύνδεσης προσδιορίστηκε αυτόματα έτσι ώστε να βρίσκονται εντός των έξι περιοχών, όπως φαίνεται στην παρακείμενη εικόνα.

Πριν την έναρξη της διαδικασίας του αεροτριγωνισμού έγινε έλεγχος των θέσεων όλων των σημείων σύνδεσης που προσδιορίστηκαν αυτόματα έτσι ώστε, αν κάποιο σημείο εμφανίζονταν σε περισσότερες από δύο a/φ , να έχει σκοπευτεί στο σύνολο των a/φ στις οποίες εμφανίζεται. Η στόχευση των σημείων σε αυτό το στάδιο έγινε σε στερεοσκοπικό περιβάλλον, γεγονός που επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης του σημείου ως προς το υψόμετρο και κατά συνέπεια ακριβέστερα αποτελέσματα με το πέρας της επίλυσης του αεροτριγωνισμού. Συνολικά στοχεύθηκαν 17 φ/σ (χρησιμοποιήθηκαν στην συνόρθωση) και 749 σημεία σύνδεσης, τα οποία ανάλογα με το πλήθος των a/φ στις οποίες εμφανίζονται, παρουσιάζονται με:

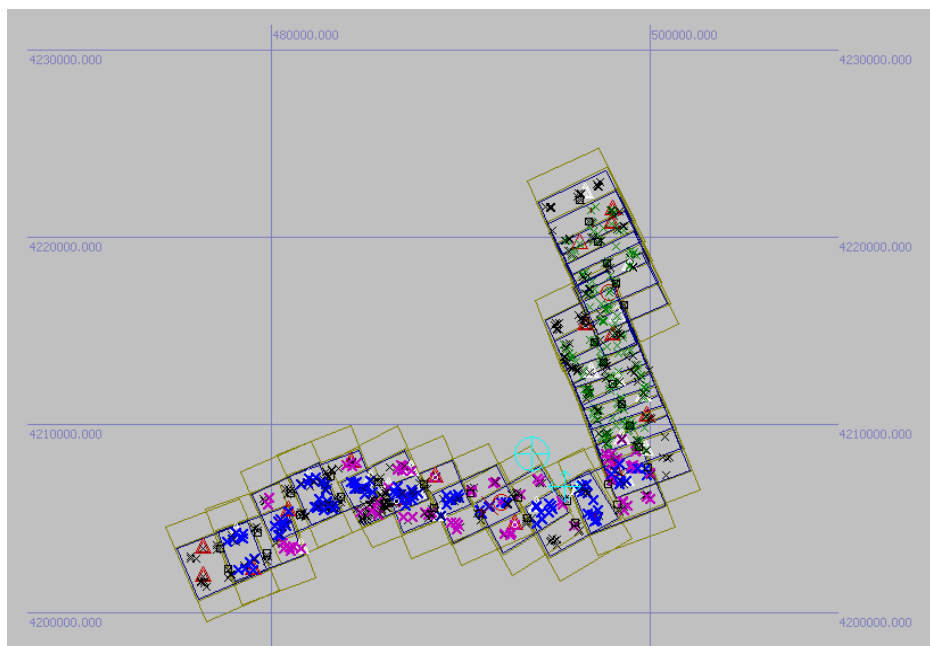
x : σ. σ., εντός στερεοζεύγους που εμφανίζεται σε 2 a/φ

x : σ. σ., εντός στερεοζεύγους που εμφανίζεται σε 3 a/φ

x : σ. σ., εντός στερεοζεύγους που εμφανίζεται σε 4 a/φ

x : σ. σ., εντός λωρίδας που εμφανίζεται σε 3 a/φ

Η κατανομή των σημείων σύνδεσης παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 24. Η κατανομή των σημείων σύνδεσης στο block.

Το σφάλμα κλεισίματος για το σχετικό προσανατολισμό προσδιορίζεται μέσω του υπολογισμού της εναπομένουσας παράλλαξης σε κάθε μοντέλο, η οποία σύμφωνα με το RMS έχει μέγιστη τιμή ίση με 0,011mm, τιμή ικανοποιητική δεδομένου ότι η πλευρά του σαρωμένου pixel ισούται με 21 μ m (0,021 mm).

2.6 Φωτογραμμετρική Συνόρθωση

Οι μέθοδοι του αεροτριγωνισμού απαλλάσσουν τη Φωτογραμμετρία από την ανάγκη ύπαρξης σε κάθε στερεοσκοπικό μοντέλο τριών φ/σ προσδιορισμένων με επίγειες τοπογραφικές μεθόδους. Το αποτέλεσμα του αεροτριγωνισμού είναι τα στοιχεία του προσανατολισμού όλων των εικόνων, δηλαδή των στερεομοντέλων, και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες X, Y, Z κάποιων συγκεκριμένων σημείων (σημείων σύνδεσης).

Στη συνόρθωση κατά δέσμες το μοναδιαίο στοιχείο είναι η εικόνα. Οι εικονοσυντεταγμένες και το αντίστοιχο προβολικό κέντρο της εικόνας ορίζουν μία δέσμη ακτίνων στο χώρο. Τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού προσδιορίζονται ταυτόχρονα για όλες τις δέσμες του block. Ως δεδομένα λαμβάνονται οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης και οι εικονοσυντεταγμένες και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των φ/σ (Kraus, 2003).

Η προετοιμασία και η στόχευση όλων των απαραίτητων σημείων (δεδομένα) για τη συνόρθωση του block έγινε στα προηγούμενα βήματα. Στο σημείο αυτό έγιναν δοκιμαστικές διαδοχικές επιλύσεις με διαφορετικά κάθε φορά φ/σ και καταγράφονταν τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα (RMS) κατά τις διευθύνσεις X, Y και Z.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων υπαίθρου για τον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων των κάποιων φ/σ παρουσιάστηκαν:

- έλλειψη δορυφόρων (λιγότεροι από 6), με κακή γεωμετρία

- έλλειψη σταθερότητας του δέκτη Rover, σε σημεία όπου δεν μπορούσε να στηθεί τρίποδας

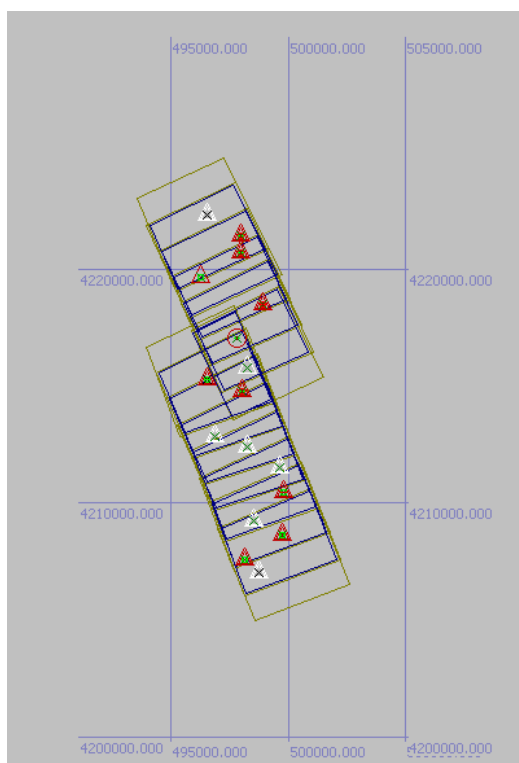
με αποτέλεσμα το σφάλμα των συντεταγμένων αυτών των σημείων να είναι μεγαλύτερο των υπολοίπων. Παρόλα αυτά κάποια από τα σημεία αυτά ήταν σε θέσεις καθοριστικές για την επίλυση, επομένως έγιναν δοκιμές.

Στην επίλυση που χρησιμοποιήθηκαν τα χειρότερα προσδιορισμένα 19 φ/σ με το σύστημα GPS, ομοιόμορφα κατανεμημένα υπολογίζεται RMS κατά X ίσο με 0,355 m, Y ίσο με 0,293m και Z ίσο με 0,238 m, το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους υπολογίζεται ίσο με 1,148.

Στην επίλυση που χρησιμοποιήθηκαν 26 φ/σ, ομοιόμορφα κατανεμημένα υπολογίζεται RMS κατά X ίσο με 0,150 m, Y ίσο με 0,162m και Z ίσο με 0,141 m, το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους υπολογίζεται ίσο με 0,940.

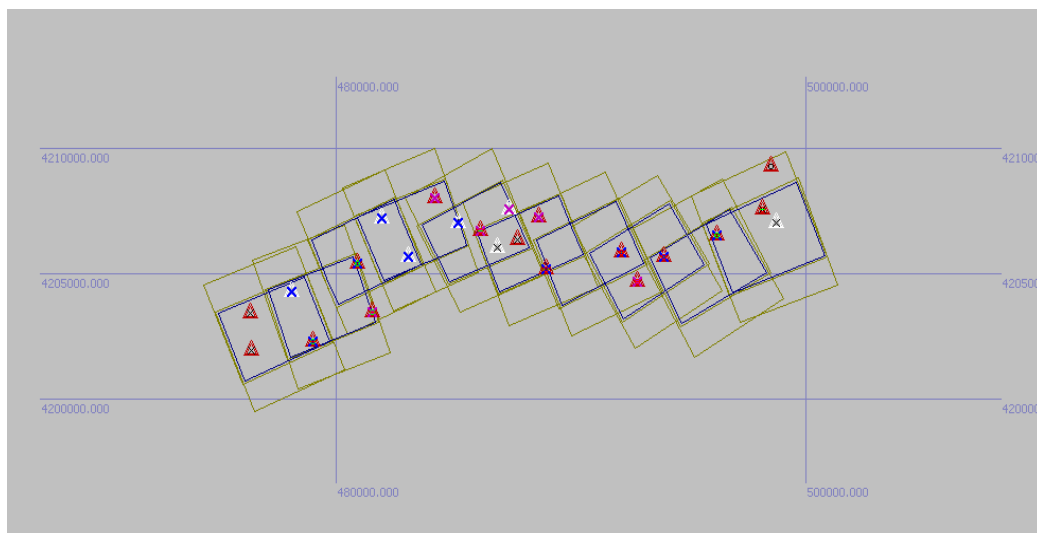
Στην επίλυση αφαιρέθηκε μεγάλος αριθμός φ/σ και τελικά χρησιμοποιήθηκαν 17 φ/σ, ομοιόμορφα κατανεμημένα υπολογίζεται RMS κατά X ίσο με 0,097 m, Y ίσο με 0,099m και Z ίσο με 0,082 m, το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους υπολογίζεται ίσο με 2,262.

