

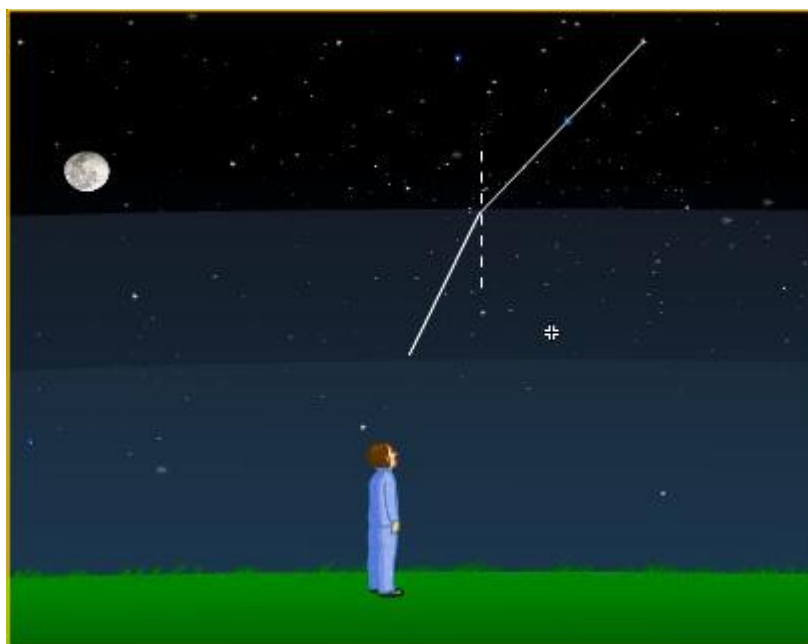
ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου»

Κατεύθυνση: Γεωπληροφορική



**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΡΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ k ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ
ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Διπλωματική εργασία της Δανάης Γκαϊφύλλια

Αθήνα, Φεβρουάριος 2013

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου»

Κατεύθυνση: Γεωπληροφορική

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΡΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ k ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ
ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Διπλωματική εργασία της Δανάης Γκαϊφύλλια

Επιβλέπων καθηγητής: Κατσαφάδος Πέτρος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2013

Πίνακας Περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων	4
Ευρετήριο Πινάκων	4
Ευρετήριο Γραφημάτων	5
Πρόλογος	6
Περίληψη	7
Περίληψη στην Αγγλική	8
1 ^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή	9
2 ^ο Κεφάλαιο: Βασικά στοιχεία γεωδαισίας και γεωδαιτική διάθλαση	17
2.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες	17
2.2 Το σφάλμα λόγω γεωδαιτικής διάθλασης στις κατακόρυφες γωνίες	19
2.2.1 Γεωμετρική ερμηνεία του προβλήματος και αλγεβρική διόρθωση	21
2.2.2 Επίδραση στην ακρίβεια των μετρήσεων κατακόρυφων γωνιών	23
2.3 Μέθοδοι υπολογισμού	25
2.3.1 Μέθοδος των αμοιβαίων σκοπεύσεων	26
2.3.2 Μέθοδος των απλών σκοπεύσεων	27
2.3.3 Μέθοδος υπολογισμού από μετεωρολογικά δεδομένα	28
3 ^ο Κεφάλαιο: Ανάλυση μεθοδολογίας	29
3.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης	29
3.2 Εξοπλισμός	33
3.3 Συλλογή και προετοιμασία δεδομένων	34
3.3.1 Γεωδαιτικά δεδομένα	34
3.3.2 Μετεωρολογικά δεδομένα	35
4 ^ο Κεφάλαιο: Αποτελέσματα	38
4.1 Υπολογισμός τιμών με τη μέθοδο των απλών σκοπεύσεων και από μετεωρολογικά δεδομένα	38
4.2 Διερεύνηση μεταβολών του συντελεστή σε σχέση με τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες	41
4.3 Διερεύνηση της εξάρτησης του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης από επιπλέον ατμοσφαιρικές παραμέτρους	44
4.4 Έλεγχος αποτελεσμάτων νέας εξίσωσης από επιπλέον δεδομένα	56
5 ^ο Κεφάλαιο: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων, συμπεράσματα και προτάσεις	60
Βιβλιογραφία	64
Παράρτημα Α	66
Παράρτημα Β	71

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 Η μεταβολή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κατά τη διάρκεια της ημέρας.....	20
Εικόνα 2 Η μεταβολή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κατά τη διάρκεια 24ωρου στην περιοχή της Αττικής (Πηγή: Λάμπρου, 2010)	20
Εικόνα 3 Το υψομετρικό σφάλμα λόγω γεωδαιτικής διάθλασης	22
Εικόνα 4 Υψομετρική διαφορά σημείων και μετρούμενα μεγέθη	25
Εικόνα 5 Διάταξη αμοιβαίων σκοπεύσεων για υπολογισμό συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης (Πηγή: Βλάχος, 1987, ιδία επεξεργασία).....	27
Εικόνα 6 Στατικός εντοπισμός (σημεία 322001 και 322500).....	31
Εικόνα 7 Σημεία 322500 – 161030 (Ραφήνα – Πεντέλη).....	32
Εικόνα 8 Μετρήσεις στο σημείο 322500.....	32
Εικόνα 9 Η σκόπευση από το 322500 στο τριγωνομετρικό σημείο 161030 (Πεντέλη). 33	
Εικόνα 10 Ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός Kestrel 4250	35
Εικόνα 11 Μετεωρολογικός σταθμός Ν. Μάκρης (Google Earth).....	36

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 Αλγεβρική διόρθωση κατακόρυφης γωνίας λόγω διάθλασης (σε cc).....	24
Πίνακας 2 Αλγεβρική διόρθωση υψομετρικής διαφοράς λόγω διάθλασης.....	24
Πίνακας 3 Συντεταγμένες των σημείων στο ΕΓΣΑ87 (μονάδες μεγεθών: μέτρα).....	31
Πίνακας 4 Μετεωρολογικός σταθμός Ν. Μάκρης.....	36
Πίνακας 5 Μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες ανά ημέρα μετρήσεων	37
Πίνακας 6 Περιγραφικά στατιστικά αποτελεσμάτων – 1 ^η ημέρα μετρήσεων.....	39
Πίνακας 7 Περιγραφικά στατιστικά αποτελεσμάτων – 2 ^η ημέρα μετρήσεων.....	40
Πίνακας 8 Περιγραφικά στατιστικά αποτελεσμάτων – 3 ^η ημέρα μετρήσεων.....	41
Πίνακας 9 Τιμές συντελεστή k και μεταβλητής B για τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές.....	46
Πίνακας 10 Τιμές k από μεθοδολογίες: απλών σκοπεύσεων – k (σκόπευσης), θερμοβαθμίδας – k (meteo), νέας λογαριθμικής εξίσωσης – k (log) και σχετική σύγκριση	49
Πίνακας 11 Τιμές k από μεθοδολογίες: απλών σκοπεύσεων – k (σκόπευσης), θερμοβαθμίδας – k (meteo), γραμμικής προσέγγισης - k (linear), εκθετικής προσέγγισης (k εκθ), λογαριθμικής προσέγγισης – k (log), νέας γραμμικής εξίσωσης και σχετική σύγκριση	52
Πίνακας 12 Σύγκριση τιμών k από προγνωστικά δεδομένα και χρήση της νέας εξίσωσης	56
Πίνακας 13 Εκτιμώμενες τιμές k (Δεδομένα: Αιγάλεω, 14/02/2013).....	57
Πίνακας 14 Εκτιμώμενες τιμές k σε συνθήκες καλοκαιριού (Δεδομένα: Σπάτα, 08/08/2012).....	58
Πίνακας 15 Εκτιμώμενες τιμές k σε συνθήκες καλοκαιριού (Δεδομένα: Αθήνα - κέντρο, 08/08/2012).....	59

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 1 Αποτελέσματα από μεθόδους απλών σκοπεύσεων και θερμοβαθμίδας – Ημέρα 1 ^η	38
Γράφημα 2 Αποτελέσματα από μεθόδους απλών σκοπεύσεων και θερμοβαθμίδας – Ημέρα 2 ^η	39
Γράφημα 3 Αποτελέσματα από μεθόδους απλών σκοπεύσεων και θερμοβαθμίδας – Ημέρα 3 ^η	40
Γράφημα 4 Διασπορά τιμών k συναρτήσει θερμοκρασίας (T).....	42
Γράφημα 5 Διασπορά τιμών k συναρτήσει της ατμοσφαιρικής πίεσης (P).....	43
Γράφημα 6 Διασπορά τιμών k συναρτήσει σχετικής υγρασίας ($RH\%$)	43
Γράφημα 7 Αποτελέσματα από τις μεθόδους υπολογισμού για την 1 ^η ημέρα μετρήσεων	53
Γράφημα 8 Αποτελέσματα από τις μεθόδους υπολογισμού για τη 2 ^η ημέρα μετρήσεων	53
Γράφημα 9 Αποτελέσματα από τις μεθόδους υπολογισμού για την 3 ^η ημέρα μετρήσεων	54
Γράφημα 10 Σύγκριση τιμών k από εναλλακτικές εξισώσεις εκτίμησης με τις τιμές των απλών σκοπεύσεων.....	55
Γράφημα 11 Εκτίμηση του συντελεστή από τη νέα εξίσωση (περιοχή Αιγάλεω, 14/02/2013).....	57
Γράφημα 12 Εκτίμηση του συντελεστή και των μεταβολών του από τη νέα εξίσωση (περιοχή Σπάτων, 08/08/2012).....	58
Γράφημα 13 Εκτίμηση του συντελεστή και των μεταβολών του από τη νέα εξίσωση (περιοχή Αθήνας - κέντρο, 08/08/2012)	59

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου» του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

Το θέμα της αφορά τη διερεύνηση των μεταβολών του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης k , σε σχέση με τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει το αντικείμενο, ήταν απαραίτητη τόσο η μελέτη διαφορετικών θεωρητικών υποβάθρων που καλύπτουν το πρόβλημα, όσο και ο συνδυασμός ποικίλων τρόπων προσέγγισης στην πράξη.

Η εργασία συμβάλλει στο επιστημονικό αντικείμενο της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας αξιοποιώντας μεθόδους εκτίμησης των μεταβολών του συντελεστή που βασίζονται στη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων. Η ενασχόληση μου με το συγκεκριμένο θέμα οφείλεται στην κατεύθυνση που έχουν οι προπτυχιακές μου σπουδές, στο Τμήμα Τοπογραφίας του ΤΕΙ Αθήνας. Παρόλα αυτά, ο τρόπος με τον οποίο πρόκειται να αναλυθεί το πρόβλημα της εργασίας αξιοποιεί μετεωρολογικές μεθόδους, με τις οποίες δεν είχα καμία ενασχόληση μέχρι σήμερα.

Για την πολύτιμη καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της εργασίας κ. Πέτρο Κατσαφάδο. Οι κατευθύνσεις που έδωσε και οι παρατηρήσεις του συνέβαλαν ουσιαστικά στην επιστημονική αρτιότητα της εργασίας.

Ακόμη, εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στη Μαρτίν Χατζή για τη μεγάλη της προθυμία να συμμετάσχει στη διεξαγωγή και τη γενικότερη υποστήριξη των μετρήσεων.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα διατέθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου του Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο των μετρήσεων παραχωρήθηκε από το Εργαστήριο Γεωδαισίας – Τοπογραφίας του Τμήματος Τοπογραφίας του ΤΕΙ Αθήνας. Πολύ ουσιαστική υπήρξε η συμβολή των κ.κ. Βασιλείου Παγούνη και Βασιλείου Ανδριτσάνου κυρίως στο κομμάτι του σχεδιασμού των μετρήσεων και της ομαλής διεξαγωγής τους.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς και τον αδερφό μου, που με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η ευαισθησία του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης k από τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης χαρακτηρίζει την καμπυλότητα της οπτικής ακτίνας όταν αυτή διέρχεται από τα διαφορετικά –σε σύσταση– στρώματα της ατμόσφαιρας και αποτελεί μία από τις κυριότερες πηγές σφάλματος επηρεάζοντας τις γεωδαιτικές μετρήσεις ακριβείας (μετρήσεις κατακόρυφων γωνιών και κεκλιμένων αποστάσεων). Στη συγκεκριμένη εργασία διερευνήθηκε η μεταβλητότητα του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κάτω από διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής έγινε χρήση μετεωρολογικών δεδομένων (θερμοκρασία, πίεση, σχετική υγρασία και κατακόρυφη θερμοβαθμίδα της ατμόσφαιρας). Η τιμή του συντελεστή υπολογίζεται συναρτήσει των παραμέτρων αυτών και είναι αυτή που ορίζει την τελική τιμή διόρθωσης του σφάλματος λόγω γεωδαιτικής διάθλασης. Οι προτεινόμενες μέθοδοι υπολογισμού του συντελεστή από την διεθνή βιβλιογραφία αξιολογήθηκαν με βάση την προκύπτουσα από την εργασία μέθοδο και προτείνεται νέα εξίσωση υπολογισμού του δείκτη διάθλασης. Η προτεινόμενη εξίσωση υπολογισμού αναπτύχθηκε για τον ακριβέστερο προσδιορισμό του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης συναρτήσει των ατμοσφαιρικών παραμέτρων.

Περίληψη στην Αγγλική

This study aims to investigate the sensitivity of the geodetic refraction index k to the prevailing atmospheric conditions. The geodetic refraction index k characterizes the curvature of light rays when passing through unstable in density atmospheric layers. Vertical refraction is one of the main sources of error, affecting the accuracy of vertical angle and slope distance measurements.

The meteorological data employed in this study are the temperature, pressure, relative humidity and temperature gradient. Moreover, the dependence of geodetic refraction index k of other atmospheric parameters is also examined. k value is estimated as a function of the abovementioned parameters and defines the final correction of the geodetic refraction error. The calculation methods proposed by various studies in international journals are evaluated against the method proposed in this study. To this end, a new formulation has been developed for the accurate estimation of the geodetic refraction index under various atmospheric conditions.

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

Ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης (k) χαρακτηρίζει την καμπυλότητα της οπτικής ακτίνας όταν αυτή διέρχεται από τα διαφορετικά σε σύσταση στρώματα της ατμόσφαιρας. Αποτελεί μία από τις βασικότερες αιτίες εισαγωγής σφάλματος στις γεωδαιτικές μετρήσεις ακριβείας και για το λόγο αυτό είναι σκόπιμη η απαλοιφή του από τις μετρήσεις.

Η κατακόρυφη διάθλαση επηρεάζει τις μετρήσεις αποστάσεων, ζενίθιων γωνιών και γεωμετρικής χωροστάθμησης και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με κατάλληλες αναγωγές καμπυλότητας (Torge, 2000). Προκειμένου να υπολογιστούν οι αναγωγές αυτές, είναι απαραίτητη η γνώση της τιμής του συντελεστή για τη συγκεκριμένη στιγμή που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στο πεδίο. Η τιμή του συντελεστή για μία δεδομένη χρονική στιγμή δεν μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα, ώστε στη συνέχεια να γίνει η πλήρης διόρθωση των μετρημένων μεγεθών, για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σταθερές τιμές στην Ελλάδα, οι οποίες έχουν προκύψει από το σύνολο των ερευνητικών εργασιών που έχουν ολοκληρωθεί μέχρι σήμερα.

Η δυσκολία του προσδιορισμού της τιμής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης έγκειται στη δυσκολία μέτρησης των παραμέτρων από τις οποίες αυτός εξαρτάται. Αυτός είναι ο βασικότερος λόγος που οδήγησε στη χρήση βελτιωμένων τιμών για τον ελληνικό χώρο, αν και οι παραδοχές που συνοδεύουν την υιοθέτηση της ίδιας τιμής σε κάθε περιοχή της Ελλάδας ενδέχεται να εισάγουν σταθερά σφάλματα ίδιου τύπου στις μετρήσεις ακριβείας κυρίως λόγω της ασυνέχειας που χαρακτηρίζει τις συνθήκες της ατμόσφαιρας ακόμα και σε μία πολύ περιορισμένη περιοχή.

Η διάθλαση της οπτικής ακτίνας είναι ένα φυσικό φαινόμενο και οφείλεται στην ανομοιογένεια της σύστασης της ατμόσφαιρας. Επομένως, οι παράμετροι που καθορίζουν την τιμή του συντελεστή διάθλασης είναι τα χαρακτηριστικά στοιχεία της ατμόσφαιρας (μετεωρολογικές συνθήκες) κατά τη στιγμή της μέτρησης. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Τσούλης: «...Ο υπολογισμός παραμέτρων που περιγράφουν το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής διάθλασης αποτελεί σημαντικό αντικείμενο της σύγχρονης τοπογραφικής έρευνας και πραγματοποιείται με την εφαρμογή σύνθετων αλγορίθμων και την παράλληλη χρήση εξειδικευμένων οργάνων μέτρησης που συνδέονται με τη φυσική της ατμόσφαιρας» (Τσούλης, 2005). Η εκτίμηση του συντελεστή

γεωδαιτικής διάθλασης σχετίζεται με τον υπολογισμό των εξής ατμοσφαιρικών παραμέτρων (Λάμπρου, 2005), (Torge, 2000), (Flach, 2000):

- της θερμοκρασίας,
- της πίεσης,
- της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας.

Η διερεύνηση της επίδρασης του φαινομένου της ατμοσφαιρικής διάθλασης στις γεωδαιτικές μετρήσεις ακριβείας έχει αποτελέσει αντικείμενο ενός μεγάλου αριθμού ερευνητικών εργασιών, κυρίως στο διεθνή επιστημονικό χώρο. Για την προσέγγιση του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί πλήθος τεχνικών κυρίως τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, οι οποίες στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες και πιο σύγχρονες από αυτές τις τεχνικές βασίζονται στην κατασκευή και χρησιμοποίηση πειραματικών μετρητικών διατάξεων για τον υπολογισμό του συντελεστή διάθλασης και όχι στην προσέγγιση του προβλήματος από την πλευρά της φυσικής της ατμόσφαιρας με άμεσα μετρούμενα μεγέθη (π.χ. τιμές θερμοκρασίας, πίεσης).

Οι προσεγγίσεις που έχουν επιχειρηθεί από την επιστημονική κοινότητα γύρω από το φαινόμενο της διάθλασης, μπορούν να διακριθούν σε ορισμένες ευρείες κατηγορίες, σύμφωνα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο και το θεωρητικό υπόβαθρο κάθε μίας για τη λύση του προβλήματος.

Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι επιστημονικές μέθοδοι που βασίζονται στο σχεδιασμό των μετρήσεων στο πεδίο, έτσι ώστε η επίδραση της διάθλασης να περιορίζεται στο ελάχιστο ή να απαλείφεται. Η ανάλυση αυτής της μεθοδολογίας, η οποία και προηγείται των υπολοίπων, διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1956, όταν ο Jordan πρότεινε την ειδική χωροθέτηση των σημείων σκόπευσης στο πεδίο και την ταυτόχρονη μέτρηση γωνιών και μηκών ώστε οι μετεωρολογικές συνθήκες να θεωρηθούν σταθερές για κάθε ζεύγος μετρήσεων και η επίδραση της διάθλασης να απαλείφεται (Jordan W. et al, 1956). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία αναπτύσσεται σε επόμενο κεφάλαιο αναλυτικά. Τα μειονεκτήματα που εμφανίζει η μέθοδος των «αμοιβαίων σκοπεύσεων», όπως ονομάστηκε, οφείλονται στην υπόθεση της ομαλής διαστρωμάτωσης της ατμόσφαιρας. Όπως πρόκειται να αναλυθεί και παρακάτω, η υπόθεση αυτή είναι η βασικότερη διαφορά της μεθόδου με άλλες πιο σύγχρονες, καθώς σε επόμενες μελέτες δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην τιμή του δείκτη γεωδαιτικής διάθλασης. Στην ίδια κατηγορία προσεγγίσεων εντάσσεται και η μέθοδος των απλών σκοπεύσεων, στην οποία είναι

απαραίτητη η γνώση της υψομετρικής διαφοράς των σημείων που πρόκειται να σκοπευθούν. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου των απλών σκοπεύσεων είναι επίσης η υπόθεση της ομαλής διαστρωμάτωσης της ατμόσφαιρας, ενώ η χρησιμότητα της μεθόδου μπορεί να θεωρηθεί σημαντική μόνο εάν οι μετρήσεις της εργασίας είναι προγραμματισμένες για την ίδια χρονική στιγμή με αυτή του υπολογισμού του δείκτη. Η μέθοδος των «απλών σκοπεύσεων» πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο πρακτικό μέρος της εργασίας.

Εναλλακτική μέθοδος περιορισμού των σφαλμάτων που εισάγει στις μετρήσεις η γεωδαιτική διάθλαση αποτελεί η ενσωμάτωση των παραμέτρων της ατμόσφαιρας στη συνόρθωση των γεωδαιτικών δικτύων (Ρωσσικόπουλος, 1999). Τα γεωδαιτικά δίκτυα αποτελούν σύνολα σημείων στο χώρο τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω παρατηρήσεων και χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του γήινου χώρου ή το γήινο πεδίο βαρύτητας. Συνήθως περιλαμβάνουν μεγάλες βάσεις (σκοπεύσεις) των οποίων το μήκος μπορεί να φτάνει τα 8 χλμ. και σχεδιάζονται με αυστηρά κριτήρια ακρίβειας και αξιοπιστίας. Η μέθοδος της ενσωμάτωσης των παραμέτρων της ατμόσφαιρας στα γεωδαιτικά δίκτυα μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο εάν ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι αρκετά μεγάλος και επιτρέπει την ασφαλή εκτίμηση των επιπλέον αυτών παραμέτρων (θερμοκρασία, πίεση). Η ενσωμάτωση αυτή πραγματοποιείται όταν οι επιδράσεις της διάθλασης (διορθώσεις αρχικών τιμών συντελεστή διάθλασης) σε κάθε μέτρηση - γωνίας ή μήκους - συμμετέχουν στη συνόρθωση του δικτύου σαν άγνωστες παράμετροι. Τη μέθοδο διατύπωσαν επίσης οι Elmiger και Wunderlich το 1983, ενώ ενισχύθηκε αργότερα από τον Brunner (1984). Σημαντικό μειονέκτημα της συνόρθωσης δικτύων με ταυτόχρονο υπολογισμό του δείκτη διάθλασης αποτελεί η χρησιμοποίηση αρχικών τιμών που απαιτεί την υιοθέτηση μιας σταθερής τιμής για όλη την περιοχή μελέτης. Η τιμή που χρησιμοποιείται συνήθως σε αυτή την περίπτωση είναι αυτή που υπολογίστηκε από τον Gauss: $k = 0.1306$. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοινός συντελεστής για όλες τις σκοπεύσεις που γίνονται από την ίδια κορυφή. Στην περίπτωση αυτή είναι σκόπιμος ο υπολογισμός του συντελεστή μεταξύ των κορυφών του δικτύου με τη μέθοδο των αμοιβαίων σκοπεύσεων. Από τη λύση αυτή υπολογίζονται οι αρχικές διορθώσεις των προσεγγιστικών υψομέτρων.

Ταυτόχρονα περίπου με την ανάπτυξη της παραπάνω μεθοδολογίας, μελετήθηκε η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στο φαινόμενο της διάθλασης και αποδείχτηκε ότι ο παράγοντας της ανομοιομορφίας της κατακόρυφης δομής της - που εκφράζεται

μέσω της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας - είναι καθοριστικός στη διαμόρφωση της τελικής τιμής του συντελεστή.

Για τον προσδιορισμό της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας στο σημείο της μέτρησης οι Gottwald και Wilhelm χρησιμοποίησαν πολύ υψηλής ακρίβειας αισθητήρες θερμότητας (Gottwald, 1985), (Wilhelm, 1993). Η έρευνα γύρω από την κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας επεκτάθηκε γρήγορα και στη διερεύνηση άλλων παραμέτρων που διαμορφώνουν την πυκνότητά της εκτός της θερμοκρασίας (π.χ. πίεση και υγρασία). Έτσι, στις αρχές του 2000 οι Hennes, Weiss και Rotach εκτίμησαν τις μικρομεταβολές στη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση με τη χρήση σπινθηρογράφου (scintillometer device) (Weiss et al, 2000). Η αναγκαιότητα υπολογισμού της πυκνότητας της ατμόσφαιρας βασίστηκε στην αρχή του Fermat, που ορίζει ότι η οπτική ακτίνα κατά τη διάδοσή της ακολουθεί τη χρονικά συντομότερη διαδρομή. Για αυτό το λόγο η οπτική ακτίνα αναζητά τις περιοχές του μέσου διάδοσης με το μικρότερο συντελεστή διάθλασης και τελικά διαγράφει πορεία που παρεκκλίνει από την ευθεία. Ο σπινθηρογράφος είναι μία συσκευή που αποτελείται από ένα ραδιοπομπό και ένα δέκτη, των οποίων η τοποθέτηση στο πεδίο ορίζει την πορεία διάδοσης της ακτίνας. Ο συντελεστής διάθλασης υπολογίζεται από το δέκτη μέσω των διαδοχικών γωνιών διάθλασης της πορείας που διαγράφει η ακτίνα κατά μήκος της διαδρομής, ενώ στη συνέχεια αξιολογούνται οι διακυμάνσεις της έντασης του μεταδιδόμενου σήματος. Η νέα αυτή τεχνική συνδέεται άμεσα με την εξέλιξη στην κατασκευή των γεωδαιτικών οργάνων και αναμένεται στο μέλλον να χρησιμοποιείται ευρέως, αφού τέτοιου τύπου συσκευές θα είναι ενδεχομένως ενσωματωμένες στα σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα.

