

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΕΝΤΡΟ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΔΙΟΝΥΣΟΥ**

**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY of ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND
SURVEYING ENGINEERING
DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY**

**ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ**

ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ Β. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ



ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

Πρόλογος

Με την εργασία αυτή ολοκληρώνεται μια σημαντική περίοδος της ζωής μου, περίοδος με μεγάλες απαιτήσεις και δυσκολίες που όμως μετριάστηκαν λόγω της αγάπης μου για την επιστήμη του Τοπογράφου Μηχανικού.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου για την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια χωρίς τη βοήθειά τους δε θα τα είχα καταφέρει.

Έχω την ανάγκη να ευχαριστήσω ειλικρινά όλα τα μέλη του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου με τα οποία συνεργάστηκα τον τελευταίο καιρό.

Ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Παραδείση Δημήτριο κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου μέσα από την ανάθεση και την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες Αγγελική Μαρίνου, Βασίλη Μασσίνα και Βαγγέλη Ζαχαρή για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφεραν ο καθένας τους όποτε και αν τη ζήτησα.

Ειδικότερα ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες Δημήτρη Αναστασίου και Ξάνθο Παπανικολάου για τον χρόνο, την υπομονή αλλά κυρίως για την παροχή γνώσεων που μου διέθεσαν όλο αυτό το διάστημα και θα ήθελα να τους ευχηθώ καλή σταδιοδρομία και καλή συνέχεια σε ό,τι κάνουν.

Τέλος, έχω την ανάγκη να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Ελίνα Φαχουρίδη και Γιώργο Κουμιανάκη για την στήριξη και βοήθεια που μου παρείχαν τα τελευταία 4 χρόνια σπουδών στη ΣΑΤΜ.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στον προσδιορισμό των τεκτονικών μετατοπίσεων των κορυφών ενός υφιστάμενου δικτύου παρακολούθησης κατολισθητικού φαινομένου που εντοπίζεται στην οικιστική περιοχή Σελλάς Μεσσηνίας.

Το δίκτυο παρακολούθησης της κατολίωσης, ιδρύθηκε από την Περιφέρεια Πελοποννήσου στα πλαίσια του έργου «Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης της αστάθειας κλιτύων για την πρόληψη κατολισθήσεων και εκπαίδευση των τοπικών δημοσίων αρχών στην Περιφέρεια Πελοποννήσου». Το έργο περιλαμβάνει την εγκατάσταση και τη συνεχή λειτουργία ενός μόνιμου δέκτη GPS αλλά και την ίδρυση ενός δικτύου μη μόνιμων σταθμών σε 9 θέσεις.

Στα πλαίσια του προαναφερθέντος έργου, το δίκτυο των μη μόνιμων σταθμών μετρήθηκε δυο φορές σε μια χρονική περίοδο 79 ημερών. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας αυτών των μετρήσεων καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δεδομένων που καταγράφηκαν από το μόνιμο σταθμό, συνεκτιμήθηκαν με στόχο να μελετηθεί το φαινόμενο της κατολίωσης. Το χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων κρίθηκε πολύ μικρό ώστε να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.

Ο προσδιορισμός των τεκτονικών μετατοπίσεων που γίνεται στην παρούσα εργασία, γίνεται με τη χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων που ελήφθησαν σε χρονικό διάστημα 18 μηνών. Για το σκοπό αυτό στις εργασίες διπλωματικής περιλαμβάνονται εργασίες μέτρησης στο δίκτυο των μη μόνιμων σταθμών GPS. Οι εργασίες υπαίθρου αφορούν σε δύο καμπάνιες μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε χρονικό διάστημα 7 μηνών η μια από την άλλη.

Η επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων έγινε στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ITRF2008 με τη χρήση του επιστημονικού πακέτου Bernese GPS Software v.5.0. Προσδιορίστηκε η θέση του μόνιμου σταθμού ανα 15 περίπου ημέρες μέσα στο χρονικό διάστημα των 18 μηνών. Επιπρόσθετα προσδιορίστηκαν οι θέσεις των κορυφών του δικτύου μη μόνιμων σταθμών για κάθε μια από τις τέσσερις καμπάνιες μετρήσεων. Παράλληλα ως μέτρο ελέγχου, προσδιορίστηκε και η θέση του μόνιμου σταθμού NOA1 που ανήκει στο δίκτυο της EUREF.

Από τις προσδιορισμένες θέσεις των κορυφών του δικτύου σε αυτό το χρονικό διάστημα, υπολογίστηκαν οι τεκτονικές ταχύτητες των κορυφών του δικτύου. Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου, υπολογίστηκαν οι σχετικές ταχύτητες ως προς την Ευρώπη, ως προς την ευρύτερη περιοχή αλλά και οι σχετικές ταχύτητες των κορυφών του δικτύου μεταξύ τους. Σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες και συνεκτιμήθηκαν όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες σε μια προσπάθεια εκτίμησης του φαινομένου.

Abstract

The objective of this thesis is the study of tectonic shifts of an existing landslide monitoring network established in the residential region of Sellas, Messinia.

The landslide monitoring network was established by the Region of Peloponnisos within the project "System Development on Monitoring Slope Stability for the Prevention of Landslides and Training of Local Public Authorities in the Region of Peloponnisos". The project includes the installation and continuous operation of a permanent GPS receiver and the establishment of a network of non-permanent GPS stations in 9 positions.

As part of that project, the non-permanent stations network was measured twice over a period of 79 days. The results of processing GPS campaigns data plus the data recorded by the permanent station, was taken into account in order to study the landslide phenomenon. The interval between those two GPS campaigns was deemed too small to draw any firm conclusion.