Επιπλέον έγινε επίλυση με το block να είναι χωρισμένο σε δύο project:



Εικόνα 25. Επίλυση λωρίδα 14 α/φ με 10 φ/σ.

Μία λωρίδα από το Μαραθώνα μέχρι και πριν το Πικέρμι συνολικά 14 α/φ όπου στην επίλυση που χρησιμοποιήθηκαν 10 φ/σ, ομοιόμορφα κατανεμημένα υπολόγισε RMS κατά X ίσο με 0,180 m, Y ίσο με 0,138m και Z ίσο με 0,151 m, το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους υπολογίζεται ίσο με 0,754.



Εικόνα 26. Επίλυση 10 λωρίδων με 16 φ/σ.

Δέκα λωρίδες (κάθε λωρίδα αντιστοιχεί σε ένα ζευγάρι) από το Πικέρι μέχρι Αθήνα συνολικά 20 α/φ όπου στην επίλυση που χρησιμοποιήθηκαν 16 φ/σ, ομοιόμορφα κατανεμημένα υπολόγισε RMS κατά X ίσο με 0,158 m, Y ίσο με 0,208m και Z ίσο με 0,186 m, το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους υπολογίζεται ίσο με 3,470.

Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης προκύπτουν ως αποτέλεσμα της συνόρθωσης του αεροτριγωνισμού και παρουσιάζονται στο αρχείο αναφοράς που δημιουργεί το πρόγραμμα.

Το σφάλμα κλεισίματος για τον απόλυτο προσανατολισμό υπολογίζεται μέσω των διαφορών που προκύπτουν μεταξύ των μετρημένων με GPS συντεταγμένων των φωτοσταθερών και αυτών που προκύπτουν με φωτογραμμετρικό υπολογισμό. Τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα (RMS) υπολογίζονται κατά τις διευθύνσεις X, Y, Z.

Τέλος, κατά την επίλυση του αεροτριγωνισμού υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε εκτενή αναφορά οι συντεταγμένες των σημείων λήψης των α/φ, ο πίνακας στροφής, οι στροφές ω , ϕ , κ και οι συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης, καθώς και τα υπολειπόμενα σφάλματα των σημείων σύνδεσης εντός του στερεοζεύγους, και στις εικόνες.

2.7 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους – Σύνταξη Ορθοφωτογραφίας

2.7.1 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Τα απαραίτητα δεδομένα για την σύνταξη ορθοφωτογραφίας (ο/φ) είναι οι ψηφιακές εικόνες (έγχρωμες, 21 μ m το μέγεθος της εικονοψηφίδας), ο εσωτερικός προσανατολισμός της φωτομηχανής, ο εξωτερικός προσανατολισμός των εικόνων και το ψηφιακό μοντέλο του εδάφους (Digital Terrain Model, DTM). Στην προκειμένη περίπτωση όμως επειδή εκτός από σημεία εδάφους υπάρχουν και σημεία πάνω σε ταράτσες σπιτιών, δρόμους, δέντρα είναι ορθότερη η χρήση του όρου ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (Digital Surface Model, DSM).

Η παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα PhotoMod όπου είναι ήδη αποθηκευμένες οι διαδικασίες αποκατάστασης του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού.

Η ο/φ θα καλύπτει επιφάνεια πλάτους 100 m εκατέρωθεν της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής επομένως, για να μην παρουσιαστεί πρόβλημα έλλειψης πληροφορίας στα όρια της περιοχής αυτής επιλέχθηκε περιοχή μεγαλύτερου πλάτους που να εμπεριέχει την επιθυμητή περιοχή, και δημιουργήθηκε κανάβος βήματος $d=5$ m. Η επιλογή του βήματος d έγινε με σκοπό να δημιουργηθεί ένα πυκνό ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου ($d=0,2 - 2,0$ cm επί τον συντελεστή κλίμακας απόδοσης). Στη συνέχεια μετά την εκτέλεση της εντολής από το μενού Pickets – Create – Adaptive και με βάση την πυκνότητα που περιγράφει ο κανάβος, δημιουργήθηκαν αυτόματα τα σημεία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου. Στο σημείο αυτό το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει μεταξύ τριών μεθόδων δημιουργίας:

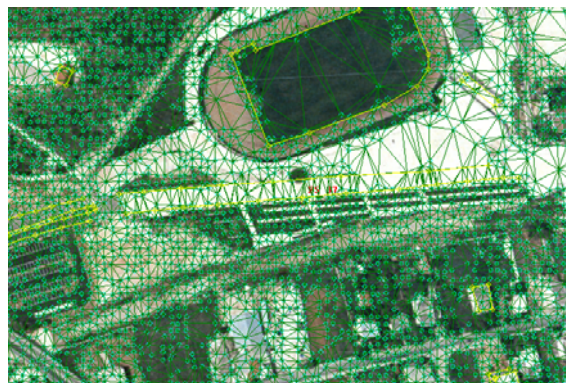
- regular: δημιουργείται αυτόματα ένα σημείο (picket), που περιέχει υψομετρική πληροφορία, σε κάθε σημείο του κανάβου (pixel) χωρίς την εφαρμογή κάποιου άλλου κριτηρίου
- adaptive: δημιουργεί ένα picket με βάση το βήμα του κανάβου, αλλά ταυτόχρονα εφαρμόζει παρεμβολή στα γειτονικά pixels και απορρίπτει ή μετακινεί ως προς τη θέση τα νέα pickets έτσι ώστε να βρίσκονται σε πιο σαφή σημεία
- smooth: ομαλοποιεί την παραπάνω διαδικασία απορρίπτοντας πιθανές θέσεις με αποτέλεσμα τα pickets που φτιάχνει να είναι πολύ λιγότερα σε πλήθος σε σχέση με τις δύο παραπάνω μεθόδους.

Το επόμενο βήμα ήταν η αυτόματη δημιουργία του TIN (Triangulated Irregular Network), δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων από τις κορυφές (pickets) που δημιουργήθηκαν άνωθεν. Η εντολή που εφαρμόστηκε ήταν TIN – Create – From Pickets. Η δημιουργία του TIN ήταν απαραίτητη καθώς καθιστούσε εύκολα αντιληπτό το πλήθος των σημείων του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου που ήθελε διόρθωση. Η διόρθωση των κορυφών των τριγώνων του TIN είναι χρονοβόρα, απαραίτητη αλλά και καθοριστική διαδικασία καθώς από αυτό το στάδιο εξαρτάται η ποιότητα και η πιστότητα του τελικού προϊόντος. Καταληκτικά επισημαίνεται ότι είναι πιο εύκολη σε έναν άπειρο χρήστη η διόρθωση των κορυφών των τριγώνων (απευθείας προσαρμογή των πλευρών του τριγώνου στην επιφάνεια του αντικειμένου) από τη διόρθωση μεμονωμένων σημείων.

Ενδεικτικά παρατίθενται δύο τμήματα από την έναρξη και των τερματισμό της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής όπου φαίνεται η πυκνότητα των σημείων (Pickets) καθώς και το δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων (TIN) που δημιουργήθηκε από τα σημεία.



Εικόνα 27. Τρισδιάστατη κατανομή σημείων



Εικόνα 28. Δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων, Στάδιο Μαραθώνα



Εικόνα 29. Τρισδιάστατη κατανομή σημείων



Εικόνα 30. Δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων, Καλλιμάραρο Στάδιο

2.7.2 Σύνταξη Ορθοφωτογραφίας

Η ορθοφωτογραφία είναι μία φωτογραφική εικόνα που έχει αναχθεί διαφορετικά ώστε να εξαλειφθούν οι παραμορφώσεις της αρχικής εικόνας. Οι κυριότερες ιδιότητες είναι ότι έχει ενιαία κλίμακα, περιέχει ποιοτική πληροφορία και έχει μετρητική αξιοπιστία. Η διαδικασία παραγωγής της είναι μία αυτοματοποιημένη ψηφιακή μονοεικονική φωτογραμμετρική διαδικασία, χωρίζεται σε 5 επιμέρους στάδια και έλαβε χώρα στο φωτογραμμετρικό σταθμό PhotoMod:

Σχεδιασμός της όλης διαδικασίας, όπου με βάση τις προδιαγραφές ακρίβειας ορίζονται η κλίμακα σύνταξης της ο/φ, 1:2.000 και η διάσταση στο έδαφος της στοιχειώδους ψηφίδας της ο/φ, με βάση την σχέση όπου 100μm επί τον συντελεστήκλίμακας της ο/φ αντιστοιχούν σε 0,20m στο έδαφος.