Στο πλαίσιο της μελέτης του συντελεστή διάθλασης μέσω της δομής της ατμόσφαιρας υλοποιήθηκε το ερευνητικό πρόγραμμα P.E.A.R.L. (Precise Elevation Angle Measurement for Real – Time Levelling) από το Πανεπιστήμιο ETH της Ζυρίχης. Κατά τη διάρκεια του προγράμματος αυτού (1996 – 2002) δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη μεθόδων αυτόματης διόρθωσης της διάθλασης στο πεδίο. Για την επίτευξη του στόχου χρησιμοποιήθηκαν ειδικές συσκευές λήψης εικόνων (στιγμιότυπων της ατμόσφαιρας) ή έντασης κύματος καθώς και σύνθετοι αλγόριθμοι - φίλτρα επεξεργασίας δεδομένων (Weiss et al, 1999). Το πρόγραμμα καταδεικνύει την υψηλή σπουδαιότητα μελέτης της διάθλασης στις γεωεπιστήμες που περιλαμβάνουν μετρήσεις στο πεδίο και τα αποτελέσματα του συνόλου των πειραμάτων παρουσιάστηκαν σε περισσότερα από τριάντα πέντε επιστημονικά άρθρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των γεωδαιτικών οργάνων με

πρόσθετες μετρητικές διατάξεις, σαν την ασφαλέστερη μέθοδο υπολογισμού και απαλοιφής της επίδρασης της διάθλασης στις μετρήσεις ακριβείας.

Μία σειρά πειραμάτων, δηλαδή επαναλαμβανόμενων μετρήσεων σε συγκεκριμένο τόπο, επιχείρησε η Α. Weiss (ερευνήτρια του προγράμματος P.E.A.R.L.) το 2002, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους επεξεργασίας των στιγμιοτύπων της ατμόσφαιρας που αναφέρθηκαν παραπάνω (Weiss, 2002). Η συνεισφορά της εργασίας έγκειται στη μεγάλη χρονική περίοδο που κάλυψαν οι παρατηρήσεις και στην ποικιλία των μετεωρολογικών συνθηκών που επιτεύχθηκε στις παρατηρήσεις, γεγονός που εξασφαλίζει πιο ασφαλείς εκτιμήσεις σχετικά με τα συμπεράσματα της μελέτης. Ένα από τα σημαντικότερα αποτελέσματα είναι η χρησιμότητα που απέδειξε ότι υπάρχει στην αυτόματη διόρθωση των μετρούμενων μεγεθών και η αξία που έχει η συνεχής πληροφορία (κατά μήκος της πορείας διάδοσης της οπτικής ακτίνας) σχετικά με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες έναντι του προσδιορισμού του συντελεστή διάθλασης σε διακριτά σημεία της περιοχής μελέτης.

Πρόσφατη μελέτη που δε χρησιμοποιεί ειδικό εξοπλισμό για την απαλοιφή της επίδρασης της διάθλασης αλλά προτείνει τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων, είναι αυτή των Σλοβάκων γεωδαιτών Liptak και Sokol, η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2011 (Liptak et al, 2011). Η ομάδα εργασίας της μελέτης πρότεινε τη συλλογή μεγάλου αριθμού δεδομένων από μετρήσεις γωνιών και μηκών στο πεδίο, με ταυτόχρονο προσδιορισμό των επικρατουσών μετεωρολογικών συνθηκών. Συστάθηκε με αυτό τον τρόπο μία βάση δεδομένων της οποίας τα στοιχεία αφορούσαν τις ειδικές συνθήκες κάθε στιγμής μέτρησης. Να σημειωθεί ότι οι τιμές των μετεωρολογικών συνθηκών προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια φορητής συσκευής μέτρησης θερμοκρασίας – πίεσης – υγρασίας η οποία, όπως διευκρινίζεται και στις τεχνικές της προδιαγραφής, δεν μπορεί να προσεγγίσει την ακρίβεια των ίδιων δεδομένων από μετεωρολογικό σταθμό. Η χρήση της παρόλα αυτά είναι ιδιαίτερα απλή και μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα, όταν το πλήθος των μετρήσεων είναι πολύ μεγάλο. Οι παρατηρήσεις στο πλαίσιο της μελέτης διήρκεσαν από το 2007 έως το 2009 και πραγματοποιήθηκαν πάνω από διαφορετικούς τύπους επιφανειών και κατά τη διάρκεια όλων των εποχών του χρόνου, γεγονός που αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό στοιχείο της εργασίας αυτής. Οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων που μετρήθηκαν δεν ξεπέρασαν τα 320 μ., ώστε να είναι πολύ μικρή η επίδραση του σφάλματος λόγω καμπυλότητας της γης στις μετρήσεις. Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι τα μετεωρολογικά δεδομένα της εργασίας δεν χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του

συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης άμεσα, αλλά αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο αναλύσεων συσχέτισης και στατιστικών ελέγχων συνάφειας μεταξύ των μεταβλητών (υψομετρική διόρθωση – θερμοκρασία, υψομετρική διόρθωση – πίεση, υψομετρική διόρθωση – υγρασία). Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των διορθώσεων και του συνόλου των ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Παρόλα αυτά εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της πίεσης και των άλλων δύο μεταβλητών της ατμόσφαιρας, γεγονός που είναι αντίθετο στην αρχή της ανεξαρτησίας των ανεξάρτητων μεταβλητών. Εκτός από την κλασσική ανάλυση συσχέτισης, πραγματοποιήθηκε επίσης και το τεστ ANOVA (ANAlysis Of Variance) το οποίο επιβεβαίωσε την ερευνητική υπόθεση, ότι δηλαδή οι μετεωρολογικές συνθήκες εισήγαγαν συστηματικά σφάλματα στις μετρήσεις της εργασίας. Το τεστ αυτό χρησιμοποιείται κυρίως όταν ο ερευνητής θέλει να εξετάσει ταυτόχρονα την επίδραση δύο ή περισσότερων εξαρτημένων μεταβλητών με δύο ή περισσότερες τιμές στην παρατηρούμενη μεταβλητή. Η διαδικασία που ακολουθείται βασίζεται στην ανάλυση διακύμανσης και χρησιμοποιείται η κατανομή F για τον προσδιορισμό των κρίσιμων τιμών (Κατσάνος, Αβούρης, 2008). Η προσέγγιση αυτή αποτελεί τη βάση της παρούσας εργασίας, καθώς για την περαιτέρω μελέτη τις επίδρασης των μεταβολών του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης στις μετρήσεις, ήταν απαραίτητη η τεκμηριωμένη γνώση της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ τους.

Με βάση τα παραπάνω, οι στόχοι της συγκεκριμένης εργασίας είναι:

- ο προσδιορισμός τιμών του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο υπολογισμού από μετεωρολογικά δεδομένα και των απλών σκοπεύσεων για δεδομένες χρονικές στιγμές,
- η διερεύνηση των μεταβολών του συντελεστή σε σχέση με τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες με στόχο τον προσδιορισμό των συνθηκών υπό τις οποίες παρατηρούνται οι μεγαλύτερες μεταβολές του,
- η διερεύνηση της εξάρτησης του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης από επιπλέον ατμοσφαιρικές παραμέτρους και η εισαγωγή τους στη συνάρτηση υπολογισμού.

Να σημειωθεί τέλος ότι είναι σημαντική η μελέτη του φαινομένου με χρήση σύγχρονων δεδομένων. Οι καλύτερες τιμές που προτείνονται από τη βιβλιογραφία για τον ελληνικό χώρο και πρόκειται να αναφερθούν παρακάτω, έχουν σαν κύριο μειονέκτημα τη χρησιμοποίηση παλιών δεδομένων τα οποία λόγω των μετεωρολογικών – κλιματικών

αλλαγών που παρατηρούνται τις τελευταίες δεκαετίες ενδέχεται να μην είναι πια αντιπροσωπευτικά.

Η εργασία διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια. Λόγω της στενής σχέσης του θέματος με το επιστημονικό αντικείμενο της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας, κρίθηκε απαραίτητο στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας να αναλυθούν ορισμένες βασικές έννοιες της Γεωδαισίας, των τεχνικών μετρήσεων ακριβείας και των συνεπειών του σφάλματος που εμφανίζεται στις μετρήσεις λόγω του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης. Με τον τρόπο αυτό και με τη χρήση παραδειγμάτων καταδεικνύεται η αναγκαιότητα απαλοιφής της επίδρασης της διάθλασης από τις γεωδαιτικές μετρήσεις ακριβείας. Γίνεται επίσης αναλυτική παρουσίαση των παραμέτρων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση της τιμής του συντελεστή, οι οποίες οφείλονται πάντα στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στο πεδίο των μετρήσεων. Δίνονται επίσης οι τιμές του συντελεστή που προτείνονται από τη βιβλιογραφία, αλλά και οι συναρτήσεις για τον υπολογισμό της τιμής του με τη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας, με γενικό τίτλο «Ανάλυση Μεθοδολογίας» παρουσιάζονται όλες οι μέθοδοι – διαδικασίες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Στη συνέχεια αναφέρεται ο τρόπος επιλογής της περιοχής μελέτης, η χρονική περίοδος που καλύπτουν τα πειράματα (μετρήσεις γωνιών και μηκών στο πεδίο) και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε με τις τεχνικές του προδιαγραφές. Επίσης, αναλύεται η χρήση των μετεωρολογικών δεδομένων, η πηγή τους και ορισμένα στοιχεία σχετικά με τη συλλογή τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας με τίτλο «Αποτελέσματα» παρουσιάζονται τα εξαγόμενα στοιχεία των μετρήσεων, τα οποία αφορούν τιμές γωνιών και αποστάσεων, τιμές διόρθωσης σφάλματος γεωδαιτικής διάθλασης με επίγειες μεθόδους, τιμές διόρθωσης σφάλματος με χρήση μετεωρολογικών δεδομένων και ανίχνευση προτύπου μεταβολής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης σε σχέση με τις μεταβολές των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Τα αποτελέσματα συνοδεύονται από αντίστοιχα γραφήματα για την καλύτερη απεικόνιση των μεταβολών. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της εισαγωγής νέων παραμέτρων στη συνάρτηση υπολογισμού του συντελεστή διάθλασης. Τέλος, το πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας περιλαμβάνει τη σύνοψη των μεθόδων και κυρίως των αποτελεσμάτων, την αξιολόγηση της εφαρμοσμένης μεθοδολογίας σαν τρόπο προσέγγισης στο φυσικό φαινόμενο που μελετήθηκε και τη σύγκρισή της με τις άλλες γνωστές τεχνικές, χρησιμοποιώντας τα κριτήρια που αναλύθηκαν στην αρχή της

εργασίας. Στο σημείο αυτό γίνεται επίσης προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2^ο Κεφάλαιο: Βασικά στοιχεία γεωδαισίας και γεωδαιτική διάθλαση

Η Γεωδαισία και η Τοπογραφία αποτελούν εφαρμοσμένες επιστήμες με στόχο την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τη γεωμετρία της γήινης επιφάνειας και του χώρου. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικότερα και απαραίτητα στοιχεία για την κατανόηση του προβλήματος της επίδρασης της γεωδαιτικής διάθλασης στις μετρήσεις ακριβείας. Επίσης, αναλύονται οι μέθοδοι υπολογισμού του και η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να διορθωθούν τα μετρούμενα μεγέθη.

2.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες

Η λέξη «Γεωδαισία» αποτελείται από τις λέξεις: Γη + Δαίω (μοιράζω). Ο πιο κλασσικός και πλήρης ορισμός της είναι «...η επιστήμη της μέτρησης και της απεικόνισης της γήινης επιφάνειας...», όπως διατυπώθηκε από το γερμανό γεωδαίτη Friedrich Robert Helmert το 1880 (Helmert, 1880). Το αντικείμενο της Γεωδαισίας εστιάζει σε θέματα όπως ο προσδιορισμός του σχήματος και τη θέσης σημείων ή συνόλων σημείων πάνω στην επιφάνεια της Γης, η χαρτογράφηση του βυθού, αλλά και η απεικόνιση ενός περιορισμένου τμήματος της γήινης επιφάνειας. Ωστόσο, κοινή πρακτική σε κάθε διαδικασία που ακολουθείται αποτελεί η παρατήρηση. Οι παρατηρήσεις αποτελούν ουσιαστικά συγκρίσεις του μεγέθους που προσδιορίζεται με τις λεγόμενες «σταθερές μέτρησης», ομοειδή μεγέθη πιστοποιημένα σαν μονάδες μέτρησης.

Τα πιο συνηθισμένα μεγέθη που μετρούνται στη Γεωδαισία είναι οι γωνίες (οριζόντιες και κατακόρυφες) και οι αποστάσεις (οριζόντιες και κεκλιμένες). Σε δεύτερο στάδιο γίνονται όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων τα οποία τις περισσότερες φορές οδηγούν σε σύνταξη σχεδίων ή διαγραμμάτων. Παραγόμενα από την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων της μέτρησης αποτελούν επίσης οι ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες για υψομετρική διαφορά. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες όμως, ακριβώς επειδή βασίζονται στην μέτρηση, συνοδεύονται απαραίτητα από λάθη και σφάλματα στον προσδιορισμό.

Λάθη κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης μπορούν να είναι οι λανθασμένες αναγνώσεις των τιμών που παρατηρούνται ή η παράλειψη μιας σκόπευσης. Γενικά, στην κατηγορία αυτή εντάσσονται όλες εκείνες οι περιπτώσεις για τις οποίες ευθύνεται η απροσεξία, αμέλεια ή η απειρία του παρατηρητή. Όπως είναι φυσικό, τέτοιου είδους καταστάσεις

διορθώνονται σχεδόν πάντα και σπάνια διαφεύγουν της προσοχής, αφού πρώτα εντοπίζονται μέσω ενός γενικού ελέγχου των μετρηθέντων.

Τα σφάλματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ της αληθούς τιμής ενός μεγέθους και της τιμής που προέκυψε από μετρήσεις. Είναι διαφορές μικρής τάξης που οφείλονται είτε σε φυσικά φαινόμενα, είτε σε ατέλειες των ανθρώπινων αισθήσεων και των οργάνων τα οποία χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις. Έτσι, τα αίτια στα οποία οφείλονται τα σφάλματα μπορεί να είναι π.χ. η διάθλαση, η λανθασμένη εκτίμηση του κλάσματος μιας υποδιαίρεσης ή της σύμπτωσης δύο ενδεικτικών χαραγών. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να έχουν μικρές τιμές, μέσα σε μια εργασία όμως συντίθενται, με αποτέλεσμα να μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά την ακρίβειά της (Βλάχος, 1987). Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η γνώση του πλαισίου μέσα στο οποίο διεξάγονται οι μετρήσεις και των συνθηκών που όταν μετρούνται μπορούν να βελτιώσουν τις παρατηρούμενες τιμές. Τα σφάλματα μπορούν να διακριθούν σε δύο ειδικότερες κατηγορίες:

- τα τυχαία,
- τα συστηματικά.

Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα σφάλματα που συνήθως δεν έχουν μία συγκεκριμένη πηγή, δεν μπορούν να περιγραφούν από κάποια μαθηματική συνάρτηση και συσσωρεύονται γύρω από μία τιμή που βρίσκεται στο μέσο περίπου των παρατηρήσεων.

Συστηματικά είναι εκείνα τα σφάλματα που παρουσιάζουν σταθερότητα ή περιοδικότητα σε μέγεθος και πρόσημο. Σε μεγάλο ποσοστό τα συστηματικά σφάλματα υπακούν σε κάποιο φυσικό νόμο οπότε μπορούν να υπολογιστούν. Μπορεί ακόμη ορισμένα να απαλειφθούν ακολουθώντας κατάλληλη μεθοδολογία στις μετρήσεις (Αγατζά – Μπαλοδήμου, 2007). Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Βλάχος, «...έχουν καθιερωθεί ορισμένες τεχνικές που εφαρμόζονται γενικά κατά την εκτέλεση των μετρήσεων και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων με σκοπό την εξουδετέρωση των συστηματικών σφαλμάτων. Μεταξύ αυτών αναφέρονται:

- η χρήση ειδικών διατάξεων στα όργανα μετρήσεων, όπως είναι π.χ. η διάταξη για τη λήψη αντιδιαμετρικών αναγνώσεων στους διηρημένους κύκλους θεοδόλιχου, με σκοπό την απαλοιφή του σφάλματος εκκεντρότητας.
- Η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων διεξαγωγής των μετρήσεων, όπως είναι π.χ. η μέτρηση μιας γωνίας σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου για την απαλοιφή του σφάλματος του σκοπευτικού άξονα του τηλεσκοπίου.

- Η εφαρμογή διορθώσεων στα αποτελέσματα των μετρήσεων οι οποίες υπολογίζονται μέσω μαθηματικών σχέσεων που εκφράζουν το φυσικό νόμο μεταβολής του σχετικού φαινομένου. Τέτοιες είναι π.χ. οι διορθώσεις που οφείλονται στη διάθλαση και υπολογίζονται με βάση τις παραμέτρους των μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία).

Στην τελευταία αυτή κατηγορία εντάσσεται το σφάλμα που εμφανίζεται στις μετρήσεις λόγω γεωδαιτικής διάθλασης.

2.2 Το σφάλμα λόγω γεωδαιτικής διάθλασης στις κατακόρυφες γωνίες

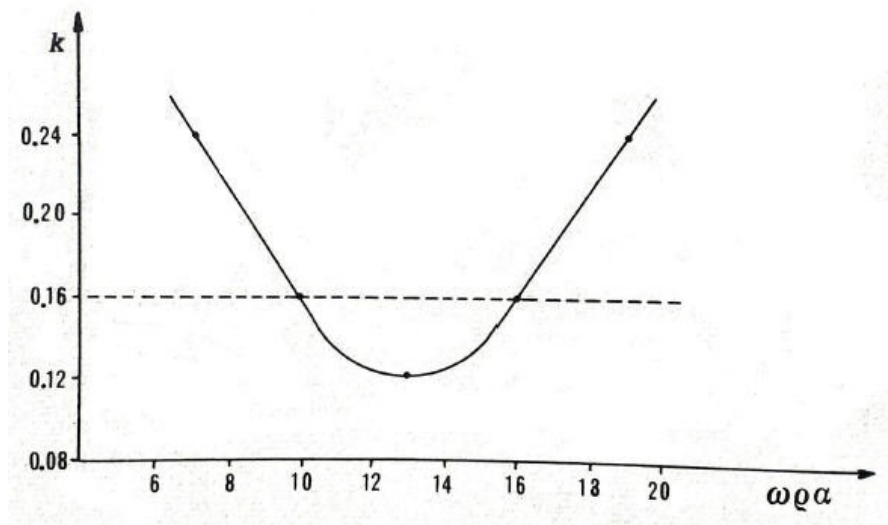
Οι βασικότεροι τύποι μετρήσεων που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο μιας τοπογραφικής εργασίας (απλής ή σύνθετης), αφορούν τον προσδιορισμό οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών και οριζοντίων ή κεκλιμένων αποστάσεων. Η ακρίβεια προσδιορισμού των παραπάνω μεγεθών εξαρτάται κυρίως από τις δυνατότητες του χρησιμοποιούμενου οργάνου μέτρησης, την εμπειρία του παρατηρητή και τέλος, τις επικρατούσες συνθήκες στο πεδίο μέτρησης.

Η τελευταία αυτή κατηγορία παραγόντων που επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων περιλαμβάνει το σύνολο των ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Η γεωδαιτική διάθλαση των κατακόρυφων γωνιών χαρακτηρίζει το φαινόμενο κύρτωσης της οπτικής ακτίνας καθώς αυτή διέρχεται από τα διαφορετικά σε πυκνότητα στρώματα της ατμόσφαιρας. Λόγω του φαινομένου αυτού, το φαινόμενο σημείο αντιστοιχεί σε σημείο υψηλότερα του πραγματικού, με αποτέλεσμα στη μέτρηση της υψομετρικής διαφοράς να έχει εισαχθεί εσφαλμένα μία ανεπιθύμητη θετική ποσότητα. Η διόρθωση που απαιτείται κάθε φορά απαιτεί τη γνώση της ποσότητας αυτής, για τον υπολογισμό της οποίας είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης για το συγκεκριμένο τόπο και χρόνο κατά τον οποίο έλαβε χώρα η μέτρηση.

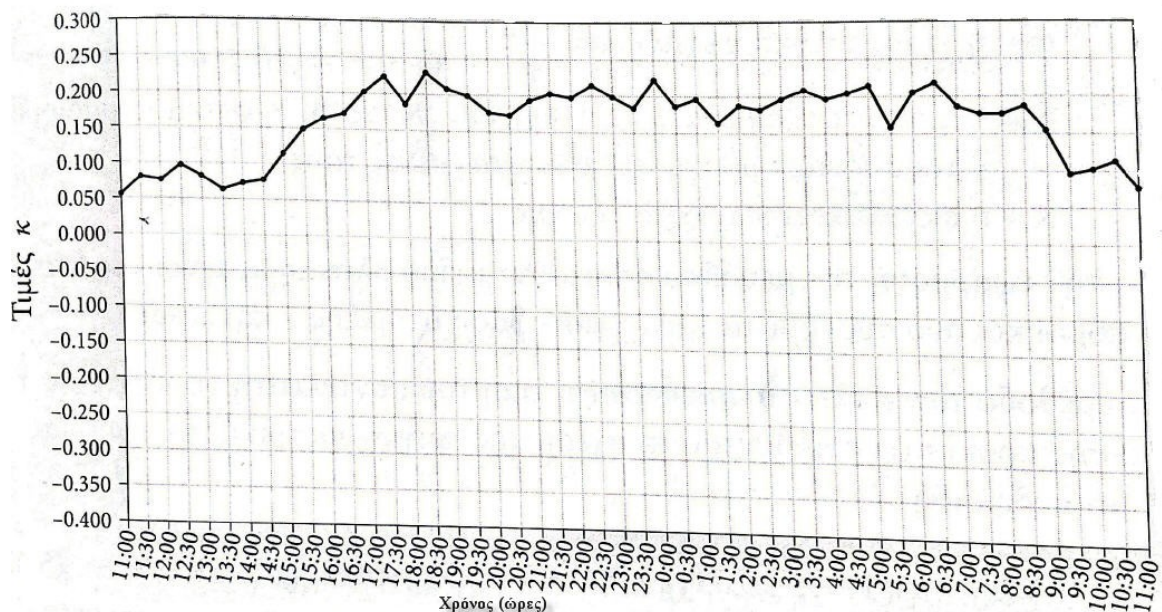
Λόγω της περίπλοκης διαδικασίας που απαιτείται για τον υπολογισμό του συντελεστή, έχουν προταθεί από τη βιβλιογραφία τιμές που θεωρητικά προσεγγίζουν τη μέση κατάσταση της ατμόσφαιρας. Χαρακτηριστικά εδώ αναφέρονται:

- η τιμή $k = 0.13$ για όλα τα γεωγραφικά πλάτη και για όλες τις εποχές του χρόνου (Rüeger, 1990), (Torge, 2000),
- η τιμή $k = 0.16$ για το σύνολο της Ελλάδας (Λάμπρου κ.α., 2010), (Βλάχος, 1987).

Παρόλα αυτά, βασικό γνώρισμα του φαινομένου της διάθλασης είναι οι έντονες διακυμάνσεις που παρουσιάζει. Χαρακτηριστική είναι η ημερήσιά του μεταβολή η οποία συνήθως (και ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες) είναι αρκετά μεγάλη. Για το λόγο αυτό, οι αποκλίσεις μεταξύ της πραγματικής τιμής και της προσεγγιστικής που μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει είναι συνήθως πολύ μεγάλες (Τσούλης, 2005). Στη συνέχεια παρατίθενται γραφήματα που αναπαριστούν τον ημερήσιο κύκλο των μεταβολών του συντελεστή, όπως εντοπίζονται στη βιβλιογραφία για τον ελληνικό χώρο.