The determination of tectonic shifts made in this work is done using satellite observations taken over a period of 18 months. To this end, the diplomatic work included new GPS campaigns in the network of non-permanent GPS stations. The field work concerns two GPS campaigns made over a period of 7 months from one another.

The processing of the available data was done in the geodetic reference system ITRF2008 using the scientific tool Bernese GPS Software v.5.0. The position of the permanent station was determined every 15 days approximately within the period of 18 months. Moreover the peak positions of the non-permanent GPS stations network were determined for each of the four available GPS campaigns. In parallel, the position of the permanent station NOA1, which is part of the EUREF network, was determined as a means of quality control.

The tectonic velocities of the peak positions of the network were calculated by the corresponding determined positions during the same period of time. In order to better understand this landslide phenomenon the velocities with respect to fixed Europe and to the wider region were calculated as well as the velocities of the network peaks between them. Corresponding maps were designed and all available information was taken into account in an attempt to evaluate the phenomenon.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο	Εισαγωγή	1
1.1	Γενικά	1
1.2	Κατολισθήσεις	1
1.2.1	Ορισμός	1
1.2.2	Ταξινόμηση κατολισθήσεων	1
1.2.2.1	Ταξινόμηση κατά Varnes	2
1.2.2.2	Ταξινόμηση βάσει ενεργότητας	2
1.2.2.3	Ταξινόμηση βάσει ταχύτητας κίνησης	2
1.2.3	Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων	3
1.2.4	Η μελέτη κατολισθήσεων και ο ρόλος της δορυφορικής γεωδαισίας	4
1.3	Οι κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο	4
1.3.1	Γενικά	4
1.3.2	Ο οικισμός Σελλάς Μεσσηνίας και η ευρύτερη περιοχή	5
1.4	Το πρόγραμμα της Περιφέρειας Πελοποννήσου	7
1.5	Σκοπός παρούσας εργασίας	8
Κεφάλαιο 2ο	Εργασίες πεδίου	9
2.1	Γενικά	9
2.2	Το δίκτυο σταθμών μέτρησης	9
2.2.1	Μόνιμος Σταθμός SELA	11
2.2.1.1	Υλοποίηση	11
2.2.1.2	Δέκτης	11
2.2.1.3	Κεραία	11
2.2.2	Μη μόνιμοι σταθμοί	12
2.2.2.1	SL01	12
2.2.2.2	SL02	12
2.2.2.3	SL03	12
2.2.2.4	SL04	13
2.2.2.5	SL05	13
2.2.2.6	SL06	13
2.2.2.7	SL07	13
2.2.2.8	SL08	14
2.2.2.9	SL09	14
2.3	Μετρητικός εξοπλισμός	14
2.3.1	Γενικά	14
2.3.2	Οι δέκτες	14
2.3.3	Οι κεραίες	15
2.3.4	Παρελκόμενα	15
2.4	Επιλογή χρόνου, διάρκειας και διαστήματος μέτρησης	16
2.5	Περίοδοι μέτρησης	17
2.5.1	Πρώτη περίοδος	17
2.5.2	Δεύτερη περίοδος	17
2.5.3	Τρίτη περίοδος	18
2.5.4	Τέταρτη περίοδος	18

Κεφάλαιο 3ο	Επίλυση με το λογισμικό πακέτο επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων Bernese GPS Software v5.0	19
3.1	Γενικά	19
3.2	Βήματα επεξεργασίας με το Bernese v5.0	19
3.2.1	Δημιουργία καμπάνιας	19
3.2.2	Επιλογή χρονικής περιόδου λύσης (session)	19
3.2.3	Επιλογή γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς και δημιουργία αρχείου συντεταγμένων και αρχείου ταχυτήτων	19
3.2.4	Είσοδος πρωτογενών δεδομένων και προϊόντων	21
3.2.5	Διαδικασία παραγωγής αρχικών συντεταγμένων – υλοποίηση επιλεγμένου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς	21
3.2.6	Εισαγωγή – μετατροπή πρωτογενών δεδομένων σε μορφή Bernese. (Πρόγραμμα RXOBV3)	21
3.2.7	Προετοιμασία πληροφορίας για τις τροχιές των δορυφόρων και την κίνηση του πόλου της Γης (Προγράμματα POLUPD, PRETAB, ORBGEN)	24
3.2.8	Προεπεξεργασία δεδομένων (Προγράμματα CODSP, SNGDIF, MAUPRP, GPSEST)	24
3.2.8.1	Διόρθωση χρονομέτρων δεκτών – πρόγραμμα CODSP	24
3.2.8.2	Δημιουργία βάσεων – πρόγραμμα SNGDIF	24
3.2.9	Έλεγχος απωλειών κύκλων – πρόγραμμα MAUPRP	26
3.2.10	Προσδιορισμός καθυστερήσεων λόγω τροπόσφαιρας – πρόγραμμα GPSEST	27
3.2.11	Προσδιορισμός μοντέλου ιονόσφαιρας – πρόγραμμα GPSEST	27
3.2.12	Επίλυση ασάφειων φάσης - Πρόγραμμα GPSEST	27
3.2.12.1	Βάσεις μεγάλου μήκους	27
3.2.12.2	Βάσεις μικρού μήκους	30
3.2.13	Δημιουργία κανονικών εξισώσεων (Πρόγραμμα GPSEST)	30
3.2.14	Συνόρθωση δικτύου (Πρόγραμμα ADDNEQ2)	31
3.3	Αποτελέσματα	32
3.3.1	Μόνιμος σταθμός SELA	32
3.3.2	Μόνιμος σταθμός NOA1	33
3.3.3	Δίκτυο μη μόνιμων σταθμών	34
Κεφάλαιο 4ο	Επεξεργασία αποτελεσμάτων	35
4.1	Μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων σε γεωδαιτικές	35
4.1.1	Γεωδαιτικές συντεταγμένες σταθμού SELA	36
4.1.2	Γεωδαιτικές συντεταγμένες σταθμού NOA1	37
4.1.3	Γεωδαιτικές συντεταγμένες δικτύου μη μόνιμων σταθμών	38
4.2	Υπολογισμός οριζοντιογραφικών και υψομετρικών μετακινήσεων	39
4.2.1	Μετατοπίσεις μόνιμων σταθμών, SELA και NOA1	40
4.2.2	Μετατοπίσεις μη μόνιμων σταθμών	41
4.3	Υπολογισμός τεκτονικών ταχυτήτων	42
4.3.1	Τεκτονικές ταχύτητες σταθμών ως προς τον κόσμο	42
4.3.1.1	Τεκτονική ταχύτητα του μόνιμου σταθμού SELA	43
4.3.1.2	Τεκτονική ταχύτητα του μόνιμου σταθμού NOA1	45
4.3.1.3	Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL01	46
4.3.1.4	Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL02	47
4.3.1.5	Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL03	48
4.3.1.6	Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL04	49
4.3.1.7	Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL05	50
4.3.1.8	Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL06	51