Επιλογή των τμημάτων των α/φ που θα αναχθούν για την κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος. Επιλογή κεντρικών τμημάτων όπου η λήψη είναι κατακόρυφη, ή τμημάτων με καλή ραδιομετρική πληροφορία. Η ραδιομετρική παρεμβολή για τον καθορισμό των τόνων των τριών βασικών χρωμάτων έγινε με την τεχνική της διγραμμικής παρεμβολής. Επιπλέον προκειμένου το τελικό φωτομωσαϊκό να έχει όσο το δυνατό πιο ενιαίο χρώμα (σε αντίθεση με το σύνολο των α/φ), κατά την δημιουργία των ο/φ έγινε η επιλογή της παραμέτρου *By selected image*. Η παραπάνω εντολή αποδίδει το τελικό χρώμα του φωτομωσαϊκού βασιζόμενο στο χρώμα της εικόνας που είναι επιλεγμένη και προφανώς είχε τις καλύτερες

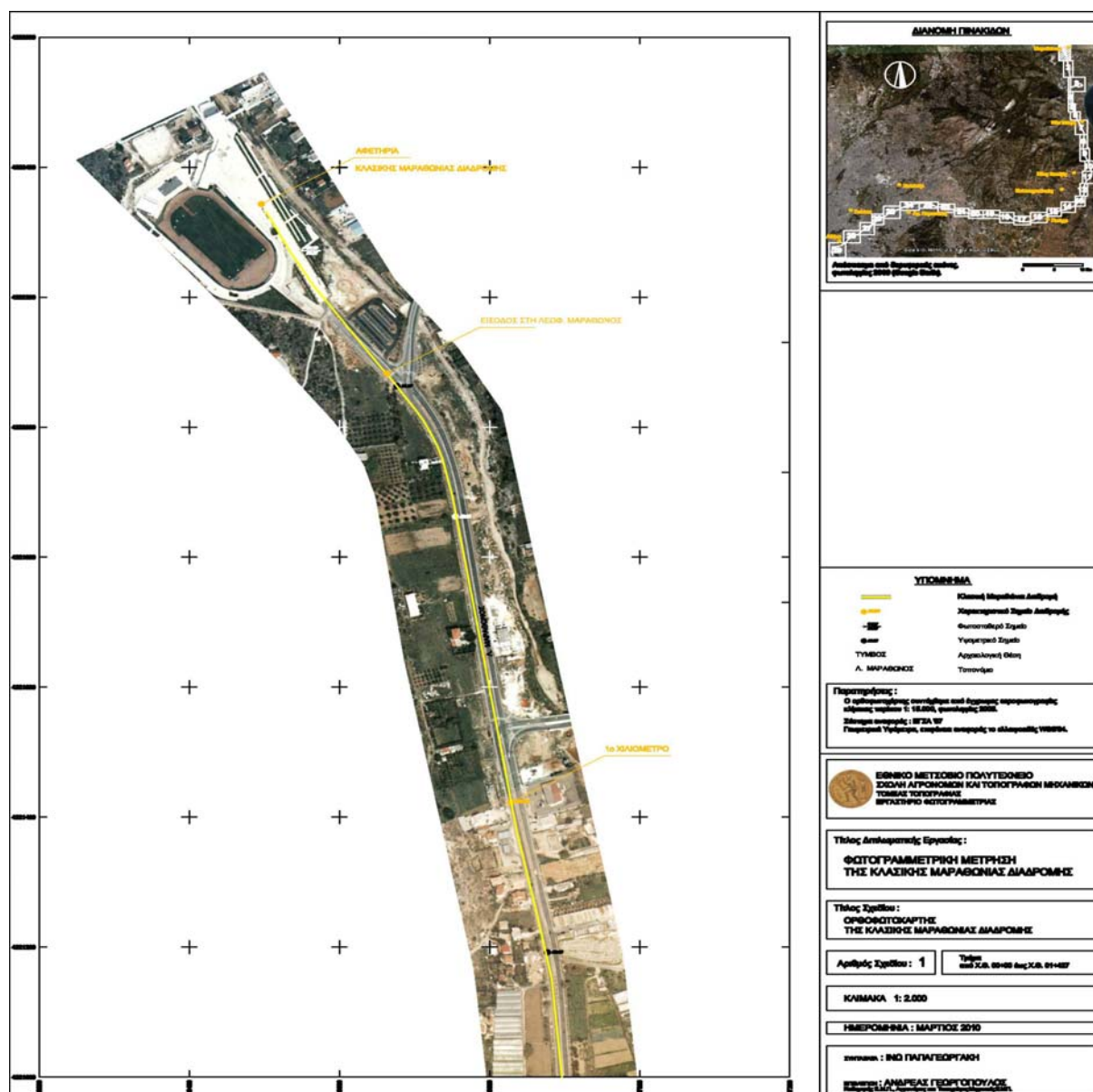
αποχρώσεις (φυσικότερα χρώματα), συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Ουσιαστικά αποτελεί ένα είδος ραδιομετρικής διόρθωσης των αναχθισίων εικόνων.

Ψηφιακή διαφορική αναγωγή των εικόνων.

Δημιουργία του τελικού φωτομωσαϊκού, ακριβής προσδιορισμός των τμημάτων των αναχθισίων εικόνων που απαρτίζουν την τελική ο/φ, χρήση μοντέλων ραδιομετρικής διόρθωσης, προσθήκη διανυσματικής πληροφορίας (π.χ. σύμβολα, ονοματολογία).

Ποιοτικός έλεγχος των ορθοφωτοχαρτών, ως προς την ποιότητα σύνθεσης, την υψομετρική ακρίβεια, την οριζοντιογραφική ακρίβεια.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται μερικές από τις 29 συνολικά πινακίδες που περιέχουν τον ορθοφωτοχάρτη της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής.



Εικόνα 31. Ορθοφωτοχάρτης Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Πινακίδα 1.



Εικόνα 32. Ορθοφωτοχάρτης Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Πινάκιδα 29.

2.8 Δημιουργία Μηκοτομής

Με δεδομένη πλέον την οριζοντιογραφική και την υψομετρική πληροφορία για κάθε σημείο της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής (υπό μορφή polyline) από τις παραπάνω διαδικασίες η δημιουργία της μηκοτομής ήταν φυσικό επακόλουθο.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των απαραίτητων παραμέτρων και τη σχεδίαση της μηκοτομής ήταν το GeoCalc, της εταιρίας SoftCalc Εφαρμογές Πληροφορικής Ε.Π.Ε.. Τα απαραίτητα δεδομένα για την δημιουργία της μηκοτομής ήταν οι συντεταγμένες του DEM, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως υπόβαθρο, καθώς αποδίδουν πιστά την επιφάνεια του οδοστρώματος, οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες των κορυφών της γραμμής που αντιστοιχεί στην Κλασική Μαραθώνια Διαδρομή και τα αντίστοιχα υψόμετρα των κορυφών.

Το GeoCalc είναι προγραμματισμένο να δημιουργεί κόμβους στην polyline που του εισάγεται ανάλογα με το βήμα που του δηλώνει ο χρήστης και επιπλέον να θεωρεί ως κόμβους και τις κορυφές της polyline που έχουν προκύψει κατά τη φάση της ψηφιοποίησης (απόδοση).

Μετά την προετοιμασία και την εισαγωγή των δεδομένων σε μορφή τέτοια ώστε να αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα, ορίστηκε η κλίμακα μηκών να είναι 1:5.000 και η κλίμακα των υψομέτρων 1:500. Στην περίπτωση όπου η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών της polyline είναι μεγαλύτερη από 100m το πρόγραμμα εισάγει κόμβο τον οποίο αριθμεί με αύξουσα σειρά (π.χ. 1, 2, ...). Στις κορυφές της polyline εισάγεται μπροστά από τον αριθμό το κεφαλαίο γράμμα Α (π.χ. Α1, Α2, ...).

Επιπλέον η μηκοτομή χωρίστηκε σε 12 τμήματα και σε καθένα από αυτά ορίστηκε ορίζοντας (αφετηρία μέτρησης υψομέτρων) με βάση το σημείο που έχει το μικρότερο υψόμετρο.