Εικόνα 1 Η μεταβολή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κατά τη διάρκεια της ημέρας (Πηγή: Βλάχος, 1987)



Εικόνα 2 Η μεταβολή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κατά τη διάρκεια 24ωρου στην περιοχή της Αττικής (Πηγή: Λάμπρου, 2010)

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, σημαντικές διαφορές παρατηρούνται τόσο στη μορφή της μεταβολής σε κάθε περίπτωση, δηλαδή στις σχετικές τιμές των παρατηρήσεων, όσο και στα μέγιστα και τα ελάχιστα του συντελεστή, δηλαδή στις απόλυτες τιμές που έχουν υπολογιστεί. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με το Βλάχο η μορφή της συνάρτησης μεταβολής του συντελεστή προσεγγίζεται από μία παραβολική καμπύλη. Σύμφωνα με αυτή, οι μέγιστες τιμές του συντελεστή ($k \cong 0.25$) παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες και επαναλαμβάνονται μετά τις 20.00, ενώ η ελάχιστη τιμή του συντελεστή ($k \cong 0.12$) παρατηρείται περίπου στις 13.00. Το εύρος των τιμών του συντελεστή κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι ίσο με 0.13.

Στη μελέτη της Λάμπρου (Εικόνα 2), η μορφή της γραφικής παράστασης του συντελεστή δεν έχει καμία συμμετρία. Οι μέγιστες τιμές του συντελεστή παρατηρούνται τις απογευματινές ώρες για να εμφανιστούν ξανά γύρω στα μεσάνυχτα και τέλος, τα ξημερώματα. Το εύρος των τιμών του συντελεστή διαφέρει σημαντικά από την προηγούμενη περίπτωση και είναι ίσο περίπου με 0.20.

Αξίζει να σημειωθεί ότι περίπου στις 13.00 και στις δύο μελέτες, εμφανίζονται οι ελάχιστες τιμές του συντελεστή.

2.2.1 Γεωμετρική ερμηνεία του προβλήματος και αλγεβρική διόρθωση

Για την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης της γεωδαιτικής διάθλασης, παρουσιάζονται παρακάτω τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φαινομένου μέσα από συγκεκριμένο παράδειγμα.

Έστω ότι υπάρχουν δύο σημεία Α και Β πάνω στη φυσική γήινη επιφάνεια. Είναι επίσης γνωστό ότι η πυκνότητα της ατμόσφαιρας ελαττώνεται όσο αυξάνει το ύψος. Η μέτρηση της κατακόρυφης γωνίας μεταξύ τους, δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται από τη νοητή ευθεία που είναι κάθετη στο σκοπευτικό άξονα του οργάνου και τη σκοπευτική γραμμή που ορίζεται από τη θέση των δύο αυτών σημείων στο χώρο, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της γωνίας από το Α προς τον Β. Στην πραγματικότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω, η οπτική ακτίνα ακολουθεί καμπύλη πορεία καθώς διέρχεται τα στρώματα της ατμόσφαιρας αντί της ευθύγραμμης πορείας. Η επίπεδη αυτή καμπύλη αντιστοιχεί σε τόξο κύκλου με κέντρο Κ', ακτίνα ρ και επίκεντρη γωνία θ. Παρατηρείται έτσι ότι το φαινόμενο σημείο Β', αντί του πραγματικού σημείου Β, είναι μετατοπισμένο και φαίνεται υψηλότερα.

Εάν:

- Η γραμμική μετατόπιση του σημείου B αντιστοιχεί σε γωνιακή μετατόπιση ίση με

Επομένως, για τη γωνία διάθλασης $\rho = z' - z$ στο σημείο Α ισχύει:

Εάν οριστεί σαν k , ποσότητα ίση με $\frac{R}{R'}$, δηλαδή ίση με το λόγο των δύο ακτινών R και

$$\rho = k \frac{\omega}{2} \quad (2)$$


22

Τελικά, λαμβάνοντας υπόψη τη (2) και επειδή $\omega = \frac{S}{R}$, η σχέση που συνδέει την πραγματική τιμή της γωνίας z' με τη μετρημένη γωνία z είναι:

$$z' = z + \arcsin k \frac{S}{2R} \quad (3)$$

Οι τιμές που μπορεί να πάρει η διόρθωση εξαρτώνται επομένως από την τιμή του συντελεστή και την απόσταση μεταξύ των σημείων.

Σύμφωνα με τη Λάμπρου (2010), η διόρθωση αυτή πρέπει να αφαιρείται από τη μετρούμενη γωνία, όταν οι παρατηρήσεις πραγματοποιούνται πάνω από παγωμένη επιφάνεια (αφού στην περίπτωση αυτή η καμπύλη τροχιά της ακτίνας στρέφει τα κοίλα προς τα πάνω και το φαινόμενο σημείο βρίσκεται χαμηλότερα από το πραγματικό).

Τέλος, να σημειωθεί ότι αντίστοιχη της κατακόρυφης διάθλασης για το οριζόντιο επίπεδο είναι η οριζόντια διάθλαση, το φαινόμενο δηλαδή κατά το οποίο παρατηρείται εκτροπή των οπτικών ακτίνων λόγω της οριζόντιας θερμοβαθμίδας και εισαγωγή σφάλματος στις μετρήσεις οριζόντιων ή επίπεδων γωνιών. Στην εργασία αυτή πρόκειται να ληφθεί υπόψη μόνο η επίδραση της κατακόρυφης διάθλασης στις μετρήσεις, στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο εντονότερα και η διόρθωση κρίνεται περισσότερο αναγκαία.

2.2.2 Επίδραση στην ακρίβεια των μετρήσεων κατακόρυφων γωνιών

Η επίδραση του σφάλματος λόγω γεωδαιτικής διάθλασης στις μετρήσεις ακριβείας έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών ερευνητικών εργασιών στον ελληνικό χώρο. Σε επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αντίστοιχα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις στο πλαίσιο της εργασίας.

Προκειμένου όμως να σχηματιστεί μια αρχική εικόνα σχετικά με την επίδραση της διάθλασης στη μέτρηση των κατακόρυφων γωνιών, δίνεται ο επόμενος πίνακας. Παρουσιάζονται οι τιμές της διόρθωσης που πρόκειται να προστεθεί ανά περίπτωση στη μετρούμενη κατακόρυφη γωνία (σε cc), για δεδομένες αποστάσεις και τιμές του συντελεστή.

<i>k</i>	<i>S (km)</i>					
	0.1	0.5	1	2	5	12
0.08	0.4	2	4	8	20	48
0.16	0.8	4	8	16	40	96
0.25	1.25	6.25	12.5	25	62.5	150
0.35	1.75	8.75	17.5	35	87.5	210
0.45	2.25	11.24	22.5	45	112	269

Πίνακας 1 Αλγεβρική διόρθωση κατακόρυφης γωνίας λόγω διάθλασης (σε cc)

Ο υπολογισμός των αντίστοιχων τιμών διόρθωσης στην υψομετρική διαφορά που έχει υπολογιστεί, απαιτεί την εισαγωγή τιμής για την μετρούμενη γωνία. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά ορισμένες περιπτώσεις διόρθωσης στην υψομετρική διαφορά που υπολογίζεται για ζεύγη σημείων.

<i>z'(g)</i>	<i>Z(g)</i>	<i>k</i>	<i>S(m)</i>	$\Delta H_{\text{μετρ.}}(\text{m})$	$\Delta H_{\text{πραγμ.}}(\text{m})$	$\Delta H_{\text{μετρ.}} - \Delta H_{\text{πραγμ.}}(\text{cm})$
65.2500	65.2506	0.25	500	259.573	259.569	0.4
65.2500	65.2513	0.25	1000	519.146	519.128	1.72
65.2500	65.2525	0.25	2000	1038.292	1038.225	6.66
65.2500	65.2563	0.25	5000	2595.731	2595.308	42.27

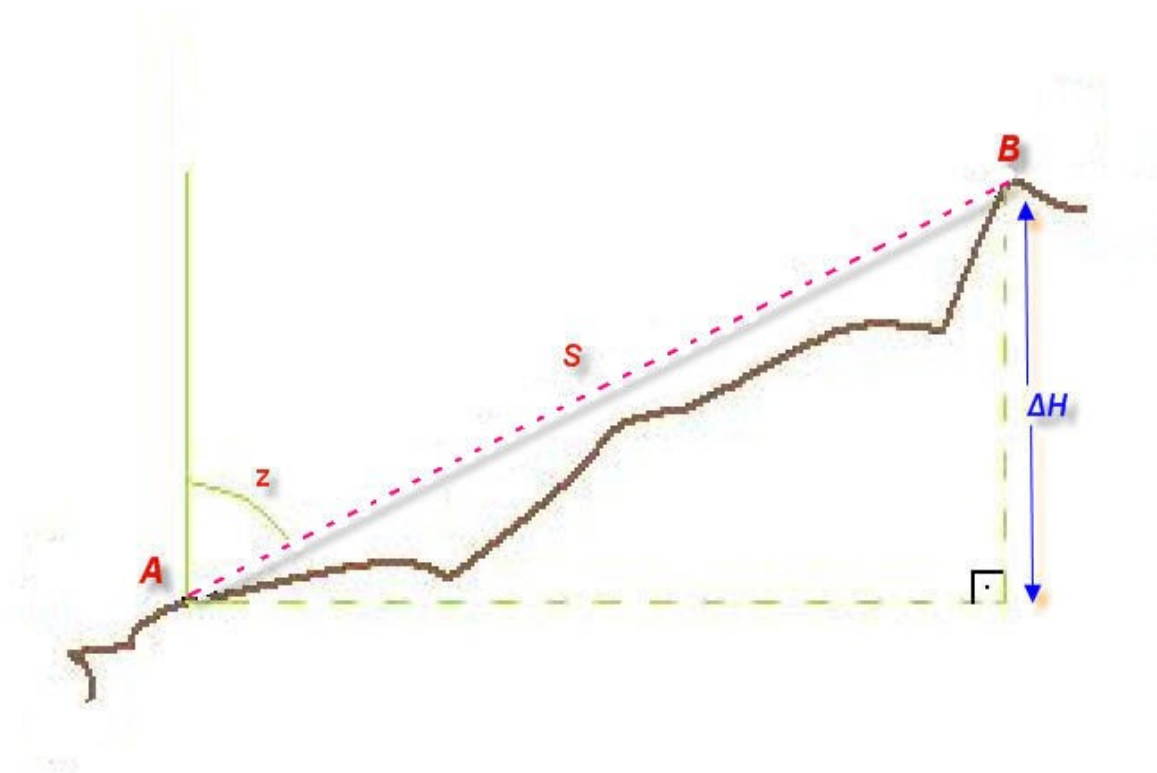
Πίνακας 2 Αλγεβρική διόρθωση υψομετρικής διαφοράς λόγω διάθλασης

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, η επίδραση της διάθλασης αυξάνει έντονα όταν αυξάνει η απόσταση μεταξύ των σημείων που ορίζουν τη μέτρηση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απόκλιση μεταξύ των γωνιών *z* και *z'*, η οποία επίσης αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης.

Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των σημείων του παραδείγματος, είναι η ακόλουθη:

$$\Delta H = S \cdot \cos z \quad (4)$$

και βασίζεται σε επίλυση εντός του ορθογωνίου τριγώνου που σχηματίζεται μεταξύ των δύο σημείων και της προβολής του δεύτερου στο οριζόντιο επίπεδο (Σχήμα 2).



Εικόνα 4 Υψομετρική διαφορά σημείων και μετρούμενα μεγέθη

2.3 Μέθοδοι υπολογισμού

Σύμφωνα με όσα έχουν παρουσιαστεί στο 1^ο Κεφάλαιο της εργασίας, για τον υπολογισμό του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης, έχουν μέχρι σήμερα αναπτυχθεί από τη βιβλιογραφία οι εξής μεθοδολογίες:

- μέθοδος των αμοιβαίων σκοπεύσεων
- μέθοδος των απλών σκοπεύσεων
- μέθοδος υπολογισμού από μετεωρολογικά δεδομένα
- μέθοδος υπολογισμού μέσω ειδικών συσκευών καταγραφής της κατάστασης της ατμόσφαιρας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρεις πρώτες μέθοδοι, από τις οποίες η μέθοδος των απλών σκοπεύσεων και η μέθοδος υπολογισμού από τα μετεωρολογικά δεδομένα βρίσκουν εφαρμογή στο πλαίσιο της εργασίας.

2.3.1 Μέθοδος των αμοιβαίων σκοπεύσεων

Η μέθοδος των αμοιβαίων σκοπεύσεων για τον υπολογισμό και την απαλοιφή του φαινομένου της διάθλασης βασίζεται σε μία ειδική διάταξη των σημείων παρατήρησης στο πεδίο. Οι προϋποθέσεις για την εφαρμογή της είναι (Τσούλης, 2005):

- να ισχύει ένα σφαιρικό μοντέλο διάθλασης για την περιοχή μελέτης,
- οι ξενίθιες γωνίες να παρατηρούνται ταυτόχρονα ή κάτω από τις ίδιες ακριβώς συνθήκες,
- η κεκλιμένη απόσταση που χωρίζει τα δύο σημεία να μην υπερβαίνει τα μερικά χιλιόμετρα.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5, αν παρατηρηθούν ταυτόχρονα οι γωνίες z_1 και z_2 , τότε θα είναι:

$$200^g - (z_1 + \rho) + 200^g - (z_2 + \rho) + \omega = 200^g$$

Στην παραπάνω σχέση ζητούμενος είναι ο υπολογισμός της γωνίας ρ , επομένως:

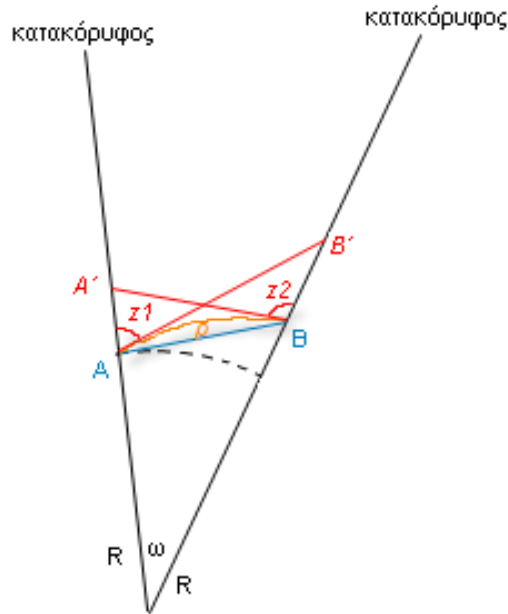
$$\rho = \frac{200 + \omega}{2} - \frac{z_1 + z_2}{2} \quad (5)$$

$$\text{Από (2) και (5): } k \frac{\omega}{2} = \frac{\omega}{2} - \frac{z_1 + z_2 - 200}{2} \Rightarrow 1 - k = \frac{z_1 + z_2 - 200}{\omega} \quad (6)$$

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, είναι: $\omega = \frac{S}{R}$ ακτίνια, επομένως η (6) γράφεται:

$$1 - k = \frac{R (z_1 + z_2 - 200)}{S \cdot 636620},$$

όπου R η μέση ακτίνα της Γης που θεωρείται σφαίρα, ενώ το άθροισμα $(z_1 + z_2 - 200)$ πρέπει να είναι εκφρασμένο σε cc και οι γωνίες που μετρούνται να έχουν αναχθεί στην ίδια σκοπευτική γραμμή.



Εικόνα 5 Διάταξη αμοιβαίων σκοπεύσεων για υπολογισμό συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης
(Πηγή: Βλάχος, 1987, ιδία επεξεργασία)

2.3.2 Μέθοδος των απλών σκοπεύσεων

Η μέθοδος των απλών σκοπεύσεων χρησιμοποιεί την εξίσωση υπολογισμού της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων από τριγωνομετρική υψομετρία, στην οποία συμμετέχει και ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης k :

$$\Delta H = \frac{Sop}{\tan z} - \frac{Sop^2}{2R} + k \cdot \frac{Sop^2}{2R} + (Y.O. - Y.Σ.) \quad (7)$$

Αν η (7) επιλυθεί ως προς k , είναι:

$$k = 1 + \frac{2R}{Sop} \cdot \left(\frac{1}{\tan z} - \frac{\Delta H}{Sop} \right) + (Y.O. - Y.Σ.) \cdot \frac{2R}{Sop^2}, \text{ όπου} \quad (8)$$

Y.O. : Το ύψος του οργάνου στο σημείο από το οποίο γίνεται η σκόπευση,

Y.Σ. : Το ύψος του στόχου στο σημείο που σκοπεύεται.

Τα μεγέθη που πρέπει κάθε φορά να είναι γνωστά προκειμένου να βρει εφαρμογή η μέθοδος των απλών σκοπεύσεων είναι η υψομετρική διαφορά ΔH , η κατακόρυφη γωνία z , η οριζόντια απόσταση μεταξύ των σημείων και τα ύψη οργάνου και στόχου. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ύψη οργάνου και στόχου μετρούνται κάθε φορά από τον παρατηρητή πολύ προσεκτικά, με ακρίβεια χιλιοστού χρησιμοποιώντας υποδεκάμετρο.

2.3.3 Μέθοδος υπολογισμού από μετεωρολογικά δεδομένα

Η σχέση από την οποία δίνεται ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης k από μετεωρολογικά δεδομένα είναι η εξής:

$$k = 670.87 \frac{P}{T^2} \cdot \left(0.034 + \frac{dT}{dH} \right) \cdot \sin z_{AB}, \text{ όταν έχουν μετρηθεί}$$

- η ατμοσφαιρική πίεση P σε mmHg,
- η θερμοκρασία T σε βαθμούς Kelvin,
- η κατακόρυφη γωνία z_{AB} , (βλ. Σχήμα 4, γωνία z)
- η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα $\frac{dT}{dH}$, δηλαδή η μεταβολή της θερμοκρασίας με το υψόμετρο.

Η μετεωρολογική ποσότητα που επιδρά ιδιαίτερα στο δείκτη διάθλασης είναι η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα. *Ειδικά στα στρώματα της ατμόσφαιρας κοντά στο έδαφος, ο συντελεστής υπόκειται σε μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με τη θέση (ανάγλυφο, βλάστηση) και το χρόνο (ημερήσιες και ετήσιες διακυμάνσεις)* (Torge, 2000).

Από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω, η πιο επισφαλής μέθοδος εκτίμησης είναι αυτή από τα μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς έχει αναπτυχθεί από παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε περιοχές της Κεντρικής Ευρώπης και ενδέχεται τα αποτελέσματα της να μην είναι αντιπροσωπευτικά για τον ελληνικό χώρο. Η εφαρμογή της είναι σαφώς προτιμότερη όταν υπάρχει έλλειψη άλλων πληροφοριών σχετικά με το συντελεστή ή όταν δεν είναι δυνατό να γίνουν μετρήσεις γωνιών στο πεδίο για έλεγχο. Αντιθέτως, με τη μέθοδο των αμοιβαίων σκοπεύσεων και τη μέθοδο των απλών σκοπεύσεων (όταν η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων έχει μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια), είναι δυνατόν να εξαχθεί η ακριβής τιμή του συντελεστή για το συγκεκριμένο τόπο και χρόνο που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις.

3^ο Κεφάλαιο: Ανάλυση μεθοδολογίας

Στο κεφάλαιο αυτό συγκεντρώθηκαν στοιχεία σχετικά με την περιοχή μελέτης, την ακριβή θέση των σημείων και τον τρόπο επιλογής τους. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις προδιαγραφές του χρησιμοποιούμενου γεωδαιτικού εξοπλισμού και γίνεται μια σύντομη παρουσίασή του. Τέλος, παρουσιάζεται η διαδικασία συλλογής των δεδομένων και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή και τη διαχείρισή τους.

3.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης

Οι μετρήσεις της εργασίας πραγματοποιήθηκαν μεταξύ ζεύγους σημείων, στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής.

Το ζεύγος αποτελείται από σημείο στη Ραφήνα Αττικής, το οποίο ιδρύθηκε για τις ανάγκες της εργασίας και ένα σημείο του τριγωνομετρικού δικτύου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) με το όνομα Μεσαία Μαυρινώρα και κωδικό 161030. Το τριγωνομετρικό (υλοποιημένο επάνω σε βάθρο ύψους 1.2 m) βρίσκεται στην Πεντέλη ενώ η απόσταση μεταξύ των σημείων είναι ίση με 8582.705 m. Να σημειωθεί ότι για λόγους εύκολης αναφοράς στο πλαίσιο της εργασίας στο σημείο που ιδρύθηκε στη Ραφήνα δόθηκε ο κωδικός 322500. Η κωδικοποίηση δεν έγινε με τυχαίο τρόπο, αλλά τηρήθηκε το σύστημα κωδικοποίησης της Γ.Υ.Σ.. Έτσι, τα τρία πρώτα ψηφία του κωδικού που δόθηκε αναφέρονται στο Φύλλο Χάρτη κλίμακας 1:50000, ο οποίος είναι 322 (Ραφήνα). Τα τρία τελευταία ψηφία του κωδικού (500), επιλέχθηκαν σαν αρίθμηση, ώστε να μην υπάρξει σύγχυση με άλλο σημείο που ήδη υπάρχει στην περιοχή (π.χ. 322020).

Η περιοχή μελέτης της εργασίας επιλέχθηκε ώστε να πληροί τα ακόλουθα κριτήρια:

- την καλή ορατότητα μεταξύ των σημείων,
- την εύκολη πρόσβαση ώστε να μπορούν εκτός από τους παρατηρητές να μεταφέρονται και τα όργανα χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες,
- την εξασφάλιση πορείας της ακτίνας επάνω από ξηρά.

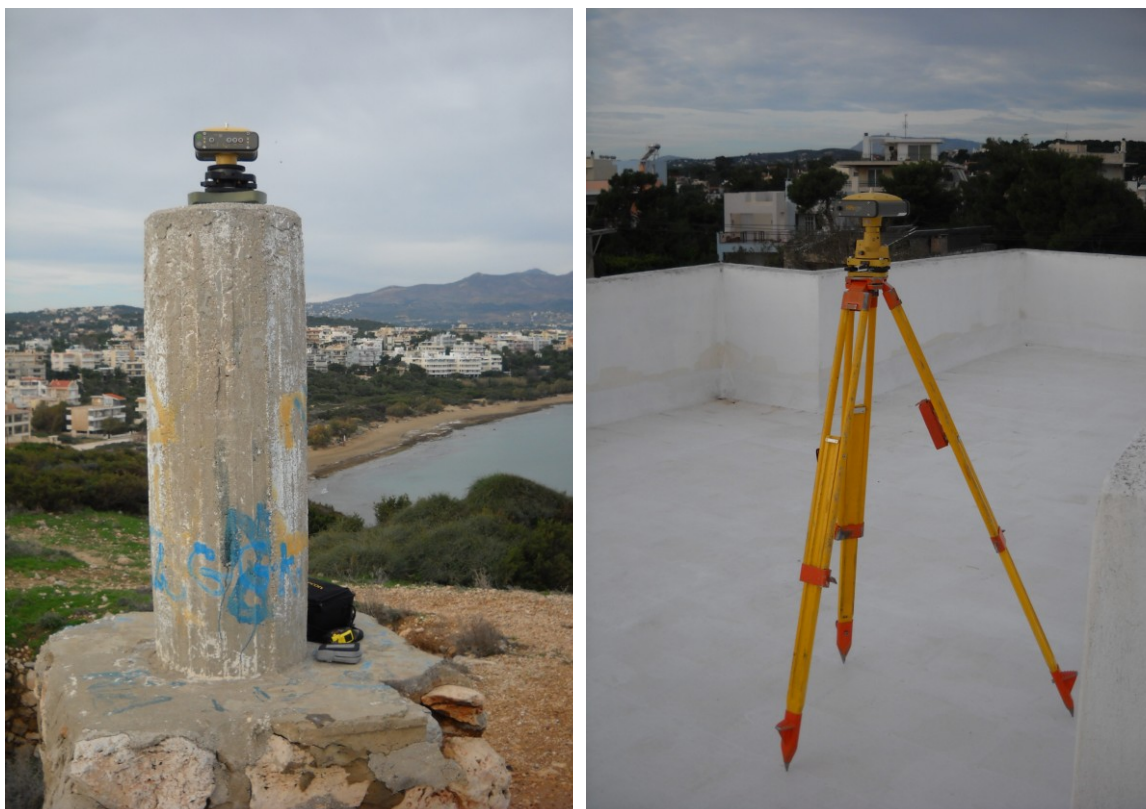
Οι συντεταγμένες του σημείου 322500 υπολογίστηκαν με δορυφορικές παρατηρήσεις GPS και στον Πίνακα 3 δίνονται στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του '87 (ΕΓΣΑ87).