4.3.1.9 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL07	52
4.3.1.10 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL08	53
4.3.1.11 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL09	54
4.3.2 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς την Ευρώπη	55
4.3.3 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς την περιοχή Αετός Μεσσηνίας	56
4.3.4 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SELA	57
4.3.5 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL01	58
4.3.6 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL02	59
4.3.7 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL03	60
4.3.8 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL04	61
4.3.9 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL05	62
4.3.10 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL06	63
4.3.11 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL07	64
4.3.12 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL08	65
4.3.13 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL09	66
Κεφάλαιο 5ο Ανάλυση αποτελεσμάτων	67
5.1 Ποιότητα επίλυσης.....	67
5.1.1 Προσδιορισμός ταχύτητας μόνιμου σταθμού NOA1	67
5.1.2 Σύγκριση με αποτελέσματα Προγράμματος Περιφέρειας	68
5.1.3 Σύγκριση χρονοσειράς θέσης SELA και της ταχύτητάς του	69
5.1.4 Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης	70
5.2 Μετατοπίσεις σταθμών.....	71
5.2.1 Μετατοπίσεις μόνιμου σταθμού SELA.....	71
5.2.2 Μετατοπίσεις μη μόνιμων σταθμών	73
5.3 Υπολογισμός τεκτονικών ταχυτήτων	73
5.3.1 Στο γεωδαιτικό σύστημα ITRF2008.....	73
5.3.2 Ως προς την Ευρώπη	73
5.3.3 Ως προς τον σταθμό ΑΕΤΟ	73
5.3.4 Σχετική κίνηση σταθμών.....	74
Κεφάλαιο 6ο Συμπεράσματα και προτάσεις	75
6.1 Συμπεράσματα.....	75
6.2 Προτάσεις	76
Βιβλιογραφία.....	77
Παράρτημα.....	79

Περιεχόμενα Φωτογραφιών

Φωτογραφία 1-1	Άποψη οικισμού απο Βορρά, θέση SL09	5
Φωτογραφία 1-2	Επαρχιακή Οδός, 13.5.2012	6
Φωτογραφία 1-3	Διακρίνεται το ρέμα Σελλάς	6
Φωτογραφία 1-4	Σπάσιμο γεφυριού στο ρέμα Κουνάβι, θέση SL01	6
Φωτογραφία 1-5	Ρωγμή σε μάντρα αντιστήριξης στη θέση SL04	6
Φωτογραφία 2-1	Η σύνδεση του δέκτη στο διαδίκτυο	11
Φωτογραφία 2-2	Η στερέωση της βάσης κεραίας.....	11
Φωτογραφία 2-3	Η κεραία χωρίς θόλο	11
Φωτογραφία 2-4	Ο δέκτης.....	11
Φωτογραφία 2-5	SL01.....	12
Φωτογραφία 2-6	Θέση SL01	12
Φωτογραφία 2-7	Θέση SL02	12
Φωτογραφία 2-8	Θέση SL03	12
Φωτογραφία 2-9	Θέση SL04	13
Φωτογραφία 2-10	Θέση SL05	13
Φωτογραφία 2-11	Βάση κεραίας	13
Φωτογραφία 2-12	Υλοποίηση SL06.....	13
Φωτογραφία 2-13	Θέση SL07	13
Φωτογραφία 2-14	Θέση SL08	14
Φωτογραφία 2-15	Θέση SL09	14
Φωτογραφία 2-16	Κύλινδρος ρύθμισης τριχοχλίου	15
Φωτογραφία 2-17	Διάταξη ρύθμισης	15
Φωτογραφία 2-18	Διάταξη ρύθμισης	15