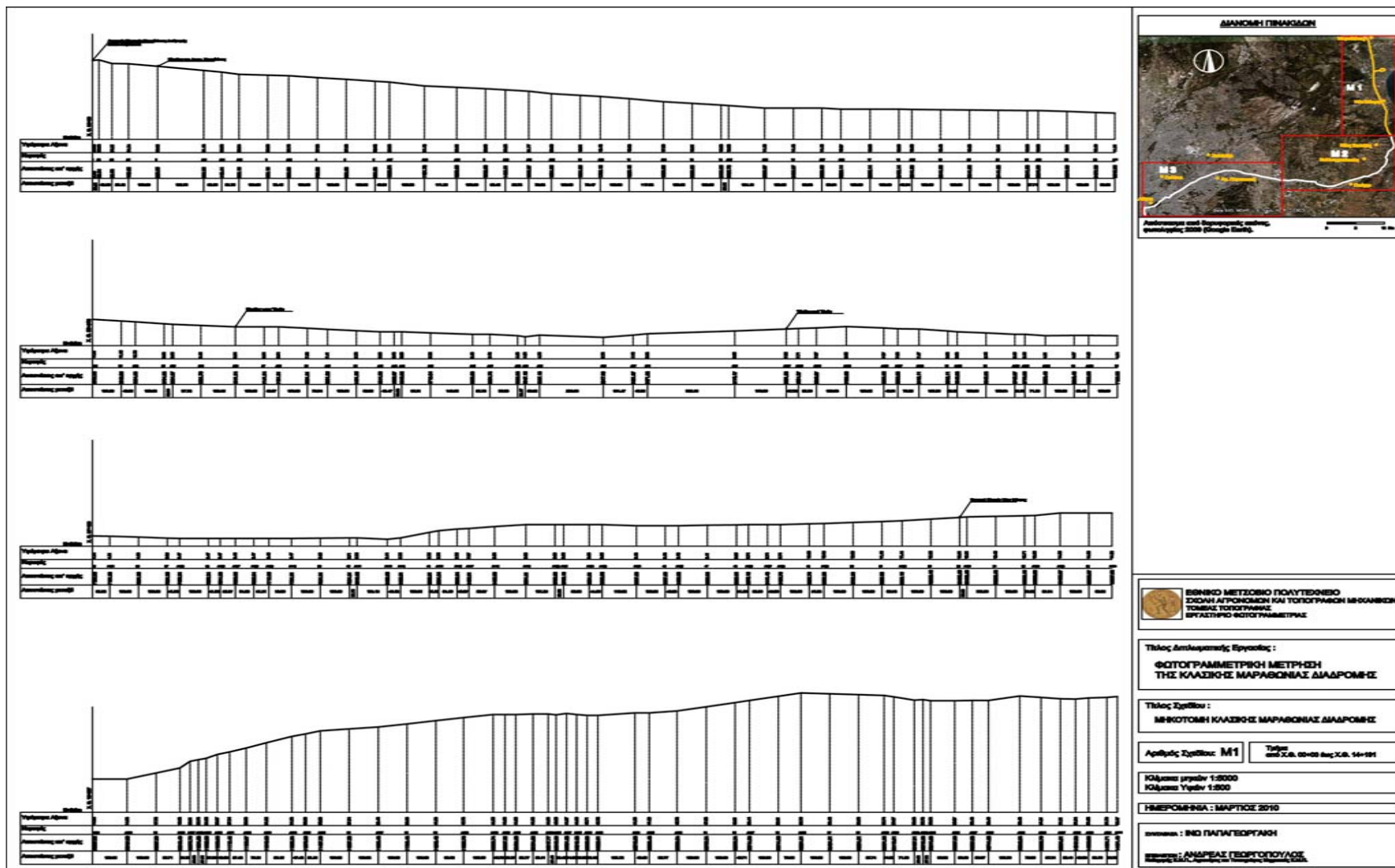
Οι χιλιομετρικές θέσεις και η τιμή του ορίζοντα σε καθεμία από αυτές παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4. Χ.Θ. μηκοτομής στις οποίες έχει τοποθετηθεί Ορίζοντας.

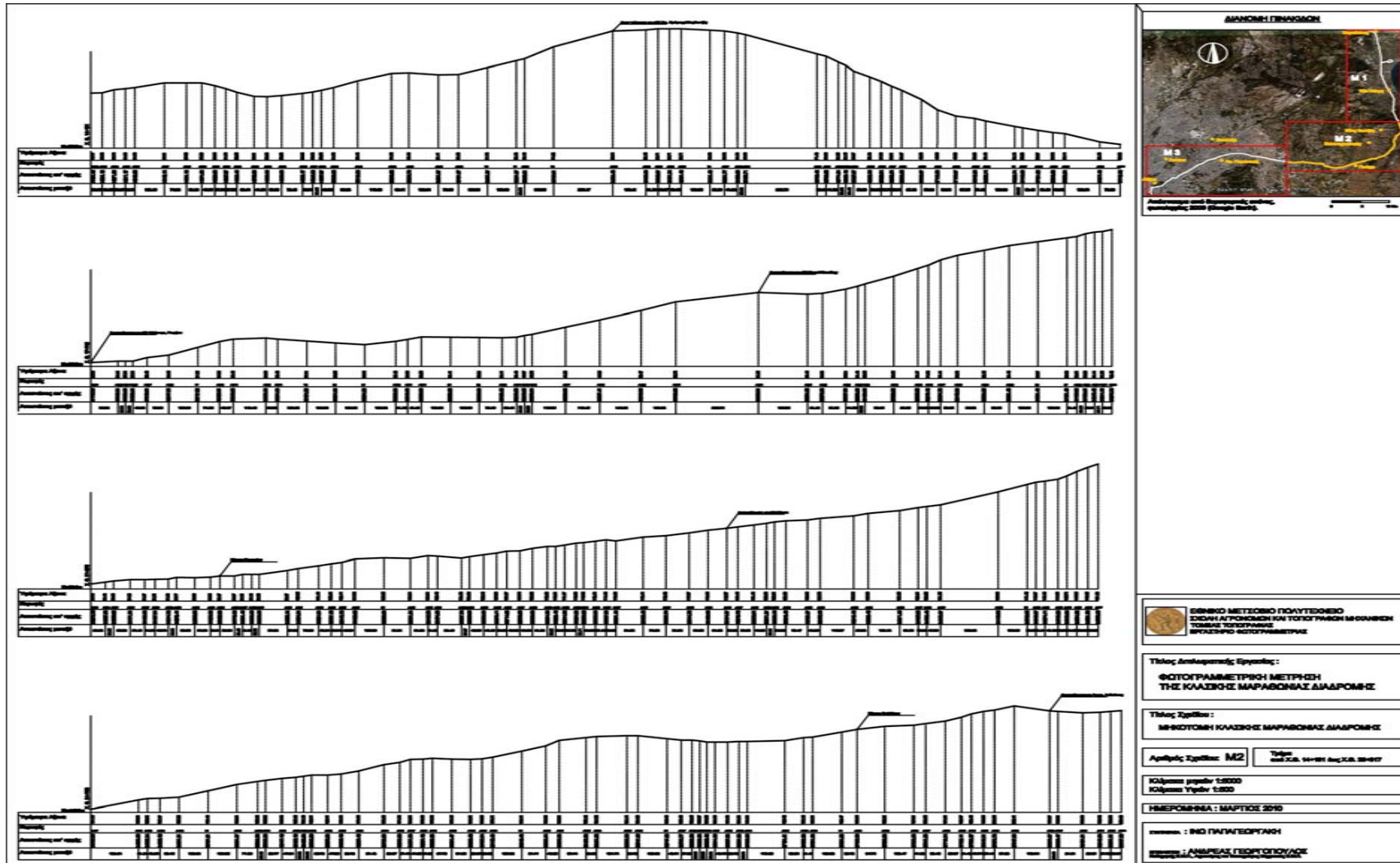
Χιλιομετρική Θέση	Ορίζοντας Χ.Θ. (m)
00+ 000	0.0
03+ 545	0.0
07+ 100	0.0
10+ 637	0.0
14+ 191	25.0
17+ 742	25.0
21+ 276	90.0
24+ 756	150.0
28+ 317	180.0
31+871	180.0
35+ 353	130.0
38+ 892	85.0

Τέλος υπολογίστηκαν οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων της μηκοτομής καθώς και οι αποστάσεις απ' αρχής. Τοποθετήθηκαν χαρακτηριστικά σημεία όπως τοπωνύμια και κεντρικές διασταυρώσεις που επιτρέπουν τη συσχέτιση – συνταύτιση μεταξύ της ορθοφωτογραφίας με τη μηκοτομή.

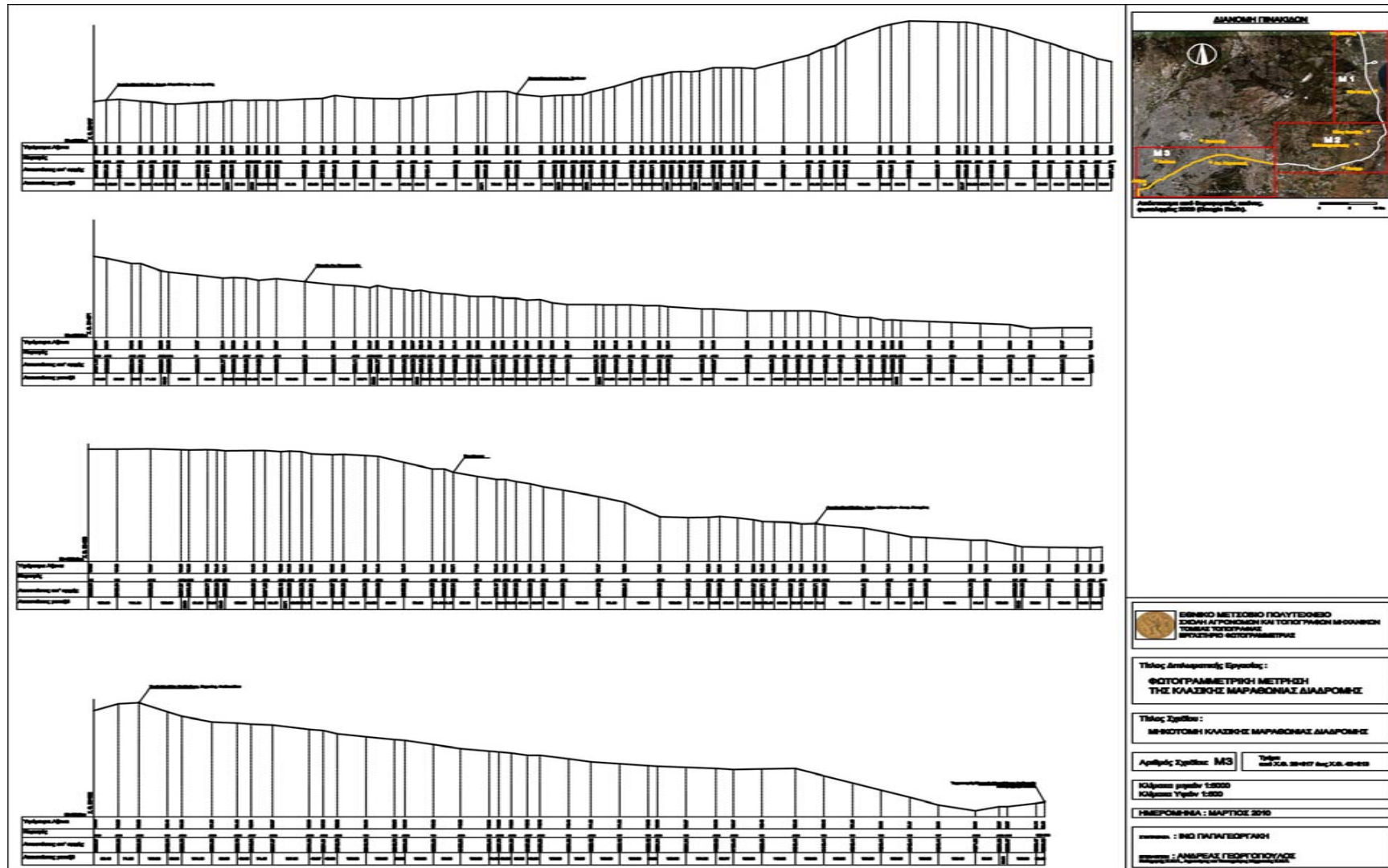
Το σύνολο της μηκοτομής παρουσιάζεται σε τρεις πινακίδες.