Να σημειωθεί ότι η τιμή της απόστασης μεταξύ των δύο σημείων που υπολογίζεται από τις συντεταγμένες τους στο ΕΓΣΑ87 είναι $S_{322020-161030} = 8579.272$ m και διαφέρει από την τιμή που τελικά χρησιμοποιήθηκε και φαίνεται στον Πίνακα 3 - $S_{322020-161030} = 8582.705$ m. Η διαφορά των δύο αποστάσεων οφείλεται στο μέγεθος της παραμόρφωσης λόγω της χαρτογραφικής προβολής για τη δεδομένη τιμή που υπολογίστηκε. Στην πραγματικότητα, στην προβολή χρησιμοποιούνται ευθείες, ενώ οι αποστάσεις που έχουν μετρηθεί αποτελούν καμπύλες πάνω από την επιφάνεια της γης που προβάλλονται σε οριζόντιο επίπεδο. Η μαθηματική εξίσωση από την οποία προκύπτει η διόρθωση που πρέπει να πραγματοποιηθεί στα μήκη λόγω χαρτογραφικής προβολής είναι (Βέης, 1987):

$$\kappa = 12311(X - 0.5)^2 - 400 \text{ (σε ppm)},$$

όπου η τιμή X αφορά τη μέση τετμημένη της περιοχής μελέτης και προκύπτει από το μέσο όρο των τετμημένων των δύο σημείων $X = \frac{1}{2}(X_1 + X_2)$, εκφρασμένη σε μέγαιτρα (εκατομμύρια μέτρα). Η διαφορά υπολογίζεται σε ppm (parts per million) και στη συνέχεια ανάγεται στο μέγεθος της απόστασης. Τέλος, διαιρεί την τιμή της απόστασης που υπολογίστηκε από τις συντεταγμένες.

Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του ιδρυθέντος σημείου 322500 βασίστηκε στην τεχνική του στατικού δορυφορικού εντοπισμού. Η τεχνική του στατικού εντοπισμού χρησιμοποιείται όταν απαιτούνται αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας και προϋποθέτει τη χρήση τουλάχιστον δύο δεκτών GPS (Παγούνης, 2004). Ο ένας δέκτης τοποθετείται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες (base) και ο δεύτερος (rover) στο σημείο του οποίου η θέση πρέπει να προσδιοριστεί. Στην περίπτωση της εργασίας, το σημείο με γνωστές συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί τριγωνομετρικό του δικτύου της Γ.Υ.Σ., με κωδικό 322001 και το όνομα Λάκκα Μαρίκες. Ο δεύτερος δέκτης τοποθετήθηκε στο σημείο 322500 και οι παρατηρήσεις καταγράφηκαν και στους δύο δέκτες ταυτόχρονα με χρονικό βήμα καταγραφής 15 sec.. Η επίλυση, δηλαδή ο υπολογισμός των συντεταγμένων του σημείου 322500, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Topcon Tools. Στην εικόνα παρακάτω φαίνονται στιγμιότυπα από την τοποθέτηση του δέκτη στο σημείο 322001 και στο σημείο 322500.



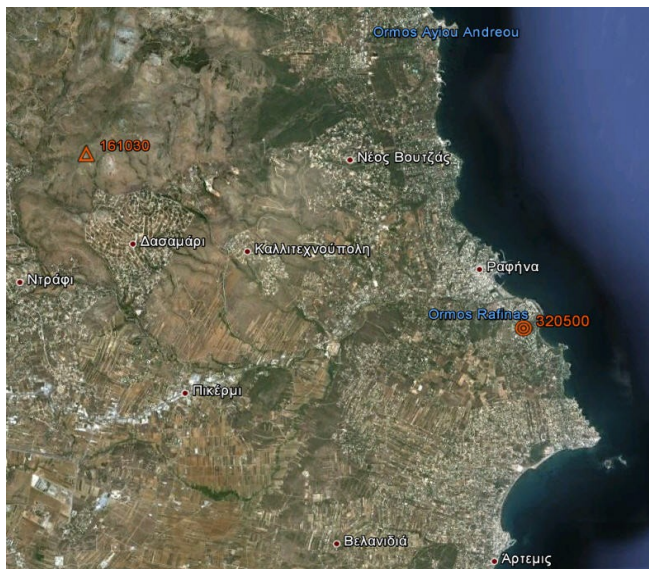
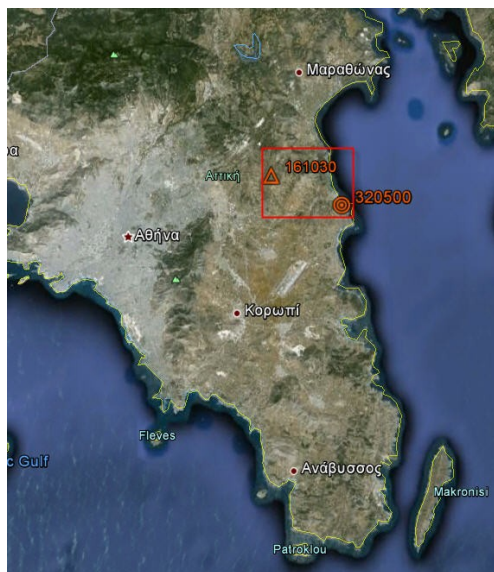
Εικόνα 6 Στατικός εντοπισμός (σημεία 322001 και 322500)

Ο Πίνακας 3 αφορά τις τιμές των συντεταγμένων των σημείων που συμμετέχουν στις μετρήσεις στο πλαίσιο της εργασίας καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Κωδικός σημείου	x	y	H	Απόσταση	ΔH
322500	501195.668	4206918.461	32.033	8582.705	645.166
161030	493738.396	4211160.278	677.199		

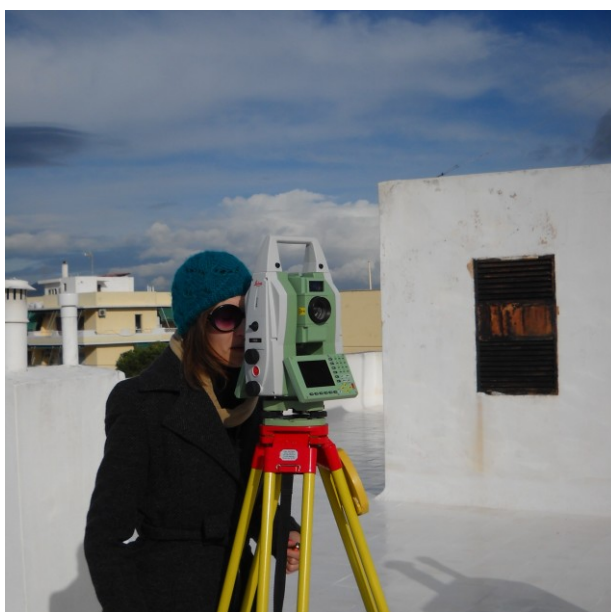
Πίνακας 3 Συντεταγμένες των σημείων στο ΕΓΣΑ87 (μονάδες μεγεθών: μέτρα)

Στα παρακάτω αποσπάσματα από το Google Earth φαίνεται η θέση της περιοχής μελέτης εντός του Ν. Αττικής καθώς και οι ακριβείς θέσεις των σημείων.



Εικόνα 7 Σημεία 322500 – 161030 (Ραφήνα – Πεντέλη)

Τα σημεία που επιλέχθηκαν ήταν απαραίτητο να σημειωθούν μόνιμα ώστε να μπορούν να ανευρεθούν κάθε φορά που οι μετρήσεις επαναλαμβάνονταν, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος μετακίνησης ή καταστροφής. Τα τριγωνομετρικά σημεία της Γ.Υ.Σ. είναι βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα και δεν διατρέχουν αυτούς τους κινδύνους, εκτός σπανίων περιπτώσεων, επομένως η σήμανση αφορά το ιδρυθέν σημείο 322500. Σημάνθηκε με ανεξίτηλο μαρκαδόρο αφού δεν υπήρχε δυνατότητα ανοίγματος τρύπας και παρέμεινε έτσι καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Η Εικόνα 8 αποτελεί στιγμιότυπο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



Εικόνα 8 Μετρήσεις στο σημείο 322500

Το τριγωνομετρικό σημείο στην Πεντέλη δεν συνοδεύεται από φωτογραφίες, αφού δεν έγινε επίσκεψη επιτόπου. Το σημείο χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο των εργασιών των απλών παρατηρήσεων, επομένως το μόνο απαραίτητο στοιχείο ήταν το υψόμετρό του. Στην Εικόνα 9 φαίνεται το τριγωνομετρικό σημείο όπως σκοπευόταν μέσα από το τηλεσκόπιο του γεωδαιτικού σταθμού. Οι σκοπεύσεις γινόταν πάντοτε στη στέψη του βάθρου (στην επάνω ακμή του), όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 9 Η σκόπευση από το 322500 στο τριγωνομετρικό σημείο 161030 (Πεντέλη)

3.2 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του πρακτικού μέρους της εργασίας περιλαμβάνει:

- ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TS30 υψηλής γωνιομετρικής ακρίβειας (0.5'') με τα παρελκόμενά του (ξύλινος τρίποδας, τρικόγλιο, αστερίας),
- ζεύγος γεωδαιτικών δεκτών GPS Topcon Hiper Pro με τα παρελκόμενά τους,
- βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης για την τοποθέτηση του δέκτη GPS επάνω στο βάθρο στο τριγωνομετρικό σημείο,
- φορητό μετεωρολογικό σταθμό Kestrel 4250, με δυνατότητα αυτόματης αποθήκευσης των δεδομένων, άμεσης παρακολούθησης των ατμοσφαιρικών δεδομένων και αυτόματης εξαγωγής γραφημάτων μέσω H/Y.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των παραπάνω οργάνων δίνονται αναλυτικά στο τέλος του τεύχους (Παράρτημα).

3.3 Συλλογή και προετοιμασία δεδομένων

Τα δεδομένα της εργασίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα γεωδαιτικά και τα μετεωρολογικά. Τα γεωδαιτικά δεδομένα περιλαμβάνουν τις πληροφορίες σχετικά με την ακριβή θέση των σημείων, την απόσταση μεταξύ τους, την υψομετρική τους διαφορά και τέλος, τις κατακόρυφες γωνίες από το σημείο 322500 προς το 161030.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν αφορούν τις τιμές της θερμοκρασίας, της πίεσης και της υγρασίας για κάθε στιγμή μέτρησης της κατακόρυφης γωνίας, άρα και κάθε στιγμή προσδιορισμού του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης μέσω της μεθόδου των απλών σκοπεύσεων.

Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται όλες οι λεπτομέρειες που είναι σχετικές με τη διαδικασία της συλλογής των δεδομένων.

3.3.1 Γεωδαιτικά δεδομένα

Οι μετρήσεις στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 08/12/2012 – 27/01/2013. Για τις μετρήσεις των κατακόρυφων γωνιών χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TS30. Τα δεδομένα που καταγράφονταν με βήμα 5 min σε κάθε σετ (ημέρα) μετρήσεων περιλαμβάνουν την τιμή της κατακόρυφης γωνίας σε δύο περιόδους. Τα υπόλοιπα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της τιμής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης (απόσταση, υψομετρική διαφορά) είναι σταθερά για το ζεύγος σημείων και υπολογίστηκαν μία φορά, στην αρχή των εργασιών υπαίθρου.

Κατά την επιστροφή στο γραφείο για την επεξεργασία των δεδομένων, το πρώτο βήμα αποτελεί η εισαγωγή τους σε φύλλο εργασίας του MS Office Excel, κατάλληλα διαμορφωμένο με τις εξισώσεις υπολογισμού, ώστε να εξάγονται άμεσα οι τιμές του συντελεστή.

3.3.2 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που συμμετέχουν στην εργασία αφορούν τιμές:

- θερμοκρασίας,
- ατμοσφαιρικής πίεσης,
- σχετικής υγρασίας (%),
- κατακόρυφης θερμοβαθμίδας (dT/dH).

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν τόσο άμεσα, στην περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων με χρήση του φορητού μετεωρολογικού σταθμού (Εικόνα 10), όσο και από τους πλησιέστερους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου του Αστεροσκοπείου Αθηνών (Νέα Μάκρη, Κάντζα, Σπάτα). Η καταγραφή τους με το Kestrel οδήγησε σε σύγκριση των δεδομένων με αυτά των διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών, ώστε να επιλεγεί ο σταθμός του Αστεροσκοπείου, του οποίου τα δεδομένα επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς της εργασίας.



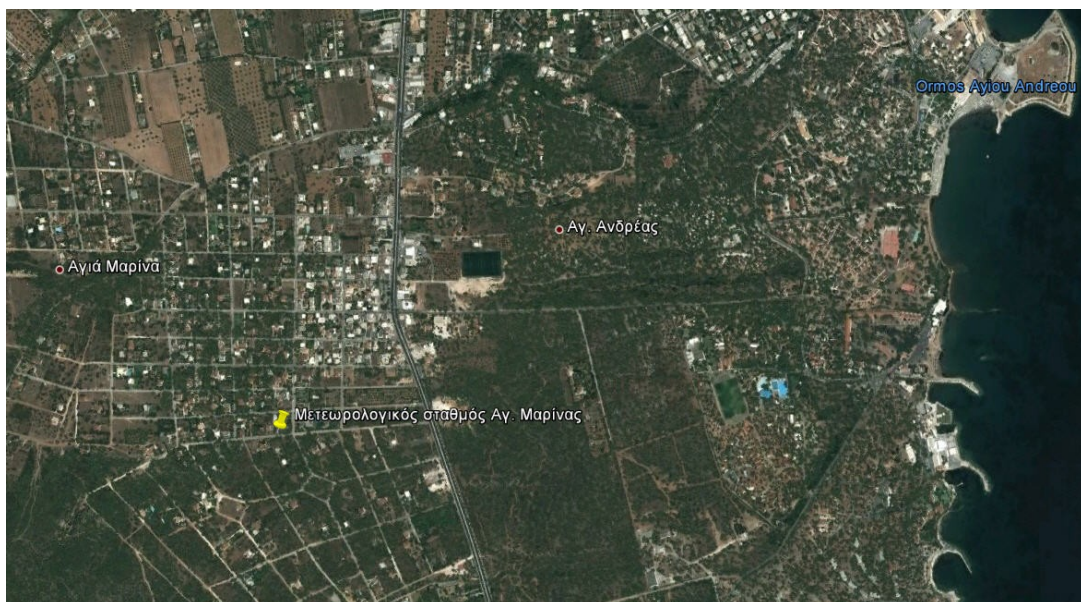
Εικόνα 10 Ο φορητός μετεωρολογικός σταθμός Kestrel 4250

Σημειώνεται επίσης ότι ο όρος της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας που περιέχεται στη συνάρτηση υπολογισμού του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης αφορά τη μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σημείων που ορίζουν τη γραμμή σκόπευσης. Επομένως είναι απαραίτητη η γνώση της θερμοκρασίας στην περιοχή του σημείου 161030, στην Πεντέλη. Είναι επίσης σαφές ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας (dT) έχει την ίδια τιμή σε όποια κλίμακα θερμοκρασίας (Kelvin ή Κελσίου) και αν έχει μετρηθεί. Έτσι, για τους υπολογισμούς με την εξίσωση της θερμοβαθμίδας η θερμοκρασία συμμετείχε στην εξίσωση αναφερόμενη στην κλίμακα Kelvin, ενώ για τους υπόλοιπους υπολογισμούς της εργασίας αναφέρεται στην κλίμακα Κελσίου. Καθώς δεν ήταν δυνατή η παροχή μετεωρολογικών δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό του

Αστεροσκοπείου Αθηνών στην Πεντέλη εφαρμόστηκαν αποτελέσματα προσομοιώσεων από το αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού που έχει εγκατασταθεί από την Ομάδα Δυναμικής της Ατμόσφαιρας και του Κλίματος στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Η θέση του μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή της Ν. Μάκρης, από τον οποίο αντλήθηκαν δεδομένα τελικά δίνεται στον Πίνακα 4 και στην Εικόνα 11.

Τοποθεσία	latitude	longitude	Υψόμετρο (m)	Απόσταση από σημείο εκτίμησης (m)
Αγ. Μαρίνα (Ν. Μάκρη)	38° 03' 32"	23° 58' 37"	90	5500

Πίνακας 4 Μετεωρολογικός σταθμός Ν. Μάκρης



Εικόνα 11 Μετεωρολογικός σταθμός Ν. Μάκρης (Google Earth)

Για λόγους ευκολίας στην αναφορά της κάθε ημέρας μετρήσεων στην ενότητα των αποτελεσμάτων, κρίθηκε σκόπιμο η κάθε ημέρα (η οποία χαρακτηρίζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούσαν) να αντιστοιχηθεί σε έναν αριθμό.

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά καθώς και σύντομες περιγραφές της ατμόσφαιρας για κάθε ημέρα μετρήσεων. Σημειώνεται ότι οι τιμές θερμοκρασίας (T) αναφέρονται στην κλίμακα Κελσίου και αποτελούν το μέσο όρο των καταγεγραμμένων τιμών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Αντίστοιχα, οι τιμές τις ατμοσφαιρικής πίεσης (P) είναι μετρημένες σε mmHg και η σχετική υγρασία (RH) είναι ανηγμένη επί τοις εκατό. Για τις αντίστοιχες ημέρες και ώρες

χρησιμοποιήθηκε η τιμή της θερμοκρασίας από το αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου για την περιοχή της Πεντέλης. Τα διαθέσιμα δεδομένα για τις τιμές της θερμοκρασίας στην Πεντέλη είχαν χρονικό βήμα 3h και με αυτό τον τρόπο χρησιμοποιήθηκαν. Οι προγνωστικές τιμές της θερμοκρασίας για την Πεντέλη δίνονται στο Παράρτημα Β.

	1^η ημέρα (25/01)	2^η ημέρα (26/01)	3^η ημέρα (27/01)
T	11.5	12.2	9.4
P	754.7	750.8	759.7
RH	82.1	91.7	81.6
Γενικές παρατηρήσεις	Αρκετά σύννεφα, αισθητή υγρασία στην ατμόσφαιρα. Ορατότητα μέτρια.	Πολλά σύννεφα και διακοπή μετρήσεων λόγω ελαφρής βροχόπτωσης. Ορατότητα μέτρια.	Ηλιοφάνεια και πολύ καθαρή ατμόσφαιρά. Άριστη ορατότητα.

Πίνακας 5 Μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες ανά ημέρα μετρήσεων

4^ο Κεφάλαιο: Αποτελέσματα

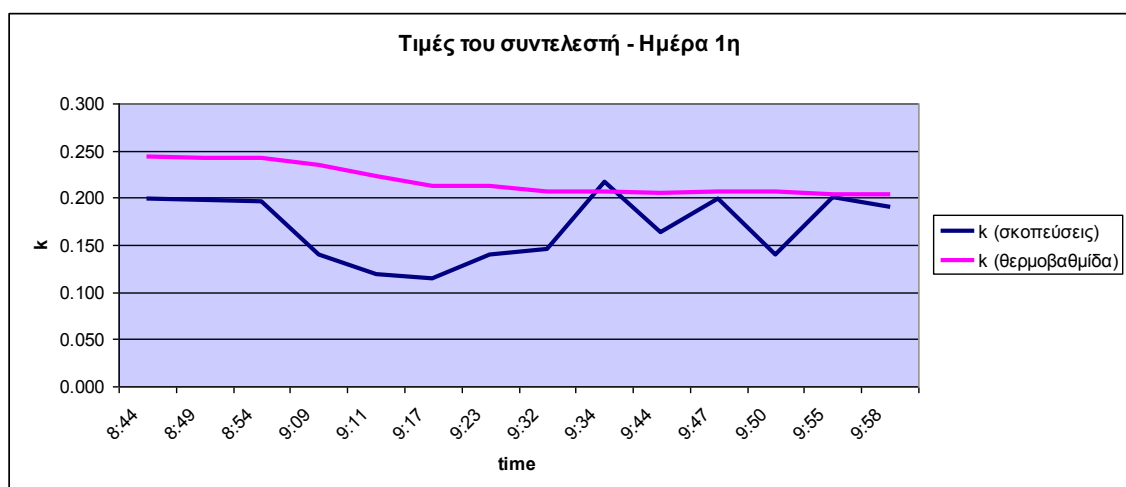
Στο κεφάλαιο αυτό έχουν συγκεντρωθεί τα αποτελέσματα της εργασίας, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία. Για λόγους καλύτερης απεικόνισης, τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή γραφημάτων και συνοδεύονται από παρατηρήσεις.

Τα αποτελέσματα αφορούν τις τρεις υποθέσεις της εργασίας, όπως διατυπώθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Με αυτό τον τρόπο έγινε η διάκριση στα ακόλουθα υποκεφάλαια.

4.1 Υπολογισμός τιμών με τη μέθοδο των απλών σκοπεύσεων και από μετεωρολογικά δεδομένα

Τα γραφήματα που ακολουθούν απεικονίζουν τα αποτελέσματα υπολογισμού του συντελεστή για κάθε ημέρα μετρήσεων, όπως έχουν προσδιοριστεί παραπάνω. Οι τιμές δίνονται συναρτήσει του χρόνου κατά τον οποίο έλαβαν χώρα οι μετρήσεις. Οι γραφικές παραστάσεις προέκυψαν από σύνολα δεδομένων με χρονικό βήμα μέτρησης κατακόρυφης γωνίας 5 λεπτά της ώρας. Κάθε γράφημα περιλαμβάνει τις τιμές του συντελεστή που υπολογίστηκαν από τη μέθοδο των απλών σκοπεύσεων καθώς και τις αντίστοιχες από τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας.

1^η ημέρα (25/01/2013)



Γράφημα 1 Αποτελέσματα από μεθόδους απλών σκοπεύσεων και θερμοβαθμίδας – Ημέρα 1^η

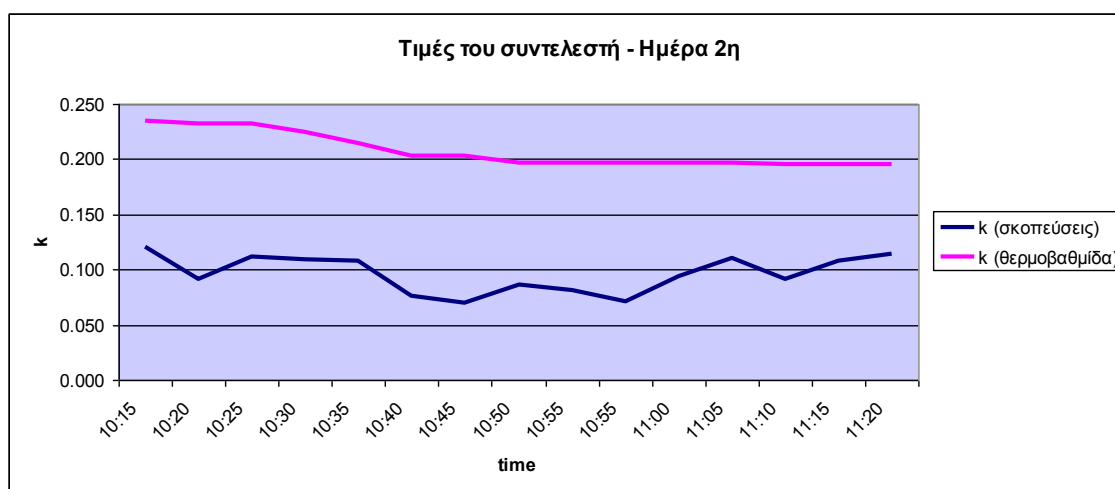
Στον πίνακα παρακάτω φαίνονται τα βασικά περιγραφικά στατιστικά κάθε συνόλου μετρήσεων από τις δύο διαφορετικές μεθοδολογίες.

	k (απλές σκοπεύσεις)	k (μετεωρολογικά)
min	0.114	0.204
max	0.217	0.244
range	0.103	0.040
average	0.168	0.218
standard deviation	0.034	0.016

Πίνακας 6 Περιγραφικά στατιστικά αποτελεσμάτων – 1^η ημέρα μετρήσεων

Από τα παραπάνω γραφήματα οι διαφορές των τιμών μεταξύ των δύο μεθοδολογιών εντοπίζονται κύρια στο εύρος των τιμών του κάθε συνόλου δεδομένων. Στην περίπτωση των απλών σκοπεύσεων το εύρος των αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερο κατά 2.5 περίπου φορές από αυτό των τιμών που υπολογίστηκαν από τα μετεωρολογικά δεδομένα. Παρόλα αυτά, κοινό σημείο και στις δύο μεθοδολογίες αποτελεί η πτώση των τιμών του συντελεστή με τον ίδιο τρόπο στις 9:00 – 9:30 περίπου, οπότε και σημειώνονται πολύ χαμηλές τιμές. Παρατηρείται επίσης ότι διαφέρουν σημαντικά και οι μέσοι όροι τιμών του συντελεστή από τις δύο μεθοδολογίες ($M.O.k_{(απλές\ σκοπεύσεις)}=0.168$ και $M.O.k_{(μετεωρολογικά)}=0.218$).