Περιεχόμενα Χαρτών

Χάρτης 1-1	Χάρτης Προσανατολισμού	5
Χάρτης 1-2	Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη περιοχής με σημειωμένη τη θέση του δικτύου ελέγχου, τη θέση της επαρχιακής οδού σε κλίμακα 1/50.000 [πηγή ΙΓΜΕ]	7
Χάρτης 2-1	Ορθοφωτογραφία της Κτηματολόγιο ΑΕ με σημειωμένο το δίκτυο. Κλίμακα 1/15000.....	10
Χάρτης 3-1	Οι 10 χρησιμοποιούμενοι σταθμοί του δικτύου μόνιμων σταθμών της IGS στην Ευρώπη και η περιοχή μελέτης [πηγή IGS].....	20
Χάρτης 3-2	Οι σχηματισμένες βάσεις GPS από σταθμούς της IGS προς τον μόνιμο σταθμό SELA	25
Χάρτης 3-3	Οι επιλεγμένες ανεξάρτητες βάσεις GPS στο τοπικό δίκτυο	26
Χάρτης 4-1	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον Κόσμο	43
Χάρτης 4-2	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς την Ευρώπη.....	55
Χάρτης 4-3	Απόσπασμα χάρτη με σημειωμένη τη ταχύτητα ΑΕΤΟ.[Πηγή Hollenstein, 2007]56	56
Χάρτης 4-4	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό ΑΕΤΟ	56
Χάρτης 4-5	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SELA	57
Χάρτης 4-6	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL01	58
Χάρτης 4-7	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL02	59
Χάρτης 4-8	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL03	60
Χάρτης 4-9	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL04	61
Χάρτης 4-10	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL05	62
Χάρτης 4-11	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL06	63
Χάρτης 4-12	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL07	64

Χάρτης 4-13	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL08	65
Χάρτης 4-14	Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL09	66

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1.1	Ταχύτητα Κατολίσθησης και Πιθανές Βλάβες, [Cruden & Varnes, 1996]	3
Πίνακας 2.1	Σύνοψη χαρακτηριστικών πρώτης μετρητικής περιόδου	17
Πίνακας 2.2	Σύνοψη χαρακτηριστικών δεύτερης μετρητικής περιόδου	17
Πίνακας 2.3	Σύνοψη χαρακτηριστικών τρίτης μετρητικής περιόδου	18
Πίνακας 2.4	Σύνοψη χαρακτηριστικών τέταρτης μετρητικής περιόδου	18
Πίνακας 3.1	Συντεταγμένες και ταχύτητες χρησιμοποιούμενων σταθμών στο ITRF2008	20
Πίνακας 3.2	Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης των βάσεων προς SELA.....	28
Πίνακας 3.3	Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης των βάσεων προς NOA1	29
Πίνακας 3.4	Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης των βάσεων τοπικού δικτύου	30
Πίνακας 3.5	Καρτεσιανές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού SELA	32
Πίνακας 3.6	Καρτεσιανές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού NOA1	33
Πίνακας 3.7	Καρτεσιανές συντεταγμένες δικτύου μη μόνιμων σταθμών	34
Πίνακας 4.1	Γεωδαιτικές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού SELA.....	36
Πίνακας 4.2	Γεωδαιτικές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού NOA1	37
Πίνακας 4.3	Γεωδαιτικές συντεταγμένες δικτύου μη μόνιμων σταθμών	38
Πίνακας 4.4	Μετατοπίσεις (mm) κατα Βορρά, Ανατολή και καθ'ύψος σταθμών SELA και NOA1.....	40
Πίνακας 4.5	Μετατοπίσεις (mm) κατα Βορρά, Ανατολή και καθ'ύψος του δικτύου μη μόνιμων σταθμών	41
Πίνακας 4.6	Ταχύτητες όλων των σταθμών ως προς τον κόσμο στο ITRF2008.....	42
Πίνακας 4.7	Ταχύτητες όλων των σταθμών ως προς την Ευρώπη	55
Πίνακας 4.8	Ταχύτητες ως προς AETO	56
Πίνακας 4.9	Ταχύτητες ως προς SELA	57
Πίνακας 4.10	Ταχύτητες ως προς SL01.....	58
Πίνακας 4.11	Ταχύτητες ως προς SL02.....	59
Πίνακας 4.12	Ταχύτητες ως προς SL03.....	60
Πίνακας 4.13	Ταχύτητες ως προς SL04.....	61
Πίνακας 4.14	Ταχύτητες ως προς SL05.....	62
Πίνακας 4.15	Ταχύτητες ως προς SL06.....	63
Πίνακας 4.16	Ταχύτητες ως προς SL07.....	64
Πίνακας 4.17	Ταχύτητες ως προς SL08.....	65
Πίνακας 4.18	Ταχύτητες ως προς SL09.....	66
Πίνακας 5.1	Σύγκριση ταχυτήτων σταθμού NOA1.....	67
Πίνακας 5.2	Σύγκριση υπολογισμένων μετατοπίσεων μεταξύ 1ης και 2ης περιόδου	68
Πίνακας 5.3	Σύγκριση ταχυτήτων σταθμού SELA	70
Πίνακας 6.1	Καρτεσιανές συντεταγμένες (ITRF2005) 1ης και 2ης περιόδου. Επίλυση Προγράμματος Περιφέρειας	79

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3-1	Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 1η περίοδος....	22
Διάγραμμα 3-2	Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 2η περίοδος....	22
Διάγραμμα 3-3	Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 3η περίοδος....	23
Διάγραμμα 3-4	Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 4η περίοδος....	23
Διάγραμμα 4-1	Κίνηση σταθμού SELA κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ'ύψος.....	44
Διάγραμμα 4-2	Κίνηση σταθμού NOA1 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ'ύψος	45

Διάγραμμα 4-3	Κίνηση σταθμού SL01 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	46
Διάγραμμα 4-4	Κίνηση σταθμού SL02 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	47
Διάγραμμα 4-5	Κίνηση σταθμού SL03 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	48
Διάγραμμα 4-6	Κίνηση σταθμού SL04 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	49
Διάγραμμα 4-7	Κίνηση σταθμού SL05 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	50
Διάγραμμα 4-8	Κίνηση σταθμού SL06 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	51
Διάγραμμα 4-9	Κίνηση σταθμού SL07 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	52
Διάγραμμα 4-10	Κίνηση σταθμού SL08 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	53
Διάγραμμα 4-11	Κίνηση σταθμού SL09 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος.....	54
Διάγραμμα 5-1	Κίνηση σταθμού SELA κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος. Επίλυση εργασίας και επίλυση Ινστιτούτου Γεωδυναμικής.....	69
Διάγραμμα 5-2	Χρονικές περίοδοι ομοιογενούς κατα πλάτος ταχύτητας σταθμού SELA.....	72