Εικόνα 33. Μηκοτομή Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Σχέδιο M1.



Εικόνα 34. Μηκοτομή Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Σχέδιο M2.



Εικόνα 35. Μηκοτομή Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής, Σχέδιο M3.

Κεφάλαιο 3

Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται η χρήση της φωτογραμμετρίας για τη μέτρηση του μαραθώνιου αγωνίσματος είναι ότι η φωτογραμμετρική μέτρηση μπορεί να είναι τόσο αποτελεσματική όσο η κλασική μέθοδος του βαθμολογημένου ποδηλάτου, που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, για τη μέτρηση της αγωνιστικής διαδρομής.

Η πρόταση για τη χρήση της φωτογραμμετρίας στη μέτρηση του Μαραθωνίου γίνεται με σκοπό, σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί, να εξελίξει και όχι απαραίτητα να αντικαταστήσει τις υπάρχουσες μεθόδους, που χρησιμοποιούνται και ειδικότερα σε τέτοιου είδους γεγονότα μεγάλης εμβέλειας.

Η βήμα προς βήμα σύγκριση και όχι αντιπαράθεση των δύο μεθόδων ίσως βοηθήσει στην ταυτόχρονη εξέλιξή τους με τελικό σκοπό την διοργάνωση ενός Μαραθώνιου Δρόμου, ο οποίος δεν θα αφήνει αναπάντητα ερωτήματα σε αθλητές, διοργανωτές και κοινό.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε αναλυτικά ο τρόπος μέτρησης της Κλασικής Μαραθωνίας Διαδρομής με τη συμβατική μέθοδο, στην οποία χρησιμοποιείται το ποδήλατο καθώς και άλλες μέθοδοι οι οποίες βρίσκονται σε πειραματικό ή μη ολοκληρωμένο στάδιο και προτείνονται από τους συγγραφείς τους για εφαρμογή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το σύνολο της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας καθώς και τα παράγωγα προϊόντα της. Στη συνέχεια ακολουθεί η αξιολόγηση της φωτογραμμετρικής διαδικασίας.

3.1 Αξιολόγηση Φωτογραμμετρικής Μεθοδολογίας

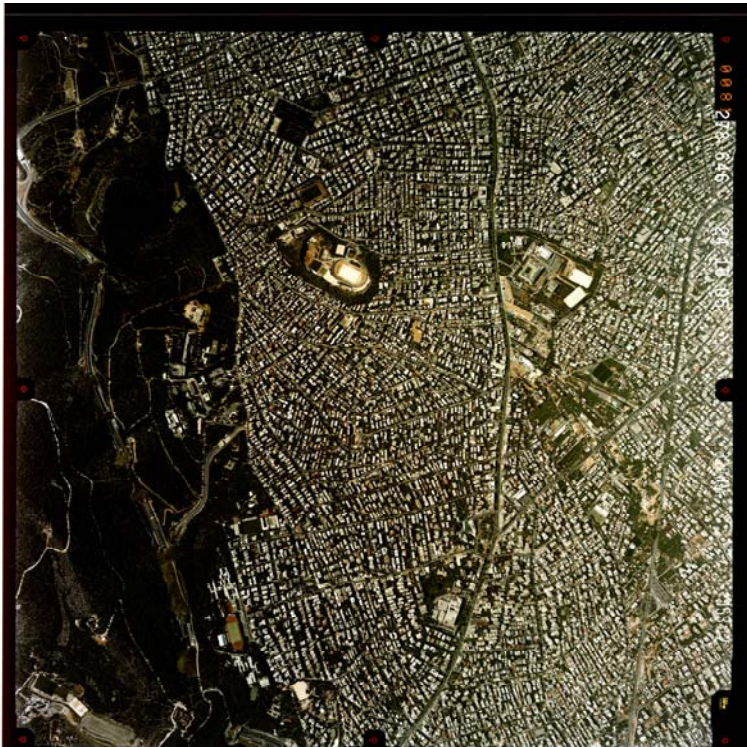
Η αξιολόγηση της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας που ακολουθεί έγκειται ουσιαστικά στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και των τελικών προϊόντων από άποψη αποτελεσματικότητας, ακρίβειας και απαιτούμενου χρόνου και κόστους. Στόχος είναι η παρουσίαση όλων των θεμάτων που προέκυπταν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας και στα οποία δόθηκε άμεση λύση.

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης των α/φ στο φωτογραμμετρικό σαρωτή Photoscan υψηλής ακρίβειας παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα σχετικά με τη ραδιομετρική ανάλυση των ψηφιοποιημένων α/φ. Όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 σκοπός ήταν η πιστή μετατροπή της αναλογικής μορφής των εικόνων σε ψηφιακή μορφή (ψηφιακό αρχείο), και η κατά το δυνατόν διατήρηση της αρχικής ραδιομετρικής πληροφορίας. Πρακτικά και για αδιευκρίνιστους λόγους με σταθερές τις τιμές των παραμέτρων και με το ίδιο προς σάρωση διαθετικό δύο διαδοχικές σαρώσεις έδιναν αποτελέσματα με διαφορετική ραδιομετρική ανάλυση. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η απαραίτητη ραδιομετρική διόρθωση των τελικών φωτογραμμετρικών προϊόντων, δηλαδή των ορθοφωτογραφιών της περιοχής ενδιαφέροντος για να προκύψει ενιαίο χρωματικό αποτέλεσμα στο σύνολο των 29 πινακίδων.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές χαρακτηριστικές τιμές του μεγέθους T (Transmissivity) που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σάρωση καθώς και τα αποτελέσματα των ψηφιακών αρχείων που προέκυψαν.



Εικόνα 36. Οι τιμές Transmissivity είναι 0,007 και 0,5.



Εικόνα 37. Οι τιμές Transmissivity είναι 0,005 και 0,4.

Επιπρόσθετα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων υπαίθρου με το σύστημα GPS παρουσιάστηκε σφάλμα κατά την καταγραφή των δεδομένων στο δέκτη Base. Ο δέκτης ήταν τοποθετημένος πάνω στο βάθρο στην ταράτσα του Λαμπαδάρειου κτηρίου ΕΜΠ, για χρονικό διάστημα περίπου 9 ωρών, ενώ ταυτόχρονα ο δέκτης Rover εκτελούσε μετρήσεις σε φ/σ στην περιοχή της Αγ. Παρασκευής. Με το πέρας

των μετρήσεων τα δεδομένα αυτά μεταφέρθηκαν από τους δέκτες στον ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου και έγινε αντιληπτή η απώλειά τους, πιθανόν λόγω σφάλματος κατά τον χειρισμό, μη έναρξη καταγραφής των δεδομένων. Τα δεδομένα που δεν κατέγραψε ο Base αναπληρώθηκαν με δεδομένα που κατέγραψε ο μόνιμος σταθμός στο κέντρο δορυφόρων του ΕΜΠ στο Διόνυσο την χρονική περίοδο και ημέρα. Επομένως οι μετρήσεις εκείνης της ημέρας λύθηκαν με σταθμό αναφοράς το Διόνυσο, αλλά χωρίς να προκύψουν σφάλματα κλεισίματος των βάσεων διαφορετικά από τα μέχρι τότε υπολογισμένα από το λογισμικό επίλυσης Spectra Precision Survey Office.