2^η ημέρα (26/01/2013)



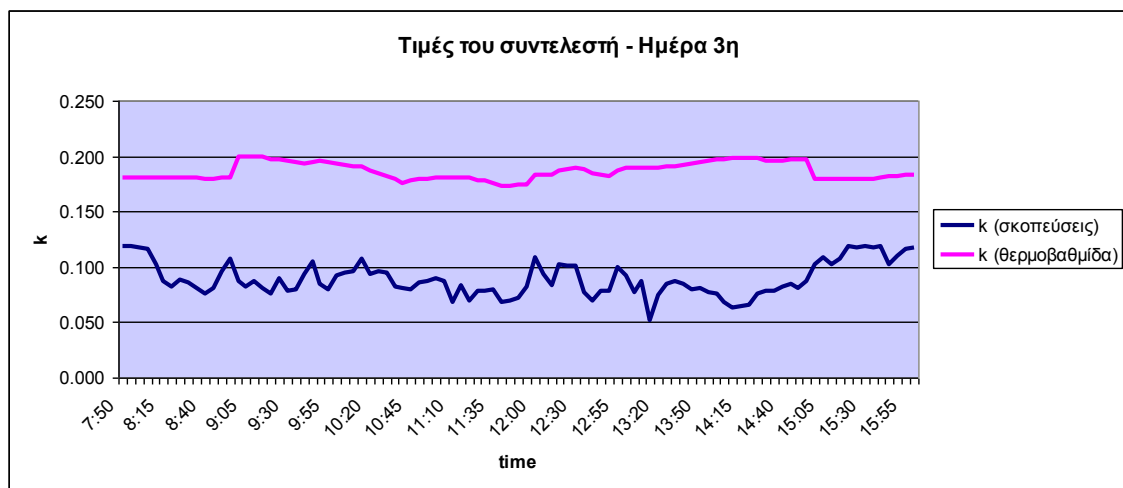
Γράφημα 2 Αποτελέσματα από μεθόδους απλών σκοπεύσεων και θερμοβαθμίδας – Ημέρα 2^η

	k (απλές σκοπεύσεις)	k (meteo)
min	0.070	0.195
max	0.121	0.234
range	0.051	0.039
average	0.096	0.208
standard deviation	0.016	0.015

Πίνακας 7 Περιγραφικά στατιστικά αποτελεσμάτων – 2^η ημέρα μετρήσεων

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα, φαίνεται ότι οι υπολογισμένες από τις απλές σκοπεύσεις τιμές του συντελεστή διαφέρουν πολύ σημαντικά από αυτές που υπολογίστηκαν από τα μετεωρολογικά δεδομένα στις μέγιστες και στις ελάχιστες τιμές τους. Η εκτίμηση του συντελεστή σε αυτή την περίπτωση με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας, δεν οδηγεί σε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρατηρείται επίσης ότι διαφέρουν κατά πολύ και οι μέσοι όροι τιμών του συντελεστή από τις δύο μεθοδολογίες ($M.O.k_{(απλές\ σκοπεύσεις)}=0.096$ και $M.O.k_{(μετεωρολογικά)}=0.208$). Η χαρακτηριστική διαφορά της 2^{ης} ημέρας όσον αφορά τις μετεωρολογικές συνθήκες αποτελεί η αυξημένη υγρασία (βλ. Πίνακα 5).

3^η ημέρα (27/01/2013)



Γράφημα 3 Αποτελέσματα από μεθόδους απλών σκοπεύσεων και θερμοβαθμίδας – Ημέρα 3^η

Ακολουθεί πίνακας με τα περιγραφικά στατιστικά των αποτελεσμάτων κάθε μεθοδολογίας.

	k (απλές σκοπεύσεις)	k (θερμοβαθμίδα)
min	0.051	0.173
max	0.119	0.200
range	0.068	0.027
average	0.089	0.186
standard deviation	0.015	0.0076533

Πίνακας 8 Περιγραφικά στατιστικά αποτελεσμάτων – 3^η ημέρα μετρήσεων

Οι παρατηρήσεις στα αποτελέσματα της 3^{ης} ημέρας μετρήσεων έχουν αρκετές ομοιότητες με αυτά της προηγούμενης ημέρας. Ακόμη, από το σύνολο των παραπάνω αποτελεσμάτων, δεν διακρίνεται σημαντική «ευαισθησία» του συντελεστή όπως υπολογίζεται από τα μετεωρολογικά δεδομένα. Έτσι, οι τιμές του παραμένουν σε μεγάλο βαθμό αμετάβλητες παρά τις αυξομειώσεις στις τιμές των ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Θα επιχειρηθεί αιτιολόγηση του ευρήματος στη συνέχεια της εργασίας.

4.2 Διερεύνηση μεταβολών του συντελεστή σε σχέση με τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες

Η διερεύνηση των μεταβολών του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης σε σχέση με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, αφορά την εξέταση της συνδιακύμανσης των παρακάτω ζευγών μεταβλητών:

- k – Temperature
- k – Pressure
- k – Relative Humidity.

Να σημειωθεί ότι στην ενότητα αυτή δεν συμπεριλαμβάνεται εξέταση της συνδιακύμανσης μεταξύ των τιμών k που έχουν προκύψει από τα μετεωρολογικά δεδομένα, αφού για τις τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκε η «εξίσωση της θερμοβαθμίδας» που περιέχει τα δεδομένα αυτά σαν ανεξάρτητες μεταβλητές.

Αντίθετα, εξετάζονται οι μεταβολές των υπολογισμένων τιμών k από τις απλές σκοπεύσεις σε σχέση με τα μετεωρολογικά δεδομένα που καταγράφηκαν με χρονικό βήμα 10 λεπτών της ώρας από το μετεωρολογικό σταθμό της Αγ. Μαρίνας Νέας Μάκρης.

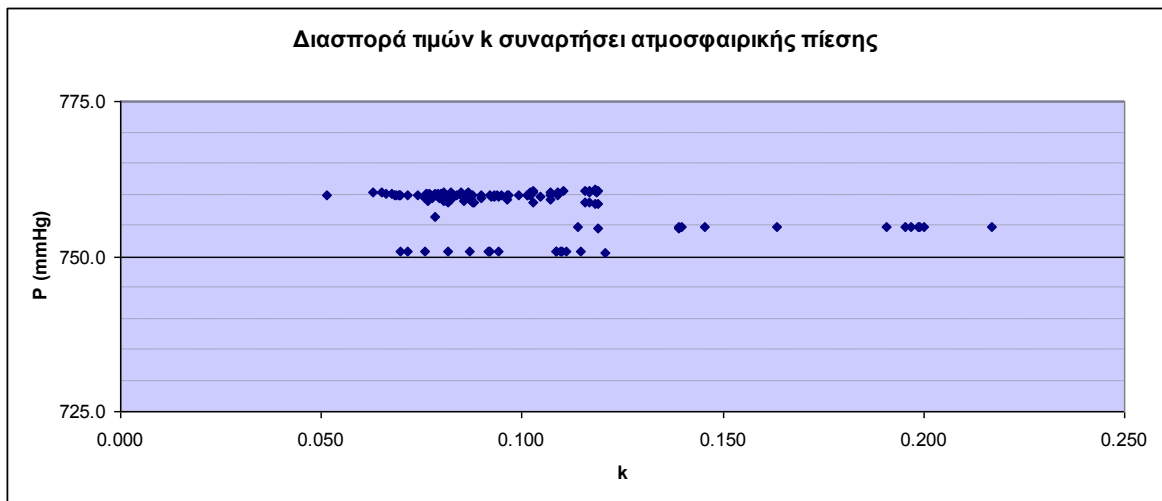
Στο γράφημα που ακολουθεί φαίνεται η διασπορά των τιμών k σε σχέση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας T , για το σύνολο των ημερών των μετρήσεων (126 παρατηρήσεις).



Γράφημα 4 Διασπορά τιμών k συναρτήσει θερμοκρασίας (T)

Η γραφική παράσταση παραπάνω δεν επιβεβαιώνει τη θεωρία της βιβλιογραφίας σχετικά με τις υψηλότερες τιμές του συντελεστή όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή. Παρατηρείται ότι στις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας, ο συντελεστής δεν παίρνει τις μέγιστες τιμές του, αλλά κινείται σε τιμές γύρω από το μέσο όρο του. Επίσης, τις στιγμές που ο συντελεστής παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές του, η θερμοκρασία κυμαίνεται επάνω από το μέσο όρο των τιμών της. Από έλεγχο συσχέτισης που πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SPSS Statistics (version 17.0) υπολογίστηκε ο συντελεστής R^2 για τα σύνολα δεδομένων k (σκόπευσης) και θερμοκρασίας, ίσος με 0.013. Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης, πληροφορεί ότι οι δύο μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο για περαιτέρω ανάλυση του φαινομένου να υπολογιστούν τιμές k από απλές σκοπεύσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ώστε να διαπιστωθεί η συμπεριφορά των τιμών k σε τιμές θερμοκρασίας μεγαλύτερες των 20°C και ενδεχομένως να προσαρμοστεί στα δεδομένα αυτά κάποια μαθηματική γραμμή ή καμπύλη. Από τα δεδομένα παραπάνω η προσαρμογή γραμμών και καμπυλών που επιχειρήθηκε δεν είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στο επόμενο γράφημα παρουσιάζονται οι μεταβολές των τιμών k συναρτήσει των αυξομειώσεων της πίεσης για το σύνολο των ημερών των μετρήσεων. Να σημειωθεί ότι η ατμοσφαιρική πίεση δεν παρουσίασε αξιοσημείωτες μεταβολές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, όπως φαίνεται παρακάτω.



Γράφημα 5 Διασπορά τιμών k συναρτήσει της ατμοσφαιρικής πίεσης (P)

Από το Γράφημα 8 δεν διακρίνεται κάποια τυπική «συμπεριφορά» των τιμών του συντελεστή k σε σχέση με τις αυξομειώσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης. Μπορεί να σημειωθεί όμως η σύνδεση των ελάχιστων τιμών πίεσης ($P \sim 750 \text{ mmHg}$) με σχετικά χαμηλές τιμές του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης. Η προσαρμογή μαθηματικής γραμμής ή καμπύλης δεν ήταν εφικτή ούτε σε αυτή την περίπτωση. Από αντίστοιχο έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των τιμών του συντελεστή k και των τιμών της πίεσης, υπολογίστηκε συντελεστής $R^2 = 0.139$, ο οποίος δείχνει και σε αυτή την περίπτωση απουσία σχέσης.

Στο επόμενο γράφημα φαίνεται η διασπορά των υπολογισμένων τιμών k σε σχέση με τις τιμές σχετικής υγρασίας (%) που καταγράφηκαν. Οι τιμές αφορούν το σύνολο των ημερών των μετρήσεων.



Γράφημα 6 Διασπορά τιμών k συναρτήσει σχετικής υγρασίας (RH%)

Στην περίπτωση της διερεύνησης του είδους των μεταβολών που παρατηρούνται μεταξύ των τιμών του συντελεστή k και της σχετικής υγρασίας, τα αποτελέσματα δεν διακρίνουν κάποια σαφή συνδιακύμανση, όπως και προηγούμενα. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των συνόλων δεδομένων υπολογίστηκε $R^2 = 0.001$.

4.3 Διερεύνηση της εξάρτησης του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης από επιπλέον ατμοσφαιρικές παραμέτρους

Όλα τα αποτελέσματα της ενότητας 4.2 καθιστούν δύσκολη και επισφαλή την άμεση εκτίμηση των τιμών του συντελεστή k από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Παρόλα αυτά, το πλήθος των παρατηρήσεων (126 παρατηρήσεις), επιτρέπει τον έλεγχο άλλων μορφών σχέσης μεταξύ τους, ο οποίος θα βασίζεται στο σύνολο των τιμών των ατμοσφαιρικών συνθηκών για κάθε χρονική στιγμή και όχι σε κάθε μεταβλητή μεμονωμένα.

Έτσι, επιχειρήθηκε η κατασκευή μίας νέας μεταβλητής η οποία περιγράφει τις επικρατούσες συνθήκες στο πεδίο και αποτελείται από το σύνολο των μεταβλητών που εξετάστηκαν παραπάνω.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Ο τρίτος στόχος της εργασίας περιλαμβάνει την εισαγωγή νέων παραμέτρων στην εξίσωση υπολογισμού του συντελεστή k από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, επομένως οι μεταβλητές της θερμοκρασίας και της πίεσης παραμένουν στην εξίσωση.
- Λόγω της δυσκολίας στον προσδιορισμό της κατακόρυφης μεταβολής της θερμοκρασίας (dT/dH) μεταξύ των σημείων που ορίζουν κάθε φορά την περιοχή μελέτης, η μεταβλητή αυτή απομακρύνθηκε ώστε να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι. Σε περίπτωση που η απουσία της δημιουργούσε νέα προβλήματα στον υπολογισμό του συντελεστή, η μεταβλητή θα εισαγόταν και πάλι στην εξίσωση, κάτι τέτοιο όμως δεν παρατηρήθηκε. Δεδομένης της τιμής που υπολογίστηκε για τον συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των τιμών k και κατακόρυφης θερμοβαθμίδας, $R^2=0.265$, η μεταβλητή αφαιρέθηκε από την εξίσωση.
- Η μεταβλητή της σχετικής υγρασίας (%), συμμετείχε εξ αρχής στην νέα εξίσωση υπολογισμού και αποτελεί την επιπλέον παράμετρο σε σχέση με αυτές της εξίσωσης της θερμοβαθμίδας.

- Η κατασκευή της νέας εξίσωσης που περιγράφεται παρακάτω βασίζεται σε στατιστική μέθοδο εκτίμησης του συντελεστή. Οι μεταβολές του συντελεστή δηλαδή εξαρτώνται από τις τιμές μίας νέας μεταβλητής, η οποία δεν έχει αυστηρή φυσική σημασία, αλλά μπορεί να περιγραφεί σαν ένας συνδυασμός συνθηκών, του οποίου τα αποτελέσματα προσαρμόζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στα δεδομένα. Η ορθότητα εκτίμησης του συντελεστή μέσω της νέας εξίσωσης επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα.

Τα δεδομένα της εργασίας υπέστησαν επεξεργασία στο λογισμικό MSExcel και στο στατιστικό πακέτο επεξεργασίας SPSS Statistics 17.0, ώστε να διερευνηθεί το είδος της σχέσης μεταξύ αυτών και του συντελεστή διάθλασης που προέκυψε από τις μετρήσεις. Μετά από πλήθος δοκιμών, δημιουργήθηκε η μεταβλητή B, όπως περιγράφεται παρακάτω:

$$B = P + 0.86 \cdot T + 0.32 \cdot RH ,$$

όταν έχουν μετρηθεί στο σημείο από το οποίο πραγματοποιούνται οι σκοπεύσεις:

- η ατμοσφαιρική πίεση σε mmHg,
- η θερμοκρασία T σε βαθμούς Κελσίου,
- η σχετική υγρασία RH (%).

Σημειώνεται ότι η μεταβλητή B δεν έχει μονάδες και για τον υπολογισμό της οι μονάδες των επιμέρους μεταβλητών (P, T, RH), δεν λαμβάνονται υπόψη. Για τις τιμές των συντελεστών που τελικά χρησιμοποιήθηκαν, πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές δοκιμές.

Επόμενο στάδιο αποτελεί ο υπολογισμός τιμών για τη μεταβλητή B για κάθε χρονική στιγμή για την οποία αντίστοιχα υπάρχουν τιμές του συντελεστή k από τις απλές σκοπεύσεις. Τα ατμοσφαιρικά δεδομένα είναι αυτά που καταγράφηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό της Αγ. Μαρίνας Νέας Μάκρης. Έτσι, δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας:

k (απλές σκοπεύσεις)	B	k (απλές σκοπεύσεις)	B	k (απλές σκοπεύσεις)	B
0.078	794.28	0.090	794.514	0.076	794.514
0.199	791.045	0.069	793.965	0.079	794.366
0.197	791.217	0.072	793.484	0.093	794.282
0.196	791.217	0.082	793.484	0.104	794.196
0.139	791.338	0.109	793.409	0.085	793.865
0.119	790.598	0.094	793.409	0.079	793.951

0.114	791.608	0.083	793.409	0.092	794.357
0.139	789.688	0.102	793.151	0.094	794.443
0.146	788.838	0.101	793.065	0.097	794.359
0.217	788.838	0.101	793.374	0.107	794.445
0.163	788.679	0.076	793.46	0.093	794.778
0.199	788.593	0.069	793.718	0.096	794.95
0.140	788.913	0.079	793.804	0.095	794.557
0.200	789.085	0.078	793.89	0.082	794.175
0.191	789.01	0.099	793.546	0.080	794.508
0.121	788.275	0.092	793.608	0.080	793.941
0.092	788.202	0.077	793.928	0.086	794.25
0.111	788.202	0.088	793.928	0.087	794.25
0.110	789.113	0.051	793.928	0.090	794.089
0.108	789.973	0.074	793.928	0.087	794.089
0.076	790.588	0.085	794.162	0.069	794.089
0.070	789.948	0.087	794.237	0.084	794.089
0.087	790.058	0.085	794.151	0.070	794.003
0.082	789.738	0.080	794.14	0.078	790.575
0.071	789.429	0.081	794.129	0.078	793.941
0.094	789.343	0.077	794.043	0.080	794.113
0.110	788.778	0.076	794.277	0.068	794.285
0.092	788.31	0.068	794.277	0.081	794.107
0.108	788.31	0.063	794.341	0.087	794.107
0.114	788.63	0.065	794.341	0.102	794.427
0.118	792.001	0.066	794.191	0.109	794.427
0.119	792.001	0.076	794.191	0.103	794.427
0.117	792.151	0.079	794.438	0.107	794.427
0.116	792.151	0.078	794.438	0.119	794.502
0.103	792.546	0.082	794.193	0.117	794.502
0.088	792.546	0.085	794.107	0.118	794.652
0.081	792.301	0.096	793.007	0.117	794.652
0.088	792.387	0.107	793.007	0.119	794.641
0.086	792.462	0.087	793.636	0.103	794.555
0.081	792.462	0.082	793.636	0.110	794.95
0.076	792.698	0.087	794.106	0.116	794.864
0.080	792.698	0.081	794.106	0.118	794.939

Πίνακας 9 Τιμές συντελεστή k και μεταβλητής B για τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές

Μετά τον υπολογισμό των παραπάνω τιμών, ακολούθησε η εισαγωγή τους σε γράφημα διασποράς, ώστε να ανιχνευτεί πιθανή σχέση μεταξύ τους καθώς και το είδος αυτής. Η τελική μορφή της μεταβλητής ορίστηκε όταν ανιχνεύτηκε σαφούς μορφή σχέση μεταξύ των τιμών της και των αντίστοιχων τιμών για το συντελεστή. Η μαθηματική εξίσωση στην οποία προσαρμόστηκαν καλύτερα τα δεδομένα είναι λογαριθμική συνάρτηση της μεταβλητής B.

Η λογαριθμική συνάρτηση είναι:

$$\psi = -6.1343Ln(B) + 41.049 \quad (10)$$

ή

$$\psi = -6.1343Ln(P + 0.86 \cdot T + 0.32 \cdot RH) + 41.049$$

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της στα δεδομένα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Η στήλη k (meteo), αφορά τις τιμές του συντελεστή k από τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας, ενώ η στήλη k (log), τις τιμές που υπολογίστηκαν μέσω της νέας λογαριθμικής εξίσωσης. Οι δύο τελευταίες στήλες πληροφορούν για την αποχή των τιμών που υπολογίζει η κάθε μέθοδος, από τις τιμές των σκοπεύσεων.

Date	time	k (σκόπευσης)	k (meteo)	k(B) log	δk _(κσκολ-kmet)	δk _(κσκολ-kBlog)
25/01	8:44	0.199	0.244	0.113	-0.045	0.087
25/01	8:49	0.197	0.241	0.111	-0.044	0.086
25/01	8:54	0.196	0.241	0.111	-0.046	0.084
25/01	9:09	0.139	0.235	0.110	-0.095	0.029
25/01	9:11	0.119	0.223	0.116	-0.104	0.003
25/01	9:17	0.114	0.212	0.108	-0.098	0.006
25/01	9:23	0.139	0.212	0.123	-0.073	0.016
25/01	9:32	0.146	0.206	0.130	-0.061	0.016
25/01	9:34	0.217	0.206	0.130	0.011	0.087
25/01	9:44	0.163	0.205	0.131	-0.042	0.032
25/01	9:47	0.199	0.206	0.132	-0.008	0.067
25/01	9:50	0.140	0.206	0.129	-0.066	0.011
25/01	9:55	0.200	0.204	0.128	-0.004	0.072
25/01	9:58	0.191	0.204	0.128	-0.014	0.062
26/01	10:15	0.121	0.234	0.134	-0.114	-0.013
26/01	10:20	0.092	0.232	0.135	-0.140	-0.043
26/01	10:25	0.111	0.232	0.135	-0.121	-0.024
26/01	10:30	0.110	0.225	0.128	-0.115	-0.018
26/01	10:35	0.108	0.214	0.121	-0.105	-0.012
26/01	10:40	0.076	0.203	0.116	-0.127	-0.040
26/01	10:45	0.070	0.203	0.121	-0.133	-0.052
26/01	10:50	0.087	0.197	0.120	-0.110	-0.033
26/01	10:55	0.082	0.197	0.123	-0.116	-0.041
26/01	10:55	0.071	0.196	0.125	-0.125	-0.054
26/01	11:00	0.094	0.197	0.126	-0.103	-0.032
26/01	11:05	0.110	0.197	0.130	-0.087	-0.020
26/01	11:10	0.092	0.195	0.134	-0.103	-0.042
26/01	11:15	0.108	0.195	0.134	-0.087	-0.026
26/01	11:20	0.114	0.195	0.131	-0.081	-0.017
27/01	7:50	0.118	0.181	0.105	-0.063	0.013
27/01	7:55	0.119	0.181	0.105	-0.062	0.014
27/01	8:00	0.117	0.181	0.104	-0.064	0.013
27/01	8:05	0.116	0.181	0.104	-0.066	0.012
27/01	8:10	0.103	0.181	0.101	-0.078	0.002
27/01	8:15	0.088	0.181	0.101	-0.094	-0.013
27/01	8:20	0.081	0.181	0.103	-0.100	-0.021
27/01	8:25	0.088	0.180	0.102	-0.092	-0.014
27/01	8:30	0.086	0.180	0.102	-0.094	-0.016
27/01	8:35	0.081	0.180	0.102	-0.099	-0.020
27/01	8:40	0.076	0.179	0.100	-0.103	-0.023
27/01	8:45	0.080	0.179	0.100	-0.099	-0.019

27/01	8:50	0.096	0.180	0.097	-0.084	-0.001
27/01	8:55	0.107	0.180	0.097	-0.073	0.009
27/01	9:00	0.087	0.200	0.093	-0.113	-0.005
27/01	9:05	0.082	0.200	0.093	-0.118	-0.010
27/01	9:10	0.087	0.200	0.089	-0.113	-0.002
27/01	9:15	0.081	0.200	0.089	-0.119	-0.008
27/01	9:20	0.076	0.197	0.086	-0.121	-0.010
27/01	9:25	0.090	0.197	0.086	-0.107	0.004
27/01	9:30	0.078	0.196	0.088	-0.118	-0.010
27/01	9:35	0.079	0.194	0.087	-0.115	-0.008
27/01	9:40	0.093	0.193	0.088	-0.100	0.006
27/01	9:45	0.104	0.194	0.088	-0.090	0.016
27/01	9:50	0.085	0.196	0.091	-0.111	-0.006
27/01	9:55	0.079	0.195	0.090	-0.115	-0.011
27/01	10:00	0.092	0.193	0.087	-0.101	0.005
27/01	10:05	0.094	0.192	0.086	-0.098	0.008
27/01	10:10	0.097	0.191	0.087	-0.095	0.010
27/01	10:15	0.107	0.190	0.086	-0.083	0.021
27/01	10:20	0.093	0.187	0.084	-0.094	0.009
27/01	10:25	0.096	0.184	0.082	-0.088	0.014
27/01	10:30	0.095	0.182	0.085	-0.087	0.009
27/01	10:35	0.082	0.179	0.088	-0.097	-0.006
27/01	10:40	0.080	0.176	0.086	-0.095	-0.006
27/01	10:45	0.080	0.178	0.090	-0.098	-0.011
27/01	10:50	0.086	0.179	0.088	-0.093	-0.002
27/01	10:55	0.087	0.179	0.088	-0.092	-0.001
27/01	11:00	0.090	0.180	0.089	-0.090	0.001
27/01	11:05	0.087	0.180	0.089	-0.093	-0.002
27/01	11:10	0.069	0.180	0.089	-0.111	-0.020
27/01	11:15	0.084	0.180	0.089	-0.096	-0.005
27/01	11:20	0.070	0.181	0.090	-0.112	-0.020
27/01	11:25	0.078	0.178	0.116	-0.100	-0.038
27/01	11:30	0.078	0.178	0.090	-0.100	-0.012
27/01	11:35	0.080	0.176	0.089	-0.096	-0.009
27/01	11:40	0.068	0.173	0.088	-0.105	-0.019
27/01	11:45	0.069	0.173	0.090	-0.104	-0.021
27/01	11:50	0.072	0.174	0.094	-0.103	-0.022
27/01	11:55	0.082	0.174	0.094	-0.092	-0.011
27/01	12:00	0.109	0.183	0.094	-0.074	0.015
27/01	12:10	0.094	0.183	0.094	-0.090	-0.001
27/01	12:15	0.083	0.183	0.094	-0.100	-0.011
27/01	12:20	0.102	0.187	0.096	-0.084	0.006
27/01	12:25	0.101	0.188	0.097	-0.086	0.004
27/01	12:30	0.101	0.189	0.095	-0.087	0.007
27/01	12:35	0.076	0.188	0.094	-0.111	-0.018
27/01	12:40	0.069	0.184	0.092	-0.115	-0.023
27/01	12:45	0.079	0.183	0.091	-0.104	-0.012
27/01	12:50	0.078	0.182	0.091	-0.104	-0.012
27/01	12:55	0.099	0.187	0.093	-0.087	0.006
27/01	13:00	0.092	0.190	0.093	-0.098	-0.001
27/01	13:05	0.077	0.190	0.090	-0.113	-0.013
27/01	13:10	0.088	0.190	0.090	-0.102	-0.003
27/01	13:15	0.051	0.190	0.090	-0.139	-0.039