Κεφάλαιο 1ο Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Το έντονο ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας, είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιων γεωλογικών διεργασιών ή και ανθρωπογενών επεμβάσεων και παραμένει γενικά σταθερό εφόσον η διατμητική αντοχή των γεωυλικών είναι μεγαλύτερη από τις διατμητικές τάσεις που προκαλούνται από το ίδιο το βάρος τους ή από άλλες φορτίσεις. [Τσότσος, 1991]

Για διάφορους λόγους, η τοπική ευστάθεια μπορεί να ανατραπεί επιφέροντας μεγάλες καταστροφές στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, συχνά με πολύ σοβαρές κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες. Λόγω της σπουδαιότητας των συνεπειών τέτοιων φαινομένων, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολύ σοβαρές προσπάθειες εντοπισμού, πρόληψης και ελέγχου τέτοιων φαινομένων.

1.2 Κατολισθήσεις

1.2.1 Ορισμός

Με την γενική έννοια του όρου, κατολίσθηση είναι κάθε μικρή ή μεγάλη αλλαγή της επιφάνειας μιας κλιτύς, συνοδευόμενη από μετακίνηση υλικού, με ρήξη ή όχι της συνέχειας της, που προέρχεται από δυνάμεις βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια. Έτσι η κατολίσθηση εκφράζει το αποτέλεσμα της αναζήτησης μιας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους, στην οποία είναι δυνατή η ανθρώπινη επέμβαση για την πλήρη παύση ή την επιβράδυνση του φαινομένου. [Λάιος, 2010]

Ο όρος κατολίσθηση, όπως αυτός έχει επικρατήσει τις τελευταίες δεκαετίες, αφορά σχεδόν όλα τα είδη μετακίνησης μαζών (mass movements), συμπεριλαμβανομένων φαινομένων που αφορούν μικρή ή και καθόλου ολίσθηση, όπως αυτά καταπτώσεων βράχων, ανατροπών, ροών και ερπυσμών. Παραταύτα, ο όρος δεν περιλαμβάνει φαινόμενα όπως οι καθιζήσεις, οι χιονοστιβάδες και οι μετακινήσεις του πάγου. Κατολισθητικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα όχι μόνο στην ξηρά, αλλά και σε ταμειυτήρες, σε λίμνες ή και στη θάλασσα. [Varnes, 1984]

1.2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Οι μορφές και τα χαρακτηριστικά των κατολισθητικών φαινομένων παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ποικιλία και τα διάφορα συστήματα ταξινόμησης τους έχουν προταθεί κατά καιρούς, βασίζονται στον προσδιορισμό διαφόρων παραμέτρων όπως:

- Τον τύπο του υλικού κατολίσθησης
- Την περιεχόμενη υγρασία του
- Τύπο της κίνησης (κατάπτωση, ολίσθηση, ροή)
- Την ταχύτητα της κίνησης
- Το αίτιο κίνησης
- Την επιφάνεια ολίσθησης (επίπεδη-περιστροφική)
- Τη γεωμετρία και μορφολογία
- Το μηχανισμό ολίσθησης
- Τις κλιματικές συνθήκες
- Το περιβαλλοντολογικό καθεστώς
- Την ενεργότητα
- Το μέγεθος (βάθος - έκταση) και τη σπουδαιότητα

1.2.2.1 Ταξινόμηση κατά Varnes

Η επικρατούσα και πλέον χρησιμοποιούμενη προσέγγιση ταξινόμησης ενός κατολισθητικού φαινομένου οφείλεται στον Varnes και σχετίζεται με δυο βασικά κριτήρια, τον τύπο της κίνησης και το είδος του μετακινούμενου υλικού. Έτσι κάθε κατολίσθηση σύμφωνα με το σύστημα αυτό μπορεί να περιγραφεί με δύο λέξεις: η πρώτη αναφέρεται στον τύπο της κίνησης και η δεύτερη στο υλικό που μετακινείται (π.χ. ροή κορημάτων, ολίσθηση γαιών, ανατροπή βράχων κ.λ.π.). Η ταξινόμηση κατά Varnes εφαρμόζεται διεθνώς και σε όλους τους σχηματισμούς.

Ο τύπος της μετακίνησης μπορεί να αφορά σε (α) πτώσεις, (β) ανατροπές, (γ) ολισθήσεις, (δ) πλευρικές εξαπλώσεις, (ε) ροές ή και (στ) σύνθετες μετακινήσεις που αφορούν συνδυασμό περισσοτέρων τύπων μετακίνησης.

Σε σχέση με το μετακινούμενο υλικό, διακρίνονται κινήσεις οι οποίες εκδηλώνονται: (α) στο βραχώδες υπόβαθρο ή (β) σε εδαφικούς σχηματισμούς όπως γαίες ή κορήματα.

1.2.2.2 Ταξινόμηση βάσει ενεργότητας

Ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες στην έρευνα και την μελέτη των κατολισθήσεων είναι ο προσδιορισμός της ενεργότητας τους. Η ομάδα εργασίας της UNESCO για την παγκόσμια καταγραφή των κατολισθήσεων (WP\WLI,1993) πρότεινε τις παρακάτω παραμέτρους για τον προσδιορισμό της ενεργότητας των κατολισθήσεων:

Το καθεστώς ενεργότητας που αναφέρεται στο χρονικό των μετακινήσεων. Διακρίνονται σε (α) ενεργές, (β) επανενεργοποιημένες, (γ) παροδικά ανενεργές ή υπο αναστολή, (δ) ανενεργές, (ε) λανθάνουσας κατάστασης, (στ) μη ενεργοποιημένες, (ζ) σταθεροποιημένες και (η) απολιθωμένες.