Στη συνέχεια έγινε σύγκριση του μήκος που προκύπτει από τη φωτογραμμετρική διαδικασία μεταξύ των σημείων που αντιστοιχούν σε κάθε χιλιόμετρο, με τις γνωστές θέσεις στις οποίες βρίσκεται το κάθε χιλιόμετρο σύμφωνα με την διαδικασία προσδιορισμού αυτών των σημείων (Εικόνα 38) κατά τη διάρκεια μέτρησης της διαδρομής με το ποδήλατο, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 38. Δέκατο χιλιόμετρο, εξασφάλιση σημείου (Grall, J., 2008).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται πως αν και μεταξύ κάποιων τμημάτων η διαφορά της απόστασης που μετρήθηκε μετά από φωτογραμμετρικό προσδιορισμό, σε σχέση με αυτή που προκύπτει λόγω της θέσης του αντίστοιχου χιλιόμετρου (εξασφάλιση θέσης από μετρητές της συμβατικής μεθόδου) είναι ακόμα και 148 m (π.χ. μεταξύ πέμπτου και όγδοου χιλιόμετρου), στο σύνολο της διαδρομής η απόκλιση είναι μόνο 34m. Γεγονός που προφανώς οφείλεται στην προσπάθεια απόδοσης της συντομότερης πιθανής διαδρομής όσο δυνατόν καλύτερα στις στροφές με τη χρήση περισσότερων σημείων, ενώ αντίστοιχα στα τμήματα με μεγάλες ευθυγραμμίες αρκούν δύο σημεία (μικρότερο σφάλμα). Με τη χρήση μεγάλων ευθύγραμμων τμημάτων αποτρέπεται η επιπλέον πρόσθεση μέτρων λόγω κινήσεων ζιγκ-ζαγκ ενώ αντίθετα χάνεται μέρος υψομετρικής πληροφορίας, η οποία για κοντινές αποστάσεις δεν επηρεάζει το μετρούμενο μήκος. Η απόδοση της συντομότερης πιθανής διαδρομής είναι δύσκολη διαδικασία για άτομα που έρχονται πρώτη φορά σε επαφή με το αντικείμενο και χωρίς εμπειρία στο συγκεκριμένο τρόπο σκέψης.

Πίνακας 5: Έλεγχος των αποστάσεων μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων.

όριο υπολογισμού	α/α τμήματος διαδρομής	μήκος τμήματος (από εντολή <i>list</i> σε m)	μεταξύ απόσταση (m)	σύνολο από αρχή (m)
	1	474,17		
	2	276,48		
	3	147,84		
	4	90,99		
	5	77,63		
	6	311,84		
	7	262,07		
	8	27,12		
	9	482,06		
	10	382,47		
	11	303,97		
	12	65,17		
	13	99,97		
έως προβολή	4km	818,05	3819,83	
υπόλοιπο για σύνολο	14	189,86		
έως 5 Km	15	990,57	1180,43	5000,27
	16	1278,85		
	17	141,10		
	18	146,53		
	19	202,90		
	20	856,90		
	21	98,40		
έως 8 Km		423,03	3147,70	8147,96
υπόλοιπο για σύνολο	22	270,06		
	23	709,76		
	24	790,25		
	25	1548,20		
	26	489,88		
έως 12 Km	27	43,96	3852,11	12000,07
	28	154,34		
	29	418,57		
	30	814,18		
	31	309,35		
	32	765,45		

	33	1033,87		
	34	148,29		
	35	543,75		
	36	928,33		
	37	836,07		
έως 18 Km	38	51,81	6004,02	18004,09
	39	115,94		
	40	1270,86		
	41	463,88		
	42	680,45		
	43	1156,20		
	44	509,54		
	45	2024,22		
	46	275,43		
έως 25 Km	47	550,71	7047,24	25051,33
	48	591,19		
	49	475,23		
	50	549,53		
έως 28 Km	51	1362,18	2978,14	28029,46
	52	919,56		
έως 29 Km	53	126,00	1045,56	29075,02
	54	430,12		
	55	377,53		
έως 30 Km	56	193,25	1000,90	30075,92
	57	572,83		
	58	1389,66		
	59	111,25		
	60	374,93		
	61	2202,70		
	62	193,54		
έως 35 Km	63	122,05	4966,95	35042,87
	64	225,03		
	65	931,15		
	66	531,65		
	E2	302,35		
	67	351,90		
	68	216,56		
	69	766,33		
	70	236,58		
	71	66,46		
	E1	142,54		

έως 39 Km	E0	207,84	3978,39	39021,27
	72	309,37		
	73	1973,98		
	74	590,18		
	75	334,90	3208,43	42229,69
				42195,00
			διαφορά (m)	34,69

Στην συνέχεια έγινε υπολογισμός των σφαλμάτων κάθε απόστασης μεταξύ δύο κορυφών (συνολικά 812 κορυφές) και του σφάλματος της συνολικής απόστασης για το σύνολο της διαδρομής των 42.229m που προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία.

Για τον υπολογισμό του σφάλματος της συνολικής απόστασης είναι απαραίτητα ως δεδομένα τα σφάλματα προσδιορισμού της συντεταγμένης κάθε κορυφής από τη φωτογραμμετρική διαδικασία σ_x , σ_y , σ_z . Τα σφάλματα αυτά προσδιορίστηκαν ως ο μέσος όρος των σφαλμάτων της κάθε συντεταγμένης για τα τέσσερα αυτά σημεία με την στόχευση τεσσάρων σημείων σε στερεοσκοπικό περιβάλλον 20 φορές το καθένα.



Εικόνα 39. Τέσσερα σημεία που στοχεύθηκαν 20 φορές το καθένα για τον προσδιορισμό της ακρίβειας απόδοσης της φωτογραμμετρικής διαδικασίας.

Πίνακας 6. Ακρίβεια Φωτογραμμετρικής Απόδοσης Σημείων (διαστάσεις σε μέτρα)

(m)	1ο σημείο	2ο σημείο	3ο σημείο	4ο σημείο	μέση ακρίβεια απόδοσης
μέσος όρος x	496722.068	498514.1606	490349.486	478866.8092	
μέσος όρος y	4221994.868	4209259.709	4206025.746	4204035.611	
μέσος όρος z	29.124	80.40535	184.517	139.812	
$\Sigma(x_i - \bar{x})^2$	0.213	0.136	0.250	0.744	
$\Sigma(y_i - \bar{y})^2$	1.158	0.152	0.043	0.305	
$\Sigma(z_i - \bar{z})^2$	2.951	0.199	0.362	0.633	
σ_x^2	0.006	0.007	0.013	0.039	
σ_y^2	0.034	0.008	0.002	0.016	
σ_z^2	0.087	0.010	0.019	0.033	
σ_x	0.079	0.084	0.115	0.198	0.119
σ_y	0.185	0.090	0.048	0.127	0.112
σ_z	0.295	0.102	0.138	0.182	0.179

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα παρακάτω:

Το μέσο μήκος από κόμβο σε κόμβο της γραμμής που ψηφιοποιήθηκε για την απόδοση της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής είναι περίπου 50m και σε κάθε τέτοιο τμήμα αντιστοιχεί ένα σφάλμα υπολογισμού του μήκους των 2,5 cm. Συνολικά η απόσταση μετρήθηκε και είναι ίση με 42.229 m \pm 4,69m, ακρίβεια πολύ καλύτερη από το 0,1 % που απαιτεί ο κανονισμός της IAAF (42.216m \pm 21m). Επίσης παρατηρείται πως το μεγαλύτερο σφάλμα είναι στον προσδιορισμό της συντεταγμένης z, γεγονός που είναι αναμενόμενο καθώς κατά τη διάρκεια της στερεσκοπικής απόδοσης το βήμα κίνησης της μάρκας είναι περίπου 15 cm και επομένως κάθε επιφάνεια προσεγγίζονταν με αυτή την αβεβαιότητα. Οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του συνολικού σφάλματος της απόστασης με γνωστές τις συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ'87 των κορυφών (x, y, z) και το σφάλμα προσδιορισμού κάθε συντεταγμένης (σ_{x_i} , σ_{y_i} , σ_{z_i}) από την παραπάνω διαδικασία είναι: $D = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)}$

Όπου $\sigma_{x_i} = 0,119m$, $\sigma_{y_i} = 0,112m$, $\sigma_{z_i} = 0,179m$.

$$\sigma_{D_{ij}}^2 = \sigma_{x_j}^2 \left(\frac{x_j - x_i}{D_{ij}} \right)^2 + \sigma_{x_i}^2 \left(\frac{x_j - x_i}{D_{ij}} \right)^2 + \sigma_{y_j}^2 \left(\frac{y_j - y_i}{D_{ij}} \right)^2 + \sigma_{y_i}^2 \left(\frac{y_j - y_i}{D_{ij}} \right)^2 +$$

$$\sigma_{z_j}^2 \left(\frac{z_j - z_i}{D_{ij}} \right)^2 + \sigma_{z_i}^2 \left(\frac{z_j - z_i}{D_{ij}} \right)^2$$

$$\sigma_D^2 = \Sigma \sigma_{D_{ij}}^2 \text{ και } \sigma_D = \pm \sqrt{\sigma_D^2} \text{ και προκύπτει } \sigma_D = \pm 4,69m$$

3.2 Σύγκριση με την συμβατική μέθοδο

Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ της συμβατικής μεθόδου μέτρησης, με τη χρήση του βαθμονομημένου ποδηλάτου και της φωτογραμμετρικής μεθόδου που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια είναι το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις. Η πρώτη συνίσταται αμιγώς από εργασίες πεδίου (υπαίθρου) σε αντίθεση με τη δεύτερη, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των εργασιών εκτελείται στο γραφείο, καθιστώντας την επιτόπια επίσκεψη προαιρετική. Η αναγκαιότητα της επιτόπιας επίσκεψης έγκειται στην εξακρίβωση πιθανών αλλαγών από τη στιγμή λήψης των αεροφωτογραφιών μέχρι τη στιγμή χρήσης τους και φυσικά στη μέτρηση των αναγκαίων φωτοσταθερών.