27/01	13:20	0.074	0.190	0.090	-0.116	-0.016
27/01	13:25	0.085	0.191	0.089	-0.106	-0.003
27/01	13:30	0.087	0.191	0.088	-0.104	-0.001
27/01	13:35	0.085	0.192	0.089	-0.107	-0.004
27/01	13:40	0.080	0.193	0.089	-0.114	-0.009
27/01	13:50	0.081	0.195	0.089	-0.114	-0.008
27/01	13:55	0.077	0.196	0.089	-0.119	-0.012
27/01	14:00	0.076	0.197	0.088	-0.121	-0.012
27/01	14:05	0.068	0.197	0.088	-0.129	-0.020
27/01	14:10	0.063	0.198	0.087	-0.135	-0.024
27/01	14:15	0.065	0.198	0.087	-0.133	-0.022
27/01	14:20	0.066	0.198	0.088	-0.132	-0.022
27/01	14:25	0.076	0.198	0.088	-0.122	-0.012
27/01	14:30	0.079	0.196	0.086	-0.117	-0.007
27/01	14:35	0.078	0.196	0.086	-0.117	-0.008
27/01	14:40	0.082	0.196	0.088	-0.113	-0.006
27/01	14:45	0.085	0.197	0.089	-0.112	-0.004
27/01	14:50	0.081	0.197	0.089	-0.116	-0.008
27/01	14:55	0.087	0.197	0.089	-0.110	-0.002
27/01	15:00	0.102	0.180	0.086	-0.078	0.016
27/01	15:05	0.109	0.180	0.086	-0.071	0.023
27/01	15:10	0.103	0.180	0.086	-0.077	0.016
27/01	15:15	0.107	0.180	0.086	-0.073	0.021
27/01	15:20	0.119	0.180	0.086	-0.061	0.033
27/01	15:25	0.117	0.180	0.086	-0.063	0.031
27/01	15:30	0.118	0.180	0.085	-0.061	0.034
27/01	15:35	0.117	0.180	0.085	-0.063	0.032
27/01	15:40	0.119	0.181	0.085	-0.062	0.034
27/01	15:45	0.103	0.182	0.085	-0.079	0.017
27/01	15:50	0.110	0.182	0.082	-0.072	0.028
27/01	15:55	0.116	0.183	0.083	-0.068	0.032
27/01	16:00	0.118	0.183	0.083	-0.065	0.035

Πίνακας 10 Τιμές k από μεθοδολογίες: απλών σκοπεύσεων – k (σκόπευσης), θερμοβαθμίδας – k (meteo), νέας λογαριθμικής εξίσωσης – k (log) και σχετική σύγκριση

Παρατηρείται ότι από τη λογαριθμική προσέγγιση, οι υπολογισμένες τιμές του συντελεστή έχουν μικρότερη απόκλιση από τις πραγματικές σε σχέση με αυτές της εξίσωσης της θερμοβαθμίδας 119 από τις 126 στιγμές που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις (σκιασμένα κελιά στον Πίνακα 11).

Η λογαριθμική συνάρτηση, σαν μέθοδος εκτίμησης του συντελεστή k, χαρακτηρίζεται από τυπική απόκλιση: $sk_{\log}=0.026$ σε σχέση με τις τιμές του συντελεστή που προέκυψαν από τις σκοπεύσεις.

Οι προσεγγίσεις που απορρίφθηκαν λόγω καλύτερης προσαρμογής των αποτελεσμάτων της λογαριθμικής εξίσωσης στα δεδομένα είναι:

- γραμμική, με εξίσωση ευθείας: $\psi = -0.0077 \cdot B + 6.2414$, με χρήση της μεταβλητής B, όπως έχει οριστεί παραπάνω,

- εκθετική, με εξίσωση: $\psi = 2 \cdot 10^{21} \cdot e^{-0.0646B}$,
- πολωνυμική β' βαθμού, με χρήση της μεταβλητής B και μορφή:
 $\psi = 0.0004 \cdot B^2 - 0.7182 \cdot B + 287.46$. Η προσαρμογή της στα δεδομένα δεν ήταν καθόλου ικανοποιητική, με αποτελέσματα εκτίμησης του συντελεστή της τάξης k=-30, τιμή που βρίσκεται κατά πολύ εκτός του εύρους των αναμενόμενων τιμών.

Οι διαφορές μεταξύ της γραμμικής προσέγγισης (k linear), της εκθετικής (k εκθ) οι οποίες και απορρίφθηκαν και της λογαριθμικής k (log) που επιλέχθηκε σαν καλύτερη, φαίνονται χαρακτηριστικά στον επόμενο πίνακα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι και οι τρεις προσεγγίσεις k (log), k (εκθ) και k (linear) που επιχειρήθηκαν, βελτιώνουν σημαντικά τις τιμές του συντελεστή και προσεγγίζουν αυτές της σκόπευσης k (σκόπευσης) σε μεγαλύτερο βαθμό από αυτές που υπολογίζονται από τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας k (meteo). Τα σκιασμένα κελιά αφορούν τις μικρότερες διαφορές από την τιμή του συντελεστή της σκόπευσης και ταυτόχρονα καταδεικνύουν την καλύτερη μέθοδο. Η διαφορά της προτεινόμενης λογαριθμικής συνάρτησης έναντι των δύο εναλλακτικών που επιχειρήθηκαν έγκειται στη μικρότερη διαφορά που παρουσιάζει με τις τιμές της σκόπευσης σε 86 περιπτώσεις.

Date	time	k (σκόπευσης)	k (meteo)	k (Blin)	k (εκθ)	k (B- log)	δk (κσκοπ- kBlnear)	δk (κσκοπ- kBεκθ)	δk (κσκοπ- kBlog)
25/01	8:44	0.199	0.244	0.150	0.128	0.113	0.049	0.071	0.087
	8:49	0.197	0.241	0.149	0.127	0.111	0.048	0.070	0.086
	8:54	0.196	0.241	0.149	0.127	0.111	0.047	0.069	0.084
	9:09	0.139	0.235	0.148	0.126	0.110	-0.009	0.013	0.029
	9:11	0.119	0.223	0.154	0.132	0.116	-0.035	-0.013	0.003
	9:17	0.114	0.212	0.146	0.124	0.108	-0.032	-0.010	0.006
	9:23	0.139	0.212	0.161	0.140	0.123	-0.022	-0.001	0.016
	9:32	0.146	0.206	0.167	0.148	0.130	-0.022	-0.002	0.016
	9:34	0.217	0.206	0.167	0.148	0.130	0.050	0.069	0.087
	9:44	0.163	0.205	0.169	0.149	0.131	-0.005	0.014	0.032
	9:47	0.199	0.206	0.169	0.150	0.132	0.029	0.048	0.067
	9:50	0.140	0.206	0.167	0.147	0.129	-0.027	-0.007	0.011
	9:55	0.200	0.204	0.165	0.146	0.128	0.035	0.054	0.072
	9:58	0.191	0.204	0.166	0.146	0.128	0.025	0.044	0.062
26/01	10:15	0.121	0.234	0.172	0.153	0.134	-0.051	-0.033	-0.013
	10:20	0.092	0.232	0.172	0.154	0.135	-0.081	-0.062	-0.043
	10:25	0.111	0.232	0.172	0.154	0.135	-0.061	-0.043	-0.024
	10:30	0.110	0.225	0.165	0.145	0.128	-0.056	-0.036	-0.018
	10:35	0.108	0.214	0.159	0.137	0.121	-0.050	-0.029	-0.012
	10:40	0.076	0.203	0.154	0.132	0.116	-0.078	-0.056	-0.040
	10:45	0.070	0.203	0.159	0.138	0.121	-0.089	-0.068	-0.052
	10:50	0.087	0.197	0.158	0.137	0.120	-0.071	-0.050	-0.033

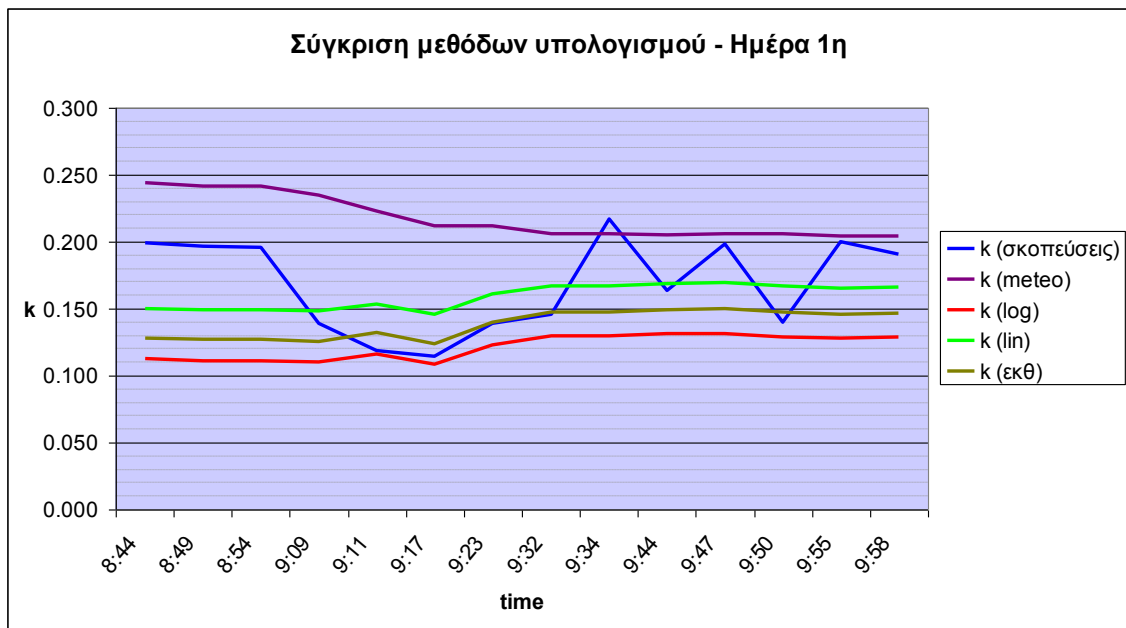
	10:55	0.082	0.197	0.160	0.140	0.123	-0.079	-0.058	-0.041
	10:55	0.071	0.196	0.163	0.142	0.125	-0.091	-0.071	-0.054
	11:00	0.094	0.197	0.163	0.143	0.126	-0.069	-0.049	-0.032
	11:05	0.110	0.197	0.168	0.148	0.130	-0.058	-0.038	-0.020
	11:10	0.092	0.195	0.171	0.153	0.134	-0.080	-0.061	-0.042
	11:15	0.108	0.195	0.171	0.153	0.134	-0.063	-0.045	-0.026
	11:20	0.114	0.195	0.169	0.150	0.131	-0.054	-0.035	-0.017
27/01	7:50	0.118	0.181	0.143	0.121	0.105	-0.025	-0.002	0.013
	7:55	0.119	0.181	0.143	0.121	0.105	-0.024	-0.001	0.014
	8:00	0.117	0.181	0.142	0.119	0.104	-0.025	-0.003	0.013
	8:05	0.116	0.181	0.142	0.119	0.104	-0.026	-0.004	0.012
	8:10	0.103	0.181	0.139	0.116	0.101	-0.036	-0.013	0.002
	8:15	0.088	0.181	0.139	0.116	0.101	-0.051	-0.029	-0.013
	8:20	0.081	0.181	0.141	0.118	0.103	-0.059	-0.037	-0.021
	8:25	0.088	0.180	0.140	0.118	0.102	-0.052	-0.030	-0.014
	8:30	0.086	0.180	0.139	0.117	0.102	-0.054	-0.031	-0.016
	8:35	0.081	0.180	0.139	0.117	0.102	-0.058	-0.036	-0.020
	8:40	0.076	0.179	0.138	0.115	0.100	-0.061	-0.039	-0.023
	8:45	0.080	0.179	0.138	0.115	0.100	-0.057	-0.035	-0.019
	8:50	0.096	0.180	0.135	0.113	0.097	-0.039	-0.017	-0.001
	8:55	0.107	0.180	0.135	0.113	0.097	-0.028	-0.006	0.009
	9:00	0.087	0.200	0.130	0.108	0.093	-0.043	-0.021	-0.005
	9:05	0.082	0.200	0.130	0.108	0.093	-0.048	-0.026	-0.010
	9:10	0.087	0.200	0.127	0.105	0.089	-0.040	-0.018	-0.002
	9:15	0.081	0.200	0.127	0.105	0.089	-0.046	-0.024	-0.008
	9:20	0.076	0.197	0.124	0.102	0.086	-0.048	-0.027	-0.010
	9:25	0.090	0.197	0.124	0.102	0.086	-0.034	-0.013	0.004
	9:30	0.078	0.196	0.125	0.104	0.088	-0.048	-0.026	-0.010
	9:35	0.079	0.194	0.125	0.103	0.087	-0.045	-0.024	-0.008
	9:40	0.093	0.193	0.125	0.104	0.088	-0.032	-0.011	0.006
	9:45	0.104	0.194	0.126	0.105	0.088	-0.022	0.000	0.016
	9:50	0.085	0.196	0.129	0.107	0.091	-0.044	-0.022	-0.006
	9:55	0.079	0.195	0.128	0.106	0.090	-0.049	-0.027	-0.011
	10:00	0.092	0.193	0.125	0.104	0.087	-0.033	-0.011	0.005
	10:05	0.094	0.192	0.124	0.103	0.086	-0.030	-0.009	0.008
	10:10	0.097	0.191	0.125	0.104	0.087	-0.028	-0.007	0.010
	10:15	0.107	0.190	0.124	0.103	0.086	-0.017	0.004	0.021
	10:20	0.093	0.187	0.122	0.101	0.084	-0.029	-0.008	0.009
	10:25	0.096	0.184	0.120	0.100	0.082	-0.024	-0.003	0.014
	10:30	0.095	0.182	0.123	0.102	0.085	-0.028	-0.007	0.009
	10:35	0.082	0.179	0.126	0.105	0.088	-0.044	-0.023	-0.006
	10:40	0.080	0.176	0.124	0.103	0.086	-0.043	-0.022	-0.006
	10:45	0.080	0.178	0.128	0.106	0.090	-0.048	-0.027	-0.011
	10:50	0.086	0.179	0.126	0.104	0.088	-0.039	-0.018	-0.002
	10:55	0.087	0.179	0.126	0.104	0.088	-0.039	-0.018	-0.001
	11:00	0.090	0.180	0.127	0.105	0.089	-0.037	-0.015	0.001
	11:05	0.087	0.180	0.127	0.105	0.089	-0.040	-0.019	-0.002
	11:10	0.069	0.180	0.127	0.105	0.089	-0.058	-0.037	-0.020
	11:15	0.084	0.180	0.127	0.105	0.089	-0.043	-0.022	-0.005
	11:20	0.070	0.181	0.128	0.106	0.090	-0.058	-0.036	-0.020
	11:25	0.078	0.178	0.154	0.132	0.116	-0.076	-0.054	-0.038
	11:30	0.078	0.178	0.128	0.106	0.090	-0.050	-0.028	-0.012
	11:35	0.080	0.176	0.127	0.105	0.089	-0.047	-0.025	-0.009
	11:40	0.068	0.173	0.125	0.104	0.088	-0.057	-0.036	-0.019
	11:45	0.069	0.173	0.128	0.106	0.090	-0.059	-0.037	-0.021
	11:50	0.072	0.174	0.132	0.110	0.094	-0.060	-0.038	-0.022
	11:55	0.082	0.174	0.132	0.110	0.094	-0.049	-0.027	-0.011
	12:00	0.109	0.183	0.132	0.110	0.094	-0.023	-0.001	0.015

12:10	0.094	0.183	0.132	0.110	0.094	-0.038	-0.016	-0.001
12:15	0.083	0.183	0.132	0.110	0.094	-0.049	-0.027	-0.011
12:20	0.102	0.187	0.134	0.112	0.096	-0.032	-0.010	0.006
12:25	0.101	0.188	0.135	0.113	0.097	-0.033	-0.011	0.004
12:30	0.101	0.189	0.132	0.110	0.095	-0.031	-0.009	0.007
12:35	0.076	0.188	0.132	0.110	0.094	-0.055	-0.033	-0.018
12:40	0.069	0.184	0.130	0.108	0.092	-0.061	-0.039	-0.023
12:45	0.079	0.183	0.129	0.107	0.091	-0.050	-0.028	-0.012
12:50	0.078	0.182	0.128	0.107	0.091	-0.050	-0.028	-0.012
12:55	0.099	0.187	0.131	0.109	0.093	-0.032	-0.010	0.006
13:00	0.092	0.190	0.131	0.109	0.093	-0.039	-0.017	-0.001
13:05	0.077	0.190	0.128	0.106	0.090	-0.051	-0.029	-0.013
13:10	0.088	0.190	0.128	0.106	0.090	-0.041	-0.019	-0.003
13:15	0.051	0.190	0.128	0.106	0.090	-0.077	-0.055	-0.039
13:20	0.074	0.190	0.128	0.106	0.090	-0.054	-0.033	-0.016
13:25	0.085	0.191	0.126	0.105	0.089	-0.041	-0.020	-0.003
13:30	0.087	0.191	0.126	0.104	0.088	-0.039	-0.018	-0.001
13:35	0.085	0.192	0.126	0.105	0.089	-0.042	-0.020	-0.004
13:40	0.080	0.193	0.127	0.105	0.089	-0.047	-0.025	-0.009
13:50	0.081	0.195	0.127	0.105	0.089	-0.046	-0.024	-0.008
13:55	0.077	0.196	0.127	0.106	0.089	-0.050	-0.029	-0.012
14:00	0.076	0.197	0.125	0.104	0.088	-0.049	-0.028	-0.012
14:05	0.068	0.197	0.125	0.104	0.088	-0.058	-0.036	-0.020
14:10	0.063	0.198	0.125	0.104	0.087	-0.062	-0.041	-0.024
14:15	0.065	0.198	0.125	0.104	0.087	-0.060	-0.039	-0.022
14:20	0.066	0.198	0.126	0.105	0.088	-0.060	-0.039	-0.022
14:25	0.076	0.198	0.126	0.105	0.088	-0.050	-0.029	-0.012
14:30	0.079	0.196	0.124	0.103	0.086	-0.045	-0.024	-0.007
14:35	0.078	0.196	0.124	0.103	0.086	-0.046	-0.025	-0.008
14:40	0.082	0.196	0.126	0.105	0.088	-0.044	-0.022	-0.006
14:45	0.085	0.197	0.127	0.105	0.089	-0.042	-0.020	-0.004
14:50	0.081	0.197	0.127	0.105	0.089	-0.046	-0.025	-0.008
14:55	0.087	0.197	0.127	0.105	0.089	-0.040	-0.019	-0.002
15:00	0.102	0.180	0.124	0.103	0.086	-0.022	-0.001	0.016
15:05	0.109	0.180	0.124	0.103	0.086	-0.015	0.006	0.023
15:10	0.103	0.180	0.124	0.103	0.086	-0.021	0.000	0.016
15:15	0.107	0.180	0.124	0.103	0.086	-0.017	0.004	0.021
15:20	0.119	0.180	0.124	0.103	0.086	-0.005	0.016	0.033
15:25	0.117	0.180	0.124	0.103	0.086	-0.007	0.014	0.031
15:30	0.118	0.180	0.123	0.102	0.085	-0.004	0.017	0.034
15:35	0.117	0.180	0.123	0.102	0.085	-0.006	0.015	0.032
15:40	0.119	0.181	0.123	0.102	0.085	-0.004	0.017	0.034
15:45	0.103	0.182	0.123	0.102	0.085	-0.020	0.001	0.017
15:50	0.110	0.182	0.120	0.100	0.082	-0.010	0.011	0.028
15:55	0.116	0.183	0.121	0.100	0.083	-0.005	0.015	0.032
16:00	0.118	0.183	0.120	0.100	0.083	-0.002	0.018	0.035

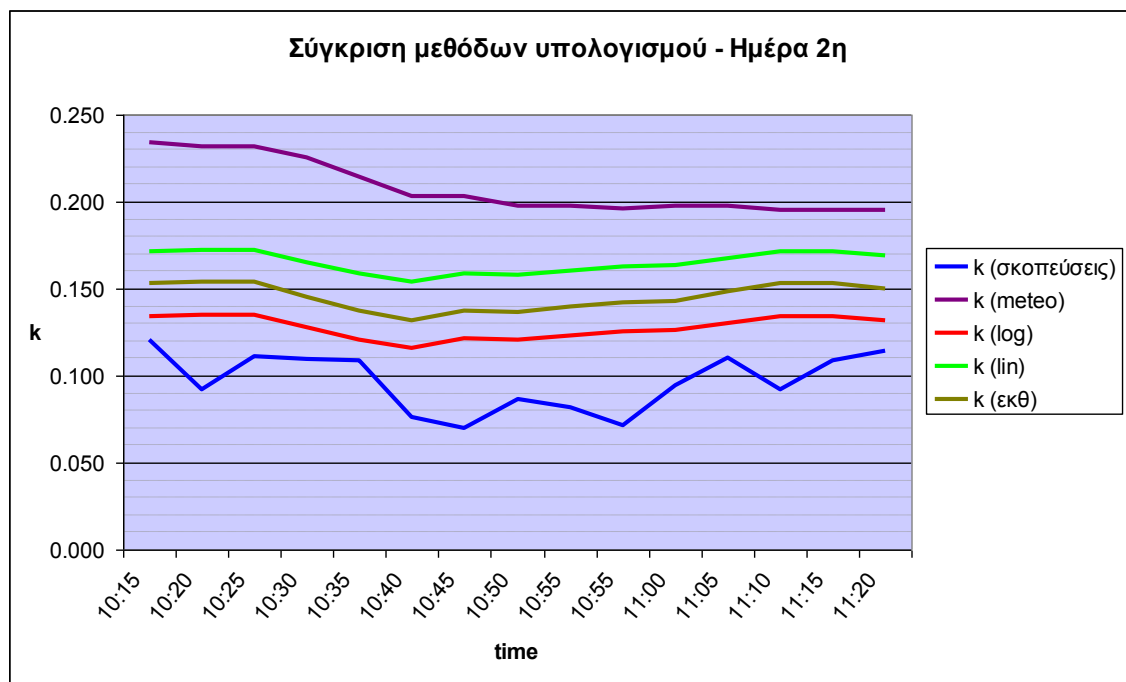
Πίνακας 11 Τιμές k από μεθοδολογίες: απλών σκοπεύσεων – k (σκόπευσης), θερμοβαθμίδας – k (meteo), γραμμικής προσέγγισης – k (linear), εκθετικής προσέγγισης (k εκθ), λογαριθμικής προσέγγισης – k (log), νέας γραμμικής εξίσωσης και σχετική σύγκριση

Για να πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ των τριών εξισώσεων εκτίμησης και των πραγματικών τιμών του συντελεστή, κατασκευάστηκε το παρακάτω γράφημα.