Την κατανομή ενεργότητας με την οποία περιγράφεται ποια τμήματα της κατολίσθησης μετακινούνται και πώς εξελίσσεται χωρικά το φαινόμενο. Διακρίνονται σε (α) προωθούμενη, (β) ανάδρομη, (γ) διευρυνόμενη, (δ) προοδευτική και (ε) απομειούμενη.

Τον τύπο ενεργότητας, με τον οποίο καθορίζεται ο τρόπος που εκδηλώνονται οι διαφορετικές μετακινήσεις μέσα στην ίδια την μάζα της κατολίσθησης και διακρίνονται σε (α) σύνθετες, (β) πολλαπλές, (γ) διαδοχικές ή και (δ) απλές.

Οι ενεργές κατολισθήσεις διακρίνονται σχετικά εύκολα από ορισμένες χαρακτηριστικές ενδείξεις, όπως η κάθετη στη διεύθυνση της κατολίσθησης κύρια πτώση στη στέψη της, η οποία δεν καλύπτεται από βλάστηση και είναι πολύ απότομη, οι αποκλίσεις δέντρων και στύλων από την κατακόρυφο, οι μεταθέσεις και η διακοπή της συνέχειας οδών ή φρακτών, ή τέλος η παρατήρηση ρωγμών στο έδαφος και στις κατασκευές. [Τσότσος, 1991]

1.2.2.3 Ταξινόμηση βάσει ταχύτητας κίνησης

Η ταχύτητα μετακίνησης μιας κατολίσθησης είναι παράμετρος που σχετίζεται άμεσα με τον βαθμό επικινδυνότητας της, τις επιπτώσεις που έχει σε ανθρώπινες ζωές, βλάβες κτηρίων και έργων υποδομής καθώς και σε απώλεια γης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι συχνά είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της ταχύτητας μιας κατολίσθησης, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας που αναπτύσσει στα διάφορα στάδια εξέλιξής της ή ακόμα και στα διάφορα τμήματα της ή ακόμα και λόγω της διαφορετικής ταχύτητας των διάφορων τύπων μετακίνησης που αυτή περιλαμβάνει (στην περίπτωση των σύνθετων ολισθήσεων).[Λαΐος, 2010]

Οι επιπτώσεις που έχει μια κατολίσθηση αυξάνουν σημαντικά με την αύξηση της ταχύτητας μετακίνησης, αφού γενικά οι πολύ γρήγορες κατολισθήσεις προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες σε ζωές και περιουσίες σε σχέση με τις αργές. Ακόμα και μικρού μεγέθους «χιονοστιβάδες» κορημάτων μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές και απώλειες ανθρώπινων ζωών, ενώ

αντίθετα ακόμα και πολύ εκτεταμένες κατολισθήσεις, οι οποίες όμως μετακινούνται πολύ αργά, δεν προκαλούν ανθρώπινα θύματα, ενώ οι ζημιές είναι δυνατό να ελεγχθούν με λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας. [Λάιος, 2010]

Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται η συσχέτιση βλαβών που μπορεί να προκληθούν για δεδομένη κατηγορία ταχύτητας μετακίνησης.

Πίνακας 1.1 Ταχύτητα Κατολίσησης και Πιθανές Βλάβες, [Cruden & Varnes, 1996]
Table 1.1 Landslide Velocity and Possible Disaster, [Cruden & Varnes, 1996]

Κατηγορία ταχύτητας μετακίνησης	Περιγραφή	Πιθανές βλάβες
1	Εξαιρετικά αργή	Η μετακίνηση προσδιορίζεται μόνο με ενόργανες μετρήσεις λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι κατασκευές δεν υφίστανται βλάβες, όταν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.
Ταχύτητα φαινομένου:		5×10^{-7} mm/sec ή 16 mm/year
2	Πολύ αργή	Μερικές από τις μόνιμες κατασκευές παραμένουν ανέπαφες
Ταχύτητα φαινομένου:		5×10^{-5} mm/sec ή 1,6 m/year
3	Αργή	Δυνατή η λήψη μέτρων προστασίας κατά την ενεργοποίηση. Μερικές καλά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις μπορεί να διατηρηθούν με κατάλληλη συντήρηση, αν δεν υπάρξει ξαφνική επιτάχυνση της κίνησης.
Ταχύτητα φαινομένου:		5×10^{-3} mm/sec ή 13 m/month
4	Μέτρια	Μερικές από τις προσωρινές εγκαταστάσεις είναι δυνατό να διατηρηθούν
Ταχύτητα φαινομένου:		5×10^{-1} mm/sec ή 1,8 m/hour
5	Γρήγορη	Δυνατή η ασφαλής φυγή των κατοίκων. Σπίτια, εγκαταστάσεις και δίκτυα υποδομής με μεγάλες βλάβες ή τελείως κατεστραμμένα.
Ταχύτητα φαινομένου:		5×10^1 mm/sec ή 3 m/min
6	Πολύ γρήγορη	Μερικοί θάνατοι, περιορισμένος χρόνος για την ασφαλή φυγή όλων των κατοίκων
Ταχύτητα φαινομένου:		5×10^3 mm/sec ή 5 m/sec
7	Εξαιρετικά γρήγορη	Καταστροφές κτηρίων λόγω έντονων μετακινήσεων ή πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας, πολλοί θάνατοι, απίθανη η ύπαρξη επιζώντων

1.2.3 Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων

Οι παράγοντες που προκαλούν αυτά τα φαινόμενα είναι διάφοροι και με βάση τα αποτελέσματα της επίδρασής τους, ταξινομούνται σε προκαταρκτικούς παράγοντες και παράγοντες εναύσματος κίνησης.