Όσο αφορά το ανθρώπινο δυναμικό, που είναι απαραίτητο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το ποδήλατο αναφέρεται (Δούσης, Γ., 2009) ότι δύο άτομα είναι αρκετά. Σε περίπτωση ύπαρξης τρίτου ατόμου οι αρμοδιότητες (φόρτος εργασίας) των δύο πρώτων δεν αλλάζουν, καθώς το τρίτο άτομο επικουρικά παρατηρεί την κυκλοφοριακή κίνηση ή συμμετέχει στην επισήμανση και εξασφάλιση των σημείων (καρφιά) που τοποθετούνται στην ασφάλτο ανά χιλιόμετρο. Τα δύο βασικά μέλη πρέπει προφανώς να βρίσκονται σε καλή φυσική κατάσταση καθώς χρειάζεται να ποδηλατούν τα τμήματα της διαδρομής που μετρώνται, με σταθερή ταχύτητα και χωρίς μεγάλες αποκλίσεις από τη συντομότερη πιθανή διαδρομή.

Σε αντίθετη περίπτωση η φωτογραμμετρική διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί από ένα και μόνο άτομο και χωρίς την προϋπόθεση της καλής φυσικής κατάστασης. Σε περίπτωση όπου είναι απαραίτητες μετρήσεις πεδίου για τον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων των φ/σ, είναι αναγκαίο άλλο ένα άτομο χωρίς ιδιαίτερα προσόντα.

Επιπρόσθετα, όπως παρουσιάζεται και στο πρώτο κεφάλαιο ο αναγκαίος εξοπλισμός για τη διενέργεια μετρήσεων με τη μέθοδο του βαθμονομημένου ποδηλάτου είναι φυσικά το ποδήλατο με προσαρμοσμένο στην μπροστινή του ρόδα, τον μετρητή του Jones (Jones counter), ατσάλινη μετροταινία μήκους 50m, θερμόμετρο και πιεσόμετρο (μέτρηση πίεσης ατμοσφαιρικού αέρα και πίεσης εντός των ελαστικών του ποδηλάτου), καρφιά και σφυρί, χαρτοταινία και μολύβι. Ο παραπάνω εξοπλισμός είναι ιδιοκτησίας του εκάστοτε μετρητή και όχι της διοργανώτριας αρχής. Τέλος το κόστος απόκτησης του παραπάνω εξοπλισμού είναι μηδαμινό σε σχέση με αυτό που ακολουθεί.

Σε αντίθεση με τον παραπάνω εξοπλισμό, για τη φωτογραμμετρική μέτρηση απαιτούνται:

- πλήθος α/φ κατάλληλης κλίμακας
- σαρωτής διαθετικών μεγέθους 230x230mm, μεγάλης ακρίβειας (70.000 €), εφόσον οι εικόνες είναι σε αναλογική μορφή
- σύστημα GPS για την μέτρηση των φ/σ (αξίας περίπου 6.000 €)
- ψηφιακός φωτογραμμετρικός σταθμός (αξίας περίπου 8.000 €)
- προγράμματα τελικής επεξεργασίας των φωτογραμμετρικών προϊόντων (AutoCAD)

Επιπλέον, οι μετρήσεις με τη μέθοδο του βαθμονομημένου ποδηλάτου διαρκούν δύο ημέρες, με οχτώ ώρες εργασίας κάθε ημέρα. Ενώ η φωτογραμμετρική μέτρηση είναι άκρως χρονοβόρα.

Η αμοιβή του μετρητή (οδηγός ποδηλάτου) είναι ελάχιστη και αντιστοιχεί σε 50€ ημερησίως. Ουσιαστικά πρόκειται για εθελοντική εργασία καθώς όλα τα έξοδα για τη μεταφορά του μετρητή είναι προσωπική του υπόθεση. Η διοργανώτρια αρχή το μόνο που εξασφαλίζει στους ξένους μετρητές είναι κατάλυμα για το διάστημα των μετρήσεων (2 ημέρες). Το ποσό των 50€ είναι ουσιαστικά για την κάλυψη των εξόδων που θα προκύψουν σε πιθανή βλάβη των οργάνων του μετρητή, και δεν αποτελεί αμοιβή.

Επιπλέον ένα σημείο στο οποίο διαφέρουν οι δύο μέθοδοι είναι το γεγονός ότι η διαδικασία μέτρησης με τη συμβατική μέθοδο δεν αποτελεί μετά την ολοκλήρωση της αδιαμφισβήτητο γεγονός. Ο λόγος είναι πρακτικός. Από την διαδικασία αυτή δεν προκύπτει κάποια γραμμή σχεδιασμένη σε ένα φύλο χαρτί ή σε κάποιο ψηφιακό αρχείο, με αποτέλεσμα ο επανέλεγχος ή η μέτρηση κάποιου τμήματος για δεύτερη φορά να συνεπάγεται εκ νέου χρήση του ποδηλάτου. Στην αντίθετη περίπτωση κάθε βήμα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας της μέτρησης είναι τεκμηριωμένο από άποψη ακρίβειας και αποθηκευμένο σε ψηφιακό αρχείο. Η διαδρομή μπορεί να χαραχθεί στην πραγματικότητα και να αποτελεί γνώμονα για τους συμμετέχοντες αθλητές. Ο αθλητής που τρέχει πάνω στη χαραγμένη γραμμή διανύει το συνολικό μήκος του Μαραθωνίου με τη μικρότερη δυνατή απόκλιση.

Καταληκτικά από άποψη ακρίβειας η συμβατική μέθοδος του βαθμονομημένου ποδηλάτου εξασφαλίζει κατ' ελάχιστον την απόσταση των 42.195 m. Σκοπός της μεθόδου, όπως έχει προαναφερθεί, είναι κάθε δρομέας να τρέξει τουλάχιστον αυτή την απόσταση και ταυτόχρονα να μην τρέξει παραπάνω από 42 m, δηλαδή 0.1% αυτής. Επομένως το αποτέλεσμα της μέτρησης της διαδρομής πρέπει να είναι αυστηρά μεταξύ 42.195m και 42.237m.

Η φωτογραμμετρική απόδοση της διαδρομής μεταβιβάζει σε κάθε σημείο της διαδρομής, από τις προηγούμενες φωτογραμμετρικές διαδικασίες σφάλματα. Η μέτρηση των συντεταγμένων οποιουδήποτε σημείου γίνεται εν προκειμένω με ακρίβεια $\sigma_x = \pm 0,119\text{m}$, $\sigma_y = \pm 0,112\text{m}$, $\sigma_z = \pm 0,179\text{m}$, όπως ήδη τεκμηριώθηκε για την παρούσα εφαρμογή. Στο σύνολο του μήκους της διαδρομής που υπολογίστηκε και ισοδυναμεί με 42.229 m η ακρίβεια είναι $\pm 4,69\text{ m}$.

Συνοπτικά παρουσιάζονται:

Πλεονεκτήματα της μεθόδου του βαθμονομημένου ποδηλάτου:

- Ταχύτατος τρόπος μέτρησης της διαδρομής. Κατά μέσο όρο σε δύο ημέρες έχει μετρηθεί η διαδρομή των 42.195 m.
- Επιτόπια μέτρηση. Με τον τρόπο αυτό οποιαδήποτε αλλαγή λαμβάνεται υπ' όψιν (σπασμένα στηθαία, παρκαρισμένα αυτοκίνητα, γέφυρες).

Μειονεκτήματα της μεθόδου του βαθμονομημένου ποδηλάτου:

- το ζήτημα της ασφάλειας του ποδηλάτη κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- η ικανότητα του αναβάτη να ποδηλατεί επανειλημμένα τη συντομότερη πιθανή διαδρομή. Σε αυτό το σημείο είναι εμφανής ο παράγοντας του προσωπικού λάθους.

Πλεονεκτήματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου:

- η μέτρηση της διαδρομής μπορεί να γίνει χωρίς απαραίτητη επιτόπια επίσκεψη.
- Άπαξ και πραγματοποιηθεί για πρώτη φορά η μέτρηση της μαραθώνιας διαδρομής στο περιβάλλον ενός φωτογραμμετρικού σταθμού, η απόδοση της γραμμής αποθηκεύεται σε αρχείο. Επομένως υπάρχουν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ'87 κάθε κορυφής της γραμμής, που εύκολα μπορούν να προσδιοριστούν, χαραχθούν στο πεδίο με μεγάλη ακρίβεια.
- Επιπρόσθετα από τη στιγμή που η μαραθώνια διαδρομή δεν αποτελεί πλέον μια έννοια αλλά μια συγκεκριμένη γραμμή στο χώρο η χάραξη της αμβλύνει τις αμφιβολίες των δρομέων ως προς το μήκος που έτρεξαν.
- Επιπλέον από την στιγμή όπου ο Κλασικός Μαραθώνιος Δρόμος στην Αθήνα ακολουθεί αυτή τη διαδρομή εδώ και 35 χρόνια με μικρές αποκλίσεις κάθε αλλαγή στη διαδρομή, διορθώσεις και νέες μετρήσεις μηκών μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς επιτόπια επίσκεψη και σε μικρό χρονικό διάστημα.
- Η μέτρηση της Κλασικής μαραθώνιας διαδρομής μπορεί να γίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια από 0,1% που ορίζει ο σημερινός κανονισμός της IAAF, με την επιλογή των κατάλληλων δεδομένων (μεγαλύτερης κλίμακας αρχικές α/φ, ακριβέστερο προσδιορισμό φ/σ).
- Τέλος η φωτογραμμετρική διαδικασία δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής υψομετρικής πληροφορίας. Γεγονός που ολοκληρώνει την εικόνα της διαδρομής στο δρομέα και τον προϊδεάζει.

Μειονεκτήματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου:

- Χρονοβόρα διαδικασία κατά την εφαρμογή της για πρώτη φορά.
- Μεγάλο κόστος εξοπλισμού

3.3 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Οι εξελίξεις που έχουν συντελεστεί κατά τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής, ειδικότερα στον τομέα της Αναλυτικής και Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας, σε συνδυασμό με εκείνες των αεροφωτογραφήσεων, έχουν δημιουργήσει προϋποθέσεις για παραγωγή εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας τοπογραφικών υποβάθρων τόσο σε διανυσματική όσο και σε μορφή raster.

Με γνώμονα ότι η τεχνολογία εξελίσσεται με ταχυστάτους ρυθμούς είναι εφικτή ανά πάσα στιγμή η μέτρηση οποιουδήποτε μεγέθους αντικειμένου με τη χρήση της Φωτογραμμετρίας. Σε περιπτώσεις όπου η έκταση της περιοχής μελέτης είναι μεγάλη, αποτρέπεται η εφαρμογή επιτόπιας μέτρησης και δη τοπογραφικής αποτύπωσης. Σε αντίθεση με τη Φωτογραμμετρία όπου οι κλίμακες των α/φ ή των δορυφορικών εικόνων είναι μικρές και με μικρό αριθμό ή και μονοεικονικά μπορούν να παραχθούν εικονιστικά προϊόντα με μετρητικές ιδιότητες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία δημιουργήθηκαν ψηφιακά αρχεία των α/φ κλίμακας 1:15.000 με χωρική ανάλυση σάρωσης 21μm, που αντιστοιχεί σε μέγεθος

εδαφοψηφίδας 0,30m περίπου, επομένως η ακρίβεια μέτρησης σε στερεοσκοπική παρατήρηση των αντικειμένων είναι της τάξης του μισού pixel (0,15m) και συνεπώς γίνεται αντιληπτή η απόσταση των 0,30m από το κράσπεδο από την οποία διέρχεται η συντομότερη πιθανή διαδρομή).

Η χρήση ψηφιακών αρχικών εικόνων θα περιορίζει το φαινόμενο της εναλλαγής των χρωματικών αποχρώσεων από μοντέλο σε μοντέλο με αποτέλεσμα ομοιόμορφους τόνους χρωμάτων στο τελικό προϊόν.

Ενδείκνυται ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των φ/σ με τη μέθοδο του GPS καθώς είναι γρήγορη (20 λεπτά για κάθε σημείο που απέχει περίπου 8 km από το σταθμό βάσης), ακριβής (μερικών cm) και εύκολη διαδικασία, σε σχέση με τις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους.

Οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες που εφαρμόστηκαν στο λογισμικό του προγράμματος PhotoMod 4.3 ακολουθήθηκαν βήμα-βήμα με βάση τη δομή του προγράμματος. Αρχικά η αποκατάσταση των προσανατολισμών, και η επίλυση με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού είναι ταχύτερες διαδικασίες, σε αντίθεση με τη δημιουργία και διόρθωση των σημείων του DTM όπου το σύστημα καθυστερεί. Πιθανός λόγος της παραπάνω καθυστέρησης το πυκνό DTM που αποτελείται από πλήθος σημείων ανά 5m, ώστε να καλύπτουν σε κάθε ζεύγος έκταση περίπου 1Km² (1000στρέμματα). Συνολικά δημιουργήθηκαν και διορθώθηκαν σημεία ανά 5m που κάλυπταν έκταση περίπου 12,75 Km² (12.750 στρέμματα).

Η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών είναι αυτοματοποιημένη και γρήγορη διαδικασία. Ο ορθοφωτοχάρτης κλίμακας 1:2.000 του συνόλου της διαδρομής, που παράχθηκε επιτρέπει μετρήσεις σημείων με ακρίβεια ±0,20m.

Τέλος η μηκοτομή κλίμακας μηκών 1:5.000 και κλίμακας υψών 1:500 έγινε αυτόματα στο πρόγραμμα Geocalc. Η ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων και υψομέτρων είναι της τάξης των μερικών εκατοστών, ακρίβεια που καλύπτει της μετρήσεις στην μέθοδο του βαθμονομημένου ποδηλάτου.

Τέλος η συμβατική μέθοδος μέτρησης της Κλασικής Μαραθώνιας Διαδρομής απαιτεί το μήκος της διαδρομής να μην είναι ποτέ λιγότερο από 42.195m και ποτέ μεγαλύτερο από 42.237m ή διαφορετικά 42.195m+42m. Ισοδύναμα θα μπορούσε να γραφεί 42.216m±21m και πλέον μπορεί να συγκριθεί με το αποτέλεσμα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας που είναι 42.229 m ±4,7m.

Τέλος προτείνεται ο σχεδιασμός ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος όπου θα έχει ως υπόβαθρο την τρισδιάστατη πληροφορία που προέκυψε από την φωτογραμμετρική επεξεργασία, και θα επιτρέπει στους συμμετέχοντες αθλητές την εικονική τρισδιάστατη περιήγηση της αγωνιστικής διαδρομής, εικονική προπόνηση, έτσι ώστε να είναι προϊδεασμένοι όσον αφορά την μορφολογία του εδάφους και τις κλίσεις του δρόμου που θα συναντήσουν στον αγώνα, καθώς η κλασική Μαραθώνια Διαδρομή Αποτελεί μια δύσκολη διαδρομή λόγω της μεγάλης υψομετρικής διαφοράς ανά τμήμα(απότομες ανηφόρες και κατηφόρες).

Εναλλακτικά προτείνεται η 3D οπτικοποίηση της διαδρομής και η τοποθέτησή της σε οθόνες μπροστά από διαδρόμους γυμναστικής. Οι αθλητές ή οι δρομείς κατά τη διάρκεια της προπόνησης θα παρακολουθούν σε αληθινό χρόνο την εναλλαγή των τοπίων από τα οποία διέρχεται η Κλασική Μαραθώνια Διαδρομή.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία:

Αντίκας, Θ., *Ιστορικά Κείμενα*, Νοέμβριος 2007,
<http://www.horse.gr/pgeDynamic.asp?SelectMenu=General&ArticleID=1222&CategoryID=51>
 , τελευταία επίσκεψη 11/09/2009.

Γιαννάκη, Θ., *Ιστορικά Στοιχεία*,
<http://www.athensclassicmarathon.gr/html/ent/017/ent.1017.2.asp>, τελευταία
 επίσκεψη 02/11/2009.

Δούσης, Γ., Οι "αμέτρητες" διαδρομές, Μάιος 2007,
<http://www.runningnews.gr/?id=2821>, τελευταία επίσκεψη 05/04/2009.

Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια,
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B8%CF%8E%CE%BD%CE%B9%CE%BF%CF%82#.CE.99.CF.83.CF.84.CE.BF.CF.81.CE.AF.CE.B1>,
 τελευταία επίσκεψη 11/09/2009).

Η διακύμανση του μαραθώνιου, 27/04/2008
<http://www.sport.gr/default.asp?pid=52&aid=17305>, τελευταία επίσκεψη 2/11/2009.

Η απόσταση του Μαραθώνιου, 04/11/2009,
<http://www.sport.gr/default.asp?pid=52&aid=51139>, τελευταία επίσκεψη 05/11/2009.

Ιωαννίδης, Χ. Φωτογραμμετρία II, Αθήνα, 2006, Σημειώσεις Μαθήματος Φωτογραμμετρία II, Ε.Μ.Π..

Kraus, K., *Φωτογραμμετρία*, Αθήνα, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2003, Έκδοση Β' βελτιωμένη, Τόμος 1, σ.α.σ. 361, ISBN 960-7018-90-7.

Πατιάς, Π., *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, Θεσσαλονίκη, Ζήτη, 1991, σ.α.σ. 346, ISBN 960-431-021-6.

Πέτσα, Ε., *Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας*, Αθήνα, 2000, Σημειώσεις Μαθήματος Φωτογραμμετρία I, Τ.Ε.Ι. Αθήνας.

Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ., *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές*, Θεσσαλονίκη, Ζήτη, 2006, σ.α.σ. 319, ISBN 960-456-004-2.

Ξένη Βιβλιογραφία:

Gordon, Stuard, *Corse Measurement*, February 2005,
<http://www.runscore.com/coursemeasurement/Articles/Spac%20Meas.pdf>, τελευταία
 επίσκεψη 06/04/2009.

Grall, Jean-Marie, Dossier de Mesurage Athens Classic Marathon, November 2008, σ.α.σ. 93.

Intergraph, PhotoScan Photo Digitizing System Users Guide, September 2007, σ.α.σ. 226, in PDF format.

International Association Of Athletics Federations, *The Measurement Of RoadRace Courses*, second edition 2004, updated 2008.

Ioannides, I., *The true course run by the Marathon messenger*,
www.la84foundation.org/.../OlympicReview/1976/.../ore109m.pdf, τελευταία επίσκεψη
 02/11/2009.

McGlone J.C. (ed.), 2004. *Manual of Photogrammetry*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 5th edition, Bethesda, Maryland.

Racurs, PhotoMod 4.3 User Manual, Moscow, 2007, in PDF format.

Seoul Olympic Organizing Committee, Marathon / Race Walks Courses Study and Measurement, Seoul, 1988, σ.α.σ. 231, in PDF format.

TSAKIRI, M., STATHAS, D., ARABATZI, O., *Advanced Surveying Techniques for Measuring the Marathon Course*, May 2004,
http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts29/TS29_1_Tsakiri_et_al.pdf, τελευταία επίσκεψη 05/05/2009.