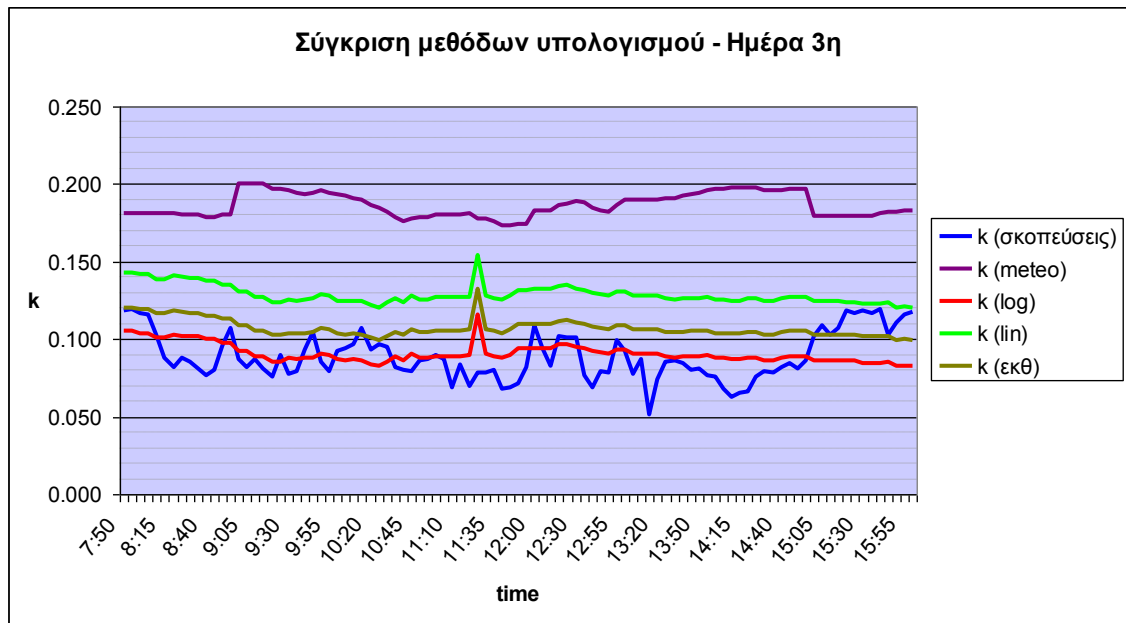
Παρουσιάζονται οι τρεις εξισώσεις (αντιστοιχούν σε κάθε διαφορετική μεθοδολογία) και αναπαριστούν τις τιμές του συντελεστή για την 1^η, 2^η και 3^η ημέρα των μετρήσεων.



Γράφημα 7 Αποτελέσματα από τις μεθόδους υπολογισμού για την 1^η ημέρα μετρήσεων



Γράφημα 8 Αποτελέσματα από τις μεθόδους υπολογισμού για τη 2^η ημέρα μετρήσεων



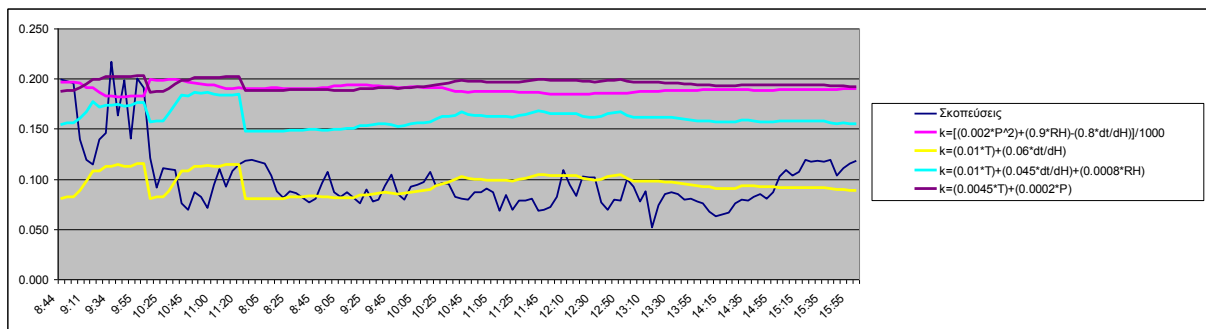
Γράφημα 9 Αποτελέσματα από τις μεθόδους υπολογισμού για την 3^η ημέρα μετρήσεων

Φαίνεται ότι τα αποτελέσματα για τον συντελεστή από τη νέα εξίσωση βρίσκονται πολύ πιο κοντά σε αυτά του συντελεστή στην πραγματικότητα από ότι αυτά που υπολογίστηκαν από τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας, όπως και από τις τιμές των υπόλοιπων εξισώσεων εκτίμησης. Οι περιπτώσεις στις οποίες οι τιμές που υπολογίζει η γραμμική προσέγγιση είναι καλύτερες, αφορούν κυρίως την 1^η ημέρα μετρήσεων. Το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να αξιολογηθεί, λόγω των ομοιοτήτων που παρουσίαζαν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες την 1^η ημέρα με τις επόμενες. Επίσης, κατά τις ίδιες ώρες επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις την 3^η ημέρα, όπου δεν παρατηρήθηκε καλύτερη προσαρμογή της γραμμικής εξίσωσης. Η ερμηνεία που μπορεί να προσεγγίζει την πραγματικότητα, αφού διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες δεν παρατηρήθηκαν, είναι σχετική με την αξιοπιστία των συγκεκριμένων σκοπεύσεων. Λόγω του μεγάλου μήκους της σκόπευσης και της μη – εξοικείωσης του παρατηρητή από την πρώτη στιγμή με τις συνθήκες αυτής της σκόπευσης, υπάρχει περίπτωση να ευθύνεται η τιμή του συντελεστή που προέκυψε από τις μετρήσεις. Το ενδεχόμενο αυτό ισχυροποιεί η καλύτερη προσαρμογή των τιμών της εκθετικής συνάρτησης στις πρώτες μετρήσεις της 3^{ης} ημέρας. Κάτι παρόμοιο ενδεχομένως να ισχύει και στο τέλος της 3^{ης} ημέρας των μετρήσεων, όπου παρατηρείται συστηματικά οι τιμές της εκθετικής εξίσωσης να προσεγγίζουν καλύτερα αυτές της σκόπευσης. Λόγω των πολύωρων μετρήσεων και της κούρασης του παρατηρητή υπάρχει περίπτωση οι τελευταίες αυτές σκοπεύσεις να μην είναι το ίδιο αξιόπιστες με τις προηγούμενες.

Τέλος, επιχειρήθηκε η απομάκρυνση του όρου B και η εκτίμηση των τιμών του συντελεστή με τη χρήση των τιμών των ατμοσφαιρικών παραμέτρων σαν μεμονωμένες μεταβλητές. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών έδειξαν ότι ο συντελεστής μπορεί να εκτιμηθεί επίσης σαν συνάρτηση των εξής συνόλων δεδομένων με τις ακόλουθες εξισώσεις αντίστοιχα:

- $P, RH, dT/dH \rightarrow k = [(0.002 \cdot P^2) + (0.9 \cdot RH) - (0.8 \cdot (dT/dH))] \cdot 10^{-3}$
- $T, dT/dH \rightarrow k = (0.01 \cdot T) + (0.06 \cdot (dT/dH))$
- $T, dT/dH, RH \rightarrow k = (0.01 \cdot T) + (0.045 \cdot (dT/dH)) + (0.0008 \cdot RH)$
- $T, P \rightarrow k = (0.0045 \cdot T) + (0.0002 \cdot P)$

Οι κλίμακες μέτρησης στις οποίες αναφέρονται τα παραπάνω μεγέθη είναι: η κλίμακα Κελσίου για τη θερμοκρασία, η πίεση σε mmHg και η σχετική υγρασία επί τοις εκατό. Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζονται τα αποτελέσματα εκτίμησης των τιμών του συντελεστή από κάθε εξίσωση σε σύγκριση με τις τιμές που προέκυψαν από τις απλές σκοπεύσεις.



Γράφημα 10 Σύγκριση τιμών k από εναλλακτικές εξισώσεις εκτίμησης με τις τιμές των απλών σκοπεύσεων

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 10, οι τιμές για το συντελεστή που υπολογίζονται μέσω της εξίσωσης που χρησιμοποιεί την τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας και την τιμή της θερμοκρασίας είναι αυτές που πλησιάζουν περισσότερο τις πραγματικές τιμές του με μέση απόκλιση ίση με 0.022. Έτσι, η εξίσωση αυτή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο σύγκρισης με τις εξισώσεις που υπολογίστηκαν προηγούμενα στο πλαίσιο των συμπερασμάτων της εργασίας.

4.4 Έλεγχος αποτελεσμάτων νέας εξίσωσης από επιπλέον δεδομένα

Σε αυτό το σημείο κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν ορισμένοι έλεγχοι χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν για αυτό το σκοπό. Τα δεδομένα αυτά αφορούν:

- τιμές για την περιοχή της Ραφήνας από μοντέλο πρόγνωσης της Ομάδα Δυναμικής της Ατμόσφαιρας και του Κλίματος του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, για τις ημέρες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις,
- τιμές για την περιοχή του Αιγάλεω Αττικής, από μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στο ΤΕΙ Αθήνας και λειτουργεί με ευθύνη του Εργαστηρίου Γεωδαισίας – Τοπογραφίας,
- τιμές για την περιοχή των Σπατών, κατά τη διάρκεια πολύ ζεστής καλοκαιρινής ημέρας (Αύγουστος 2012),
- τιμές για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας, κατά τη διάρκεια πολύ ζεστής καλοκαιρινής ημέρας (Αύγουστος 2012).

Τα δεδομένα για την περιοχή της Ραφήνας αφορούν τις ημέρες και ώρες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές και εισάγοντάς τις στην νέα εξίσωση υπολογισμού, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

date	time	k (B – προγνωστικά)	k (σκοπεύσεις)	k (meteo)	k (B-log)
27/01	09:00	0.139	0.087	0.200	0.093
	12:00	0.132	0.109	0.183	0.094
	15:00	0.128	0.102	0.180	0.086

Πίνακας 12 Σύγκριση τιμών k από προγνωστικά δεδομένα και χρήση της νέας εξίσωσης

Όπως φαίνεται, οι τιμές που έχουν τη μικρότερη διαφορά από τις πραγματικές τιμές του συντελεστή (k απλών σκοπεύσεων) είναι αυτές της νέας εξίσωσης με χρήση των δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό της Αγ. Μαρίνας Νέας Μάκρης, και όχι με τη χρήση προγνωστικών δεδομένων. Παρατηρείται όμως ότι ελλείπει καταγεγραμμένων ατμοσφαιρικών δεδομένων, η χρήση προγνωστικών δεδομένων και της νέας εξίσωσης οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα σχετικά με την εξίσωση της θερμοβαθμίδας.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για την 14^η Φεβ. 2013 και όλη τη διάρκεια της ημέρας για την περιοχή του Αιγάλεω. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 11 Εκτίμηση του συντελεστή από τη νέα εξίσωση (περιοχή Αιγάλεω, 14/02/2013)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και οι ακριβείς τιμές του συντελεστή παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.

Ωρα	T (C)	P (mmHg)	RH (%)	k
0:00	14.40	756.45	66.20	0.121
1:00	13.60	756.30	68.40	0.122
2:00	12.70	755.93	67.10	0.134
3:00	14.40	756.07	62.00	0.134
4:00	11.20	755.32	78.70	0.120
5:00	11.70	755.18	80.40	0.113
6:00	13.40	754.65	70.30	0.131
7:00	12.00	754.35	79.80	0.119
8:00	10.50	754.35	80.90	0.126
9:00	11.60	754.13	78.60	0.127
10:00	12.30	753.97	74.10	0.134
11:00	12.90	753.75	70.70	0.140
12:00	12.50	753.53	78.80	0.125
13:00	10.90	752.93	78.70	0.140
14:00	12.10	752.10	78.60	0.139
15:00	11.70	751.88	78.30	0.144
16:00	10.90	751.57	81.50	0.144
17:00	10.50	751.35	79.00	0.155
18:00	10.30	751.28	81.30	0.151
19:00	9.60	751.28	82.70	0.152
20:00	9.50	751.20	83.10	0.152
21:00	10.20	751.20	79.60	0.156
22:00	11.70	751.35	76.50	0.153

Πίνακας 13 Εκτιμώμενες τιμές k (Δεδομένα: Αιγάλεω, 14/02/2013)

Ο τελευταίος έλεγχος αφορά τον υπολογισμό τιμών για το συντελεστή για τον Αύγουστο του 2012, από δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού των Σπατών. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε προκειμένου να διαπιστωθεί η συμπεριφορά των τιμών του, για δεδομένα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι τιμές που υπολογίστηκαν δίνονται στο Γράφημα 12 και στον Πίνακα 12, στον οποίο περιλαμβάνονται και οι τιμές των ατμοσφαιρικών παραμέτρων.



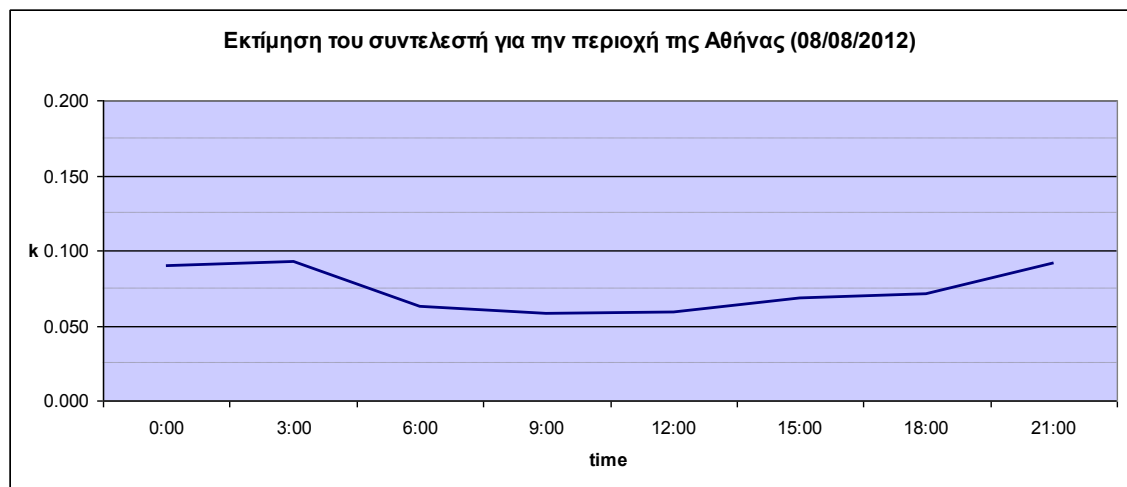
Γράφημα 12 Εκτίμηση του συντελεστή και των μεταβολών του από τη νέα εξίσωση (περιοχή Σπάτων, 08/08/2012)

Ωρα	T (C)	P (mmHg)	RH (%)	k
00.00	30.18	759.15	28.64	0.088
03.00	28.84	758.97	32.64	0.088
06.00	33.61	759.33	29.03	0.063
09.00	34.36	759.79	29.53	0.053
12.00	35.74	759.44	25.48	0.056
15.00	33.34	759.18	34.11	0.053
18.00	28.25	759.35	48.83	0.049
21.00	28.35	759.27	37.74	0.076

Πίνακας 14 Εκτιμώμενες τιμές k σε συνθήκες καλοκαιριού (Δεδομένα: Σπάτα, 08/08/2012)

Το επόμενο γράφημα αφορά τον υπολογισμό τιμών του συντελεστή κατά τη διάρκεια της 8^{ης} Αυγ. 2012, από δεδομένα για το κέντρο της Αθήνας. Παρατηρείται ότι οι μεταβολές που παρουσιάζουν οι τιμές την ίδια μέρα, στις δύο διαφορετικές περιοχές της

Αττικής, έχουν αρκετά κοινά στοιχεία, με πιο χαρακτηριστικές τις στιγμές που εμφανίζουν μέγιστα και ελάχιστα.



Γράφημα 13 Εκτίμηση του συντελεστή και των μεταβολών του από τη νέα εξίσωση (περιοχή Αθήνας - κέντρο, 08/08/2012)

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται οι τιμές που υπολογίστηκαν και οι αντίστοιχες ατμοσφαιρικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα.

Ωρα	T (C)	P (mmHg)	RH (%)	k
00.00	30.23	759.17	27.73	0.089
03.00	27.98	759.10	32.8	0.092
06.00	33.6	759.29	29.35	0.062
09.00	37.18	759.46	20.85	0.058
12.00	39.46	759.00	15.93	0.058
15.00	38.68	758.63	15.13	0.068
18.00	33.31	759.05	27.42	0.070
21.00	30.03	759.05	27.94	0.091

Πίνακας 15 Εκτιμώμενες τιμές k σε συνθήκες καλοκαιριού (Δεδομένα: Αθήνα - κέντρο, 08/08/2012)

5^ο Κεφάλαιο: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων, συμπεράσματα και προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σύνοψη όσων παρατηρήθηκαν παραπάνω και αξιολογούνται τα σημαντικότερα αποτελέσματα της εργασίας. Σύμφωνα με όσα είχαν οριστεί στην αρχή της εργασίας, η πρώτη επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε είχε σαν στόχο τον υπολογισμό τιμών του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης με χρήση της μεθόδου των απλών σκοπεύσεων καθώς και με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας.

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει αρκετά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ του υπολογισμένου συντελεστή από τις σκοπεύσεις και του συντελεστή που εκτιμάται μέσω της εξίσωσης της θερμοβαθμίδας. Οι εκτιμώμενες τιμές είχαν συστηματική υπερεκτίμηση των τιμών του συντελεστή ενώ το εύρος τους πολύ μικρότερο απ' ότι στην πραγματικότητα. Παρατηρήθηκε επίσης πολύ μικρή «ευαισθησία» του συντελεστή όπως υπολογίζεται από την εξίσωση της θερμοβαθμίδας, παρά τις αυξομειώσεις που σημειώνονται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Πρέπει να σημειωθεί ότι η δυνατότητα διεξαγωγής αμοιβαίων σκοπεύσεων και ο υπολογισμός τιμών του συντελεστή μέσω αυτής της μεθοδολογίας ενδέχεται να ισχυροποιούσε σε μεγαλύτερο βαθμό το εύρημα αυτό. Η εφαρμογή της δεν ήταν δυνατή στο πλαίσιο της εργασίας λόγω του πολύ υψηλών προδιαγραφών τοπογραφικού εξοπλισμού που απαιτείται, της συμμετοχής συνεργείου μετρήσεων τουλάχιστον τριών ατόμων και δύο κατάλληλων οχημάτων για τη μεταφορά των οργάνων και των παρατηρητών και τέλος, του υψηλού κόστους που έχει μία τέτοια διαδικασία.

Επόμενος στόχος της εργασίας ήταν η διερεύνηση της μεταβολής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης σε σχέση με τις μεταβολές που σημειώνονται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Με βάση τους συντελεστές συσχέτισης που υπολογίστηκαν, ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης παρουσίασε περιορισμένη συμμεταβολή με την ατμοσφαιρική θερμοκρασία, υγρασία και πίεση.

Τα ουσιαστικότερα συμπεράσματα της εργασίας προκύπτουν από τον τελευταίο στόχο που είχε διατυπωθεί και αφορά την εισαγωγή νέων παραμέτρων και την κατασκευή νέας εξίσωσης που θα προσαρμόζεται με καλύτερο τρόπο στις δεδομένες τιμές του συντελεστή για την περιοχή μελέτης.

Η νέα μεταβλητή B που δημιουργήθηκε ώστε να χρησιμοποιηθεί στη συνάρτηση υπολογισμού περιλαμβάνει τις μεταβλητές της θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της σχετικής υγρασίας. Η μεταβλητή χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να υπολογιστεί η μαθηματική γραμμή ή καμπύλη που θα προσαρμοζόταν με τον καλύτερο τρόπο στα δεδομένα της εργασίας. Μετά από δοκιμές, οι τρεις εξισώσεις που βελτίωναν σημαντικά τα αποτελέσματα του συντελεστή σε σχέση με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας ήταν η γραμμική, η εκθετική και η λογαριθμική. Μεταξύ των τριών επιλέχθηκε η λογαριθμική εξίσωση, λόγω των μικρότερων διαφοροποιήσεων που εμφανίζουν τα αποτελέσματά της σε σχέση με τις δύο άλλες από τα πραγματικά – των σκοπεύσεων – μέση απόκλιση ίση με 0.019. Η νέα εξίσωση εκτίμησης του συντελεστή είναι:

$$\psi = -6.1343 \ln(P + 0.86 \cdot T + 0.32 \cdot RH) + 41.049$$

Εκτιμώντας τις τιμές του συντελεστή μέσω της νέας συνάρτησης υπολογισμού, οι διαφορές που προέκυψαν είναι πολύ μικρότερες από αυτές που υπολογίζονται μέσω της μεθόδου της θερμοβαθμίδας. Για την ακρίβεια, οι 119 από τις συνολικά 126 εκτιμήσεις του συντελεστή δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ οι περιπτώσεις στις οποίες η εκτίμηση εμφανίζει σφάλμα ενδέχεται να οφείλονται στο γεγονός της δυσκολίας που εμφάνισαν οι πρώτες μετρήσεις της εργασίας. Τα αποτελέσματα μέσω της προτεινόμενης μεθόδου εμφανίζουν τυπική απόκλιση $\sigma_k = 0.026$ σε σχέση με τις τιμές του συντελεστή που έχουν προκύψει από τις σκοπεύσεις, επομένως αυτό πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη, συναρτήσει της ακρίβειας που απαιτεί η κάθε εργασία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η πρακτική διάσταση της απομάκρυνσης του όρου της κατακόρυφης μεταβολής της θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων μετρήσεων, αποτελεί τη βασική διαφορά της προτεινόμενης εξίσωσης. Σε εργασίες ακριβείας, όπου η γνώση της τιμής του συντελεστή k είναι απαραίτητη, η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων είναι συνήθως το μέγεθος το οποίο πρέπει να προσδιοριστεί. Η εκ των προτέρων γνώση της υψομετρικής διαφοράς απαιτείται προκειμένου να εφαρμοστεί η εξίσωση της θερμοβαθμίδας, γεγονός που καθιστά τη χρησιμοποίησή της κατάλληλη μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σχολιαστούν τα ικανοποιητικά αποτελέσματα που υπολογίστηκαν από την εναλλακτική εξίσωση του συντελεστή με χρήση του όρου της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας και των τιμών της θερμοκρασίας. Η εξίσωση εμφανίζει σχετικά μικρότερη απόκλιση από τις τιμές που υπολογίζονται μέσω της εκθετικής εξίσωσης, παρόλα αυτά η πρακτική της εφαρμογή παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες

λόγω της σύνθετης διαδικασίας που απαιτείται για τον υπολογισμό της θερμοβαθμίδας. Έτσι, κρίνεται προτιμότερη η χρήση της λογαριθμικής εξίσωσης λόγω των ελάχιστων αποκλίσεων από τις πραγματικές τιμές που εμφανίζει, αλλά και της ευκολίας μέτρησης των απαιτούμενων μεγεθών.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια εκτίμησης των τιμών του συντελεστή σε άλλη περιοχή της Αττικής, συγκεκριμένα στο Αιγάλεω (Δυτική Αττική). Οι τιμές που υπολογίστηκαν θα μπορούσαν να συγκριθούν με πραγματικές τιμές από σκοπεύσεις, εάν είχαν πραγματοποιηθεί μετρήσεις στην περιοχή την ίδια ημέρα (14/02/2013). Παρόλα αυτά οι τιμές τους είναι πολύ ικανοποιητικές και δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές σε σχέση με την Ανατολική Αττική, γεγονός που καταδεικνύει τη γενικότητα της εξίσωσης και την εφαρμογή της τουλάχιστον σε περιοχές με κλιματικά πρότυπα ανάλογα της Αττικής.

Σημαντικό σημείο που πρέπει να σχολιαστεί είναι η ανάγκη καταγραφής τιμών του συντελεστή υπό διαφορετικές συνθήκες (κατά τους καλοκαιρινούς μήνες), ώστε η εξίσωση ενδεχομένως να διαμορφωθεί ακόμα καλύτερα. Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του συντελεστή για τον Αύγουστο του 2012, τα αποτελέσματα όμως δεν εξακριβώθηκαν με τις πραγματικές τιμές, οι οποίες μπορούν να προκύψουν μόνο μέσω μετρήσεων στο πεδίο. Παρόλα αυτά, οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι αρκετά ικανοποιητικές και χαμηλότερες από τις τιμές που υπολογίζει η εξίσωση κατά τους χειμερινούς μήνες, σημείο που επιβεβαιώνεται από τη βιβλιογραφία (Αραμπατζή κ.α., 1980). Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική ομοιότητα μεταξύ των μεταβολών που υπολογίστηκαν για την περιοχή των Σπάτων και για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της εργασίας απαιτούσαν πολύ καλό σχεδιασμό, καθώς και μεγαλύτερο συνεργείο παρατηρητών και βοηθών.

Πολύ σημαντικό ρόλο επίσης παίζει η ορατότητα που υπάρχει μέσω του τηλεσκοπίου προς το σημείο που σκοπεύεται, αφού η απόσταση ήταν αρκετά μεγάλη. Η οποιαδήποτε απροσεξία ή αμέλεια κατά τη διάρκεια των μετρήσεων μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα, γεγονός που καθιστά τις μετρήσεις γωνιών για τον προσδιορισμό του συντελεστή ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία.