Οι προκαταρκτικοί παράγοντες, συντελούν προοδευτικά στην αστάθεια του πρανούς, το οποίο με την πάροδο του χρόνου γίνεται επιρρεπές στην ολίσθηση, χωρίς όμως να έχουμε έναρξη της μετακίνησης. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης αλλά και παράγοντες που συμβάλλουν στην ύπαρξη χαμηλής διατμητικής αντοχής ή στη μείωσή της. Οι πρώτοι σχετίζονται με την αφαίρεση της υποστήριξης του πρανούς, την επιφόρτιση του, την εφαρμογή παροδικών τάσεων, ή και την τοπική ανύψωσή του ως αποτέλεσμα τεκτονικών κινήσεων ή σεισμικής δραστηριότητας. Οι δεύτεροι σχετίζονται με τη γεωμετρία πρανούς, τη λιθολογική σύσταση και υφή του, με τις μεταβολές των τάσεων λόγω του νερού των πόρων, την αποσάθρωση και άλλες φυσικοχημικές διεργασίες που μπορούν να λαμβάνουν χώρα.

Οι παράγοντες εναύσματος κίνησης προκαλούν την έναρξη της μετακίνησης. Οι παράγοντες αυτοί συντελούν στη μετατροπή ενός πρανούς από οριακά σταθερό (λόγω των προκαταρκτικών παραγόντων) σε ενεργά ασταθές με αποτέλεσμα την κίνηση μαζών. Έναυσμα εκδήλωσης φαινομένων κατολίσησης μπορεί να αποτελέσει έντονη βροχόπτωση, γρήγορο λιώσιμο χιονιού, μεταβολές στη στάθμη του υπόγειου νερού, ηφαιστιακή δράση ή σεισμική δραστηριότητα.

1.2.4 Η μελέτη κατολισθήσεων και ο ρόλος της δορυφορικής γεωδαισίας

Η μελέτη τέτοιων φαινομένων μπορεί να αφορά εκδηλωμένη (ενεργή ή μη) κατολισθήση, ή και εντοπισμό περιοχών αυξημένου κινδύνου εκδήλωσης κατολισθήσεων, όπως για παράδειγμα, περιοχές που έχουν πρόσφατα πληγεί από πυρκαγιές. Η μελέτη μπορεί να γίνεται με εφαρμογή επίγειων μεθόδων (ground studies) ή και απομακρυσμένων μεθόδων (remote sensing) και σχετίζεται με την ειδικότητα του μελετητή. Η ολοκληρωτική κατανόηση και εκτίμηση των διαστάσεων τόσο πολυσύνθετων φαινομένων απαιτεί τη συνεργασία επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, όπως γεωλόγων, γεωτεχνικών, τοπογράφων μηχανικών κτλ.

Σε κάθε περίπτωση, για την μελέτη περιοχών που παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης κατολισθήσεων, είτε για την μελέτη υφιστάμενων κατολισθήσεων, ανεξαρτήτως της ταξινόμησής τους σε σχέση με την ενεργότητά τους ή την ταχύτητά τους, απαιτείται μια αξιόπιστη και συστηματική ανίχνευση, καταγραφή και παρακολούθηση των εδαφικών κινήσεων.

Η δορυφορική γεωδαισία, ως εργαλείο μελέτης, αποτελεί ένα σύγχρονο και αρκετά αποτελεσματικό τρόπο παρακολούθησης και καταγραφής της κίνησης του εδάφους. Η μελέτη μικρομετακινήσεων κρίσιμων τεχνικών έργων καθώς επίσης και οι γεωδυναμικές εφαρμογές, όπως είναι η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων του φλοιού της γης, αποτελούν συνήθεις εργασίες με τη χρήση της. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η απαίτηση καθαρού ορίζοντα για τη λήψη των δορυφορικών σημάτων που την καθιστά μη εφαρμόσιμη σε περιοχές με εμπόδια, όπως ψηλά δέντρα ή και κτήρια.

Η εφαρμογή της αφορά στην εγκατάσταση δικτύου μόνιμων αλλά και μη μόνιμων σταθμών καταγραφής δορυφορικών παρατηρήσεων σε κρίσιμες για την μελέτη του φαινομένου θέσεις. Ειδικότερα, η εγκατάσταση μόνιμων σταθμών, προσδίδει άλλη διάσταση στη μελέτη του φαινομένου καθώς δίνει τη δυνατότητα της συνεχούς παρατήρησής του.