Τα αποτελέσματα της εργασίας μπορούν να αποτελέσουν τη βάση μελλοντικών εργασιών στο αντικείμενο της διερεύνησης της γεωδαιτικής διάθλασης με μετεωρολογική προσέγγιση, σε συνδυασμό πάντοτε με μετρήσεις γωνιών στο πεδίο για τον άμεσο προσδιορισμό των τιμών του φαινομένου.

Επίσης, είναι σαφές ότι σε τοπογραφικές εργασίες με υψηλές απαιτήσεις ακριβείας, όπου η γνώση του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης είναι απαραίτητη, ο υπολογισμός τιμών από την προτεινόμενη εξίσωση αποτελεί πολύ καλή λύση, εάν η περιοχή μελέτης δεν απέχει πολύ από αυτή της εργασίας. Τα απαιτούμενα δεδομένα είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες (T , P , RH) στο σημείο που πραγματοποιούνται οι σκοπεύσεις.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της καταλληλότητας χρήσης της προτεινόμενης εξίσωσης σε άλλη περιοχή ενδιαφέροντος στο πλαίσιο μελλοντικών ερευνητικών εργασιών σχετικά με το αντικείμενο της γεωδαιτικής διάθλασης.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Αγατζά – Μπαλοδήμου, Α. Μ., (2007), *Θεωρία Σφαλμάτων και Μ.Ε.Τ.*, Ε.Μ.Π., Τ.Α.Τ.Μ., Αθήνα

Αραμπατζή Ο., Βασιλειάδου Β., Τελειώνη Ε., (1980), *Μελέτη του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης και των μεταβολών του στην περιοχή Κ.Π.Τ.Δ.Δ. – Β. Αττικής – Στύρων Ευβοίας*, Διπλ. εργασία Εργ/ρίου Γεν. Γεωδαισίας, Ε.Μ.Π., Αθήνα

Βέης Δ., (1987), *Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος*, Αθήνα

Βλάχος Δ., (1987), *Τοπογραφία*, Τόμος Α', Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη,

Κατσάνος Χ., Αβούρης Ν., (2008), *Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης πειραματικών δεδομένων συνεργασίας*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα

Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., (2010), *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα

Παγούνης Ν. Β., (2004), *Σημειώσεις του μαθήματος «Δορυφορικός Εντοπισμός» για το Τμήμα Τοπογραφίας του Τ.Ε.Ι. Αθήνας*, Α' Έκδοση, Αθήνα

Ρωσσικόπουλος Δ., (1999), *Τοπογραφικά Δίκτυα και Υπολογισμοί*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Τσούλης Δ. (2005), *Εισαγωγή στην Τοπογραφία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Ξενόγλωσση

Böckem B., Flach Ph., Weiss A., Hennes M., (2000), *Refraction influence analysis and investigations on automated elimination of refraction effects on geodetic measurements*, paper to XVI IMEKO World Congress 2000, 25-28 Sept. 2000, Vienna

Brunner F. K., (1984), *Modelling of Atmospheric Effects on Terrestrial Geodetic Measurements In: Geodetic Refraction, Effects of Electromagnetic Wave Propagation Through the Atmosphere*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, pp.143 – 161

Elmiger A., Wunderlin N., (1983), *Dreidimensionale Berechnung von geodatischen Netzen: Methoden und Erfahrungen*. ETH Zurich

Flach Ph., (2000), *Analysis of refraction influences in geodesy using image processing and turbulence models*, Diss. ETH No 13844, IGP, geomETH, Zürich

Flach Ph., Maas H. G., (1999), *Vision-based Techniques for Refraction Analysis in Applications of Terrestrial Geodesy International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol. XXXII, Onuma

Gottwald R., (1985), *Zur Genauigkeitsteigerung und Erstellung eines automatisierten Datenflusses beim trigonometrischen Nivellement mit kurzen Zielweiten*. Diss RWTH Aachen, Veroff, des Geodatischen Instituts der RWTH Aachen. Nr. 37

Helmert, F. R., (1880), *Die mathematischen und physikalischen Theorien der Höheren geodäsie*, B.G. Teubner Verlag, Leipzig

Jordan W., Eggert O., Kneissl M., (1956), *Handbuch der Vermessungskunde*, Vol III, p 410-429

Rüeger J. M., (1990), *Electronic distance measurement*, Springer Verlag, Berlin

Torge W., (2000), *Geodesy*, 2nd Edition, Μτφ στα Ελληνικά: Ο. Αραμπατζή, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ

Weiss A., (2002) *Determination of thermal stratification and turbulence of the atmospheric surface layer over various types of terrain by optical scintillometry*, Diss ETH No 14514, ETH Zurich,

Weiss A., Hennes M., Rotach M., (2000), *Derivation of refractive index and temperature gradients from optical scintillometry for the correction of atmospherically induced problems in highly precise geodetic measurements*, Paper to EGS 2000, Nizza 25-29/04/2000, Kluwer Academic Press, Netherlands

Weiss A., Rotach M., Hennes M., (1999), *Comparison of turbulence parameters derived from Optical Scintillometry and the Eddy - Correlation technique over flat terrain*, 79th AMS Annual Meeting, 13th Symposium of Boundary layers and Turbulence, 10-15/01/1999, Dallas, Texas, pp 145-147

Wesely M., Marvin L., (1976), *The Combined Effect of Temperature and Humidity Fluctuations on Refractive Index*, Journal of Applied Meteorology, Vol. 15, p. 43-49

Wilhelm W., (1993), *Empirische Bestimmung der Seitenrefraction an 10 Objekten in der Praxis*. IGP Bericht Nr. 219 ETH Zurich

Ιστότοποι:

Επίσημος Ιστότοπος Αντιπροσωπείας Εταιρίας Leica Geosystems στην Ελλάδα – www.metricon.gr

Επίσημος Ιστότοπος Αντιπροσωπείας Εταιρίας Topcon στην Ελλάδα - <http://www.treecomp.gr>

Επίσημος Ιστότοπος Εταιρίας Nielsen – Kellerman - <http://www.nkhome.com>

Παράρτημα Α

Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TS30 (πηγή: Leica Geosystems)

Γωνιομετρική Ακρίβεια

Angle measurement

Description

The highly accurate and reliable angle measurement system consists of a static line-coded glass circle, which is read by a linear CCD array. A special algorithm determines the exact position of the code lines on the array and determines the precise measurement instantly. As the code on the glass circle is absolute and continuous, no initialization of the instrument is required prior to measurements.

A dual axis compensator constantly monitors both axes of the vertical axis tilt. The compensator consists of an illuminated line pattern on a prism, which is reflected twice by a liquid mirror forming the reference horizon. The reflected image of the line pattern is read by a linear CCD array and then used to mathematically determine both tilt components. These components are then used to immediately correct all angle measurements.

Accuracy (std. dev. ISO 17123-3)

Hz, V:
Display least count:

Method

Compensator

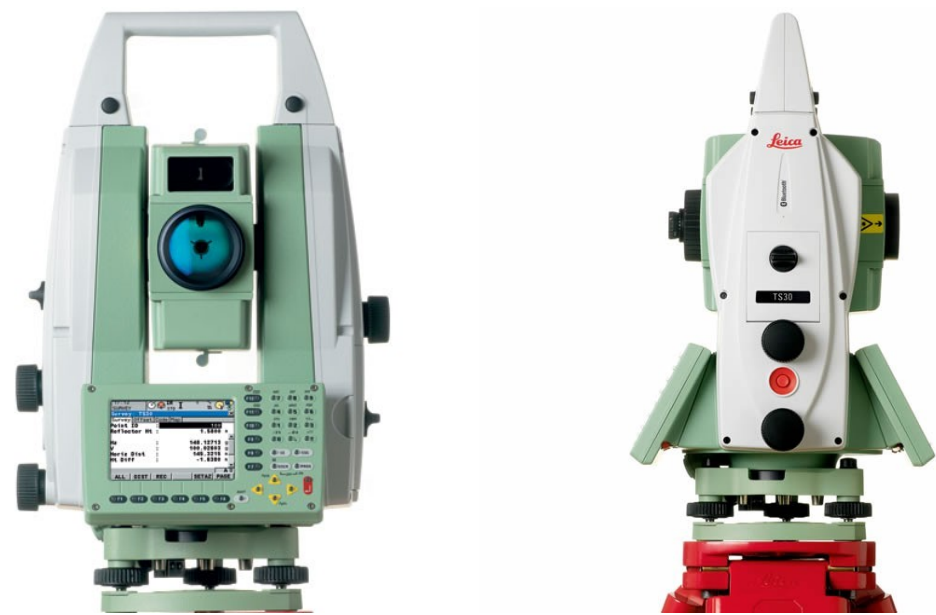
Working range:
Setting accuracy:
Method:

TS30

0.5" (0.15 mgon)
0.01" (0.01 mgon)
absolute, continuous, quadruple

4' (0.07 gon)
0.5" (0.15 mgon)
centralized quadruple axis compensation

Εικόνες



Γεωδαιτικοί δέκτες Topcon HiperPro (πηγή: Tree Company)

Κανάλια παρακολούθησης δορυφόρων	40 L1 GPS (20 GPS L1+L2 τις μέρες Cinderella), 20 GPS L1+L2 (GD), 20 GPS L1+GLONASS (GG), 20 GPS L1+L2+GLONASS (GGD)
Ακρίβεια εντοπισμού	Στατικός: Οριζ:3mm+0.5ppm Υψομ:5mm+0.5ppm RTK: Οριζ:10mm+1ppm Υψομ:15mm+1ppm
Παροχή ρεύματος	2 ενσωματωμένες μπαταρίες Λιθίου 14+ ωρών συνεχούς λειτουργίας RTK Θύρα για εξωτερική παροχή 6-28Volts DC Κατανάλωση <4.2Watts
Χαρακτηριστικά κεραίας	GPS/GLONASS, ενσωματωμένη UHF κεραία
Χαρακτηριστικά radio modem	Ενσωματωμένο TX/RX UHF modem (1.0W/0.25W, επιλέξιμο)
Ασύρματη επικοινωνία	Bluetooth version 1.1
Θύρες επικοινωνίας	2 x RS232
Εσωτερική μνήμη	Έως 1GB
Ρυθμός καταγραφής μετρήσεων	Έως 20Hz
Format διαφορικών διορθώσεων	RTCM v.2.1,2.2,2.3,CMR,CMR+
Περιβαλλοντολογικές συνθήκες λειτουργίας	-30°C έως +55°C, αδιάβροχο
Διαστάσεις	(159 x 172 x 88)mm
Βάρος	1.65kgr

Εικόνες



Μετεωρολογικός σταθμός Kestrel 4250 (πηγή: Nielsen – Kellerman / Kestrel Website)

SENSORS																		
SENSOR	1000	2000	2500	3000	3500	3500 DT	4000	4200	4250	4300	4400	4500	4500 HOR	ACCURACY (+/-)°	RESOLUTION	SPECIFICATION RANGE	OPERATIONAL RANGE	NOTES
Wind Speed Air Flow	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Larger of 3% of reading, least significant digit or 20 ft/min	0.1 m/s 1 ft/min 0.1 km/h 0.1 mph 0.1 knots 1 B	0.6 to 40.0 m/s 118 to 7,874 ft/min 2.2 to 144.0 km/h 1.3 to 89.5 mph 1.2 to 77.8 knots 0 to 12 B	0.6 to 60.0 m/s 118 to 11,811 ft/min 2.2 to 144.0 km/h 1.3 to 134.2 mph 1.2 to 116.6 knots 0 to 12 B	1 inch/25 mm diameter impeller with precision axle and low-friction Zytel® bearings. Startup speed stated as lower limit, readings may be taken down to 0.4 m/s 79 ft/min 1.5 km/h .9 mph .8 kt after impeller startup. Off-axis accuracy -1% @ 5A° off-axis; -2% @ 10A°; -3% @ 15A°. Calibration drift - 1% after 100 hours use at 16 MPH 7 m/s. Replacement impeller (NK PN-0801) field installs without tools (US Patent 5,783,753). Wind speed calibration and testing should be done with triangle on impeller located at the top front face of the Kestrel.
Ambient Temperature	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.9 °F 0.5 °C	0.1 °F 0.1 °C	-20.0 to 158.0 °F -29.0 to 70.0 °C	14.0.0 to 131.0 °F -10.0 to 55.0 °C	Hermetically-sealed, precision thermistor mounted externally and thermally isolated (US Patent 5,939,645) for rapid response. Airflow of 2.2 mph/1 m/s or greater provides fastest response and reduction of insolation effect. Calibration drift negligible. Thermistor may also be used to measure temperature of water or snow by submerging thermistor portion into material — remove impeller prior to taking submerged measurements and ensure humidity sensor membrane is <u>free</u> of liquid water prior to taking humidity based measurements after submersion.
Globe Temperature - Tg												*		°F 1.4 °C	0.1 °F 0.1 °C	-20.0 to 140.0 °F -29.0 to 60.0 °C	14.0 to 131.0 °F -10.0 to 55.0 °C	Temperature inside 1in/25 mm black powder coated copper globe converted to Tg equivalent for standard 6 in/150 mm globe. Closest equivalence obtained with airflow greater than 2.2 mph/1 m/s.
Relative Humidity				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.0 %RH	0.1 %RH	5 to 95% non-condensing	0 to 100%	Polymer capacitive humidity sensor mounted in thin-walled chamber external to case for rapid, accurate response (US Patent 6,257,074). To achieve stated accuracy, unit must be permitted to equilibrate to external temperature when exposed to large, rapid temperature changes and be kept out of direct sunlight. Calibration drift +/- 2% over 24 months. Humidity sensor may be recalibrated at factory or in field using Kestrel Humidity Calibration Kit (NK PN-0802).
Pressure		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.03 inHg 1.0 hPa/mbar 0.01 PSI	0.01 inHg 0.1 hPa/mbar 0.01 PSI	8.86 to 32.49 inHg 300.0 to 1100.0 hPa/mbar 4.35 to 15.95 PSI and 32.0 to 185.0 °F 0.0 to 85.0 °C	0.30 to 48.87 inHg 10.0 to 1654.7 hPa/mbar 0.14 to 24.00 PSI and 14.0 to 131.0 °F -10.0 to 55.0 °C	Monolithic silicon piezoresistive pressure sensor with second-order temperature correction. Pressure sensor may be recalibrated at factory or in field. Adjustable reference altitude allows display of station pressure or barometric pressure corrected to MSL. Kestrel 4200 displays station pressure on a dedicated screen. Kestrel 2500 and 3500 display continuously updating three-hour barometric pressure trend indicator: rising rapidly, rising, steady, falling, falling rapidly. Kestrel 4000 series displays pressure trend through graphing function. PSI display on Kestrel 4000 series only.
Compass												*	*	5°	1° 1/16th Cardinal Scale	0 to 360°	0 to 360°	2-axis solid-state magnetoresistive sensor mounted perpendicular to unit plane. Accuracy of sensor dependent upon unit's vertical position. Self-calibration routine eliminates magnetic error from batteries or unit and must be run after every full power-down (battery removal or change). Readout indicates direction to which the back of the unit is pointed when held in a vertical orientation. Declination/variation adjustable for True North readout.

CALCULATED MEASUREMENTS														
MEASUREMENT	1000	2000	2600	3000	3600	3600 DT	4000	4200	4260	4300	4400	4600	4600 HOR	ACCURACY (+/-)
Air Density								*	*					0.0002 lb/ft ³ 0.0033 kg/m ³
Air Flow								*						6.71% 1 cfm 1 m ³ /hr 0.1m ³ /s 1 L/s
Altitude		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	typical: 23.6 ft 7.2 m max: 49.2 ft 14.7 m
Barometric Pressure		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.07 inHg 2.4 hPa (mbar) 0.03 PSI
Crosswind & Headwind/Tailwind												*	*	7.1% 1 mph 1 ft/min 0.1 km/h 0.1 m/s 0.1 knots
Dewits T				*										3.2 °F 1.8 °C
Density Altitude					*	*	*	*	*	*	*	*	*	226 ft 69 m
Dewpoint			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.4 °F 1.9 °C
Evaporation Rate										*				0.01 in/m ² /hr 0.06 kg/m ² /hr
Heat Index		*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	7.1 °F 4.0 °C
Moisture Content Humidity Ratio ("Grains")							*	*						3 gpp / 0.4 g/kg
Relative Air Density								*						0.3%
Thermal Work Limit (TWL)										*				10.9 W/m ²
Outdoor Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)										*				1.3 °F 0.7 °C
Wet Bulb Temperature - Naturally Aspirated (Twb)										*				1.4 °F 0.8 °C
Wet Bulb Temperature - Psychrometric				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.2 °F 1.8 °C
Wind Chill	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	1.6 °F 0.9 °C

Εικόνες



Παράρτημα Β

Μετεωρολογικά Δεδομένα

		Σημείο 322500			Σημείο 161030	322500-16030
date	time	Temperature C	Pressure mmHg	Relative Humidity %	Temperature C	dT/dH
25/01	8:44	8.0	754.725	92.0	10.7	0.0042
	8:49	8.2	754.725	92.0	10.7	0.0039
	8:54	8.2	754.725	92.0	10.7	0.0039
	9:09	8.8	754.650	91.0	10.7	0.0029
	9:11	9.8	754.650	86.0	10.7	0.0014
	9:17	10.8	754.800	86.0	10.7	-0.0002
	9:23	10.8	754.800	80.0	10.7	-0.0002
	9:32	11.3	754.800	76.0	10.7	-0.0009
	9:34	11.3	754.800	76.0	10.7	-0.0009
	9:44	11.4	754.875	75.0	10.7	-0.0011
	9:47	11.3	754.875	75.0	10.7	-0.0009
	9:50	11.3	754.875	76.0	10.7	-0.0009
	9:55	11.5	754.875	76.0	10.7	-0.0013
	9:58	11.5	754.800	76.0	10.7	-0.0013
26/01	10:15	8.0	750.675	96.0	9.9	0.0029
	10:20	8.2	750.750	95.0	9.9	0.0026
	10:25	8.2	750.750	95.0	9.9	0.0026
	10:30	8.8	750.825	96.0	9.9	0.0016
	10:35	9.8	750.825	96.0	9.9	0.0001
	10:40	10.8	750.900	95.0	9.9	-0.0015
	10:45	10.8	750.900	93.0	9.9	-0.0015
	10:50	11.3	750.900	92.0	9.9	-0.0022
	10:55	11.3	750.900	91.0	9.9	-0.0022
	10:55	11.4	750.825	90.0	9.9	-0.0024
	11:00	11.3	750.825	90.0	9.9	-0.0022
	11:05	11.3	750.900	88.0	9.9	-0.0022
	11:10	11.5	750.900	86.0	9.9	-0.0025
	11:15	11.5	750.900	86.0	9.9	-0.0025
	11:20	11.5	750.900	87.0	9.9	-0.0025
27/01	7:50	8.1	758.475	83.0	4.4	-0.0058
	7:55	8.1	758.475	83.0	4.4	-0.0058
	8:00	8.1	758.625	83.0	4.4	-0.0058
	8:05	8.1	758.625	83.0	4.4	-0.0058
	8:10	8.1	758.700	84.0	4.4	-0.0058
	8:15	8.1	758.700	84.0	4.4	-0.0058
	8:20	8.1	758.775	83.0	4.4	-0.0058
	8:25	8.2	758.775	83.0	4.4	-0.0059
	8:30	8.2	758.850	83.0	4.4	-0.0059
	8:35	8.2	758.850	83.0	4.4	-0.0059
	8:40	8.3	759.000	83.0	4.4	-0.0061
	8:45	8.3	759.000	83.0	4.4	-0.0061
	8:50	8.2	759.075	84.0	4.4	-0.0059
	8:55	8.2	759.075	84.0	4.4	-0.0059
	9:00	8.1	759.150	86.0	6.3	-0.0028
	9:05	8.1	759.150	86.0	6.3	-0.0028
	9:10	8.1	759.300	87.0	6.3	-0.0028
	9:15	8.1	759.300	87.0	6.3	-0.0028
	9:20	8.4	759.450	87.0	6.3	-0.0033
	9:25	8.4	759.450	87.0	6.3	-0.0033
	9:30	8.5	759.450	86.0	6.3	-0.0035
	9:35	8.6	759.450	86.0	6.3	-0.0036
	9:40	8.7	759.600	85.0	6.3	-0.0038

	9:45	8.6	759.600	85.0	6.3	-0.0036
	9:50	8.5	759.675	84.0	6.3	-0.0035
	9:55	8.6	759.675	84.0	6.3	-0.0036
	10:00	8.7	759.675	85.0	6.3	-0.0038
	10:05	8.8	759.675	85.0	6.3	-0.0039
	10:10	8.9	759.825	84.0	6.3	-0.0041
	10:15	9.0	759.825	84.0	6.3	-0.0042
	10:20	9.3	759.900	84.0	6.3	-0.0047
	10:25	9.5	759.900	84.0	6.3	-0.0050
	10:30	9.7	759.975	82.0	6.3	-0.0053
	10:35	10.0	759.975	80.0	6.3	-0.0058
	10:40	10.3	760.050	80.0	6.3	-0.0063
	10:45	10.1	759.975	79.0	6.3	-0.0059
	10:50	10.0	760.050	80.0	6.3	-0.0058
	10:55	10.0	760.050	80.0	6.3	-0.0058
	11:00	9.9	759.975	80.0	6.3	-0.0056
	11:05	9.9	759.975	80.0	6.3	-0.0056
	11:10	9.9	759.975	80.0	6.3	-0.0056
	11:15	9.9	759.975	80.0	6.3	-0.0056
	11:20	9.8	759.975	80.0	6.3	-0.0055
	11:25	10.0	756.375	80.0	6.3	-0.0058
	11:30	10.1	759.975	79.0	6.3	-0.0059
	11:35	10.3	759.975	79.0	6.3	-0.0063
	11:40	10.5	759.975	79.0	6.3	-0.0066
	11:45	10.5	759.975	78.0	6.3	-0.0066
	11:50	10.4	759.900	77.0	6.3	-0.0064
	11:55	10.4	759.900	77.0	6.3	-0.0064
	12:00	10.4	759.825	77.0	7.2	-0.0050
	12:10	10.4	759.825	77.0	7.2	-0.0050
	12:15	10.4	759.825	77.0	7.2	-0.0050
	12:20	10.1	759.825	77.0	7.2	-0.0045
	12:25	10.0	759.825	77.0	7.2	-0.0044
	12:30	9.9	759.900	78.0	7.2	-0.0042
	12:35	10.0	759.900	78.0	7.2	-0.0044
	12:40	10.3	759.900	78.0	7.2	-0.0049
	12:45	10.4	759.900	78.0	7.2	-0.0050
	12:50	10.5	759.900	78.0	7.2	-0.0052
	12:55	10.1	759.900	78.0	7.2	-0.0045
	13:00	9.8	759.900	79.0	7.2	-0.0041
	13:05	9.8	759.900	80.0	7.2	-0.0041
	13:10	9.8	759.900	80.0	7.2	-0.0041
	13:15	9.8	759.900	80.0	7.2	-0.0041
	13:20	9.8	759.900	80.0	7.2	-0.0041
	13:25	9.7	759.900	81.0	7.2	-0.0039
	13:30	9.7	759.975	81.0	7.2	-0.0039
	13:35	9.6	759.975	81.0	7.2	-0.0038
	13:40	9.5	760.050	81.0	7.2	-0.0036
	13:50	9.4	760.125	81.0	7.2	-0.0035
	13:55	9.3	760.125	81.0	7.2	-0.0033
	14:00	9.2	760.125	82.0	7.2	-0.0032
	14:05	9.2	760.125	82.0	7.2	-0.0032
	14:10	9.1	760.275	82.0	7.2	-0.0030
	14:15	9.1	760.275	82.0	7.2	-0.0030
	14:20	9.1	760.125	82.0	7.2	-0.0030
	14:25	9.1	760.125	82.0	7.2	-0.0030
	14:30	9.3	760.200	82.0	7.2	-0.0033
	14:35	9.3	760.200	82.0	7.2	-0.0033
	14:40	9.3	760.275	81.0	7.2	-0.0033

	14:45	9.2	760.275	81.0	7.2	-0.0032
	14:50	9.2	760.275	81.0	7.2	-0.0032
	14:55	9.2	760.275	81.0	7.2	-0.0032
	15:00	9.2	760.275	82.0	5.4	-0.0058
	15:05	9.2	760.275	82.0	5.4	-0.0058
	15:10	9.2	760.275	82.0	5.4	-0.0058
	15:15	9.2	760.275	82.0	5.4	-0.0058
	15:20	9.2	760.350	82.0	5.4	-0.0058
	15:25	9.2	760.350	82.0	5.4	-0.0058
	15:30	9.2	760.500	82.0	5.4	-0.0058
	15:35	9.2	760.500	82.0	5.4	-0.0058
	15:40	9.1	760.575	82.0	5.4	-0.0057
	15:45	9.0	760.575	82.0	5.4	-0.0055
	15:50	9.0	760.650	83.0	5.4	-0.0055
	15:55	8.9	760.650	83.0	5.4	-0.0054
	16:00	8.9	760.725	83.0	5.4	-0.0054