1.3 Οι κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο

1.3.1 Γενικά

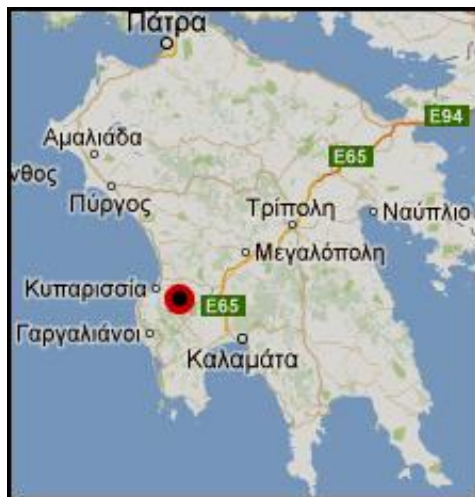
Το φαινόμενο των κατολισθήσεων στην χώρα μας είναι αρκετά σύνθητες και ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά την περίοδο 1960-1970 καταγράφηκαν από την πολιτεία 600 περίπου κατολισθαίνοντες οικισμοί, σε ορισμένες δε των περιπτώσεων, η σοβαρότητα της κατάστασης ήταν τέτοια που οι οικισμοί εγκαταλήφθηκαν. [Λάιος, 2010]

Αυτό οφείλεται σε ένα συνδυασμό από αιτίες που περιλαμβάνουν την πολυσύνθετη γεωλογική δομή, την ύπαρξη ακανόνιστων σε έκταση, συχνότητα και ύψος βροχοπτώσεων, καθώς επίσης και στον υψηλό δείκτη σεισμικότητας της χώρας μας που προκαλεί έντονη τεκτονική καταπόνηση των σχηματισμών. Στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων συμβάλλουν αποφασιστικά οι ανθρώπινες δραστηριότητες στα πλαίσια της συνεχώς αυξανόμενης αστικοποίησης και επέκτασης των περιοχών δόμησης, οι οποίες λαμβάνουν χώρα χωρίς τις απαραίτητες τεχνικογεωλογικές μελέτες.

Κατολισθήσεις εκδηλώνονται σε όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς, αλλά ιδιαίτερα το φαινόμενο παρατηρείται στην Δυτική και Κεντρική Ελλάδα. Ειδικά σε πολλές περιοχές της Περιφέρειας Πελοποννήσου, έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια μεγάλες κατολισθήσεις που προκάλεσαν εκτεταμένες καταστροφές σε μεγάλους οδικούς άξονες. Ως κύριες περιπτώσεις αναφέρονται οι καθιζήσεις – κατολισθήσεις το Φεβρουάριο 2003 στο τμήμα της Εθνικής οδού Κορίνθου – Τρίπολης (στην περιοχή μεταξύ της διασταύρωσης της Νεμέας και του κόμβου Στέρνας), όπου έγιναν αλληπάλληλες καταπτώσεις βράχων, και στη Νέα Εθνική Οδό Μεγαλόπολης – Καλαμάτας (τμήμα Παραδείσια – Τσακώνα) που οι σχετικές μελέτες έδειξαν ότι πρόκειται για τη

μεγαλύτερη κατολίσθηση που έχει επηρεάσει το Εθνικό οδικό δίκτυο, πολύ μεγαλύτερη από εκείνη της Μαλακάσας το 1995, και η οποία είχε σαν αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή του οδοστρώματος της Εθνικής οδού σε μήκος μεγαλύτερο των 200m. [Λάιος, 2010]

1.3.2 Ο οικισμός Σελλάς Μεσσηνίας και η ευρύτερη περιοχή



Χάρτης 1-1 Χαρτης Προσανατολισμού

Ο οικισμός Σελλάς της τοπικής κοινότητας Σελλά, δημοτικής ενότητας Τριπύλης του δήμου Τριφυλίας, βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Νομού Μεσσηνίας σε οδική απόσταση 20km από την πόλη Κυπαρισσίας. Αναπτύσσεται σε μια περιοχή με έντονα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και μέσο υψόμετρο 500m ενώ ο οικισμός καλύπτει μια έκταση 13 εκταρίων. Ο οικισμός διασχίζεται από επαρχιακή οδό και αποτελείται από δυο οικιστικές ενότητες εκατέρωθεν του ρέματος “Κουνάβι”. Τα κτίσματα αφορούν ως επί το πλείστον σε παλιές λιθόκτιστες οικίες ενώ απαντώνται και σύγχρονες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Φωτογραφία 1-1
Photo 1-1

Άποψη οικισμού από Βορρά, θέση SL09
Village view from North, SL09 area

Οι κλίσεις που απαντώνται στην οικιστική ζώνη, ξεκινάνε από 10% και φτάνουν και μέχρι 50% στις άκρες του οικισμού, ενώ η μέση κλίση του εδάφους υπολογίζεται σε 25-30%. Για το λόγο αυτό οι ιδιοκτησίες είναι διαμορφωμένες σε αναβαθμίδες και υπάρχει πληθώρα έργων αντιστήριξης. Στα όρια και ανάντι του οικισμού, υπάρχει δάσος από μαύρη πεύκη που αναπτύσσεται σε πλαγιά με πολύ μεγάλες κλίσεις.

Ο οικισμός, αλλά και η ευρύτερη περιοχή έχει κατα καιρούς δείξει σημάδια αστάθειας των πρανών, με κυριότερες συνέπειες όλων τις καταστροφές του επαρχιακού οδικού δικτύου που διασχίζει τον οικισμό και ειδικότερα στο τμήμα από το ρέμα Σελλάς ή Αρκαδικός εως τον οικισμό. Αυτό το τμήμα της οδού, έχει επανειλημμένα υποστεί βλάβες και έχει διορθωθεί ακόμη και με νέα χάραξη. Η τελευταία καταστροφή φαίνεται στις Φωτογραφίες 1-2 και 1-3 και έλαβε χώρα στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ της 3ης και της 4ης περιόδου μετρήσεων. Τα τελευταία χρόνια, ανησυχία έχει προκαλέσει στους κατοίκους του χωριού η αυξημένη συχνότητα εμφάνισης ρωγμών σε σπίτια, μάντρες και διάφορα τεχνικά έργα.



Φωτογραφία 1-2 Επαρχιακή Οδός, 13.5.2012
Photo 1-2 Road failure, date 13.5.2012



Φωτογραφία 1-3 Διακρίνεται το ρέμα Σελλάς
Photo 1-3 Sellas river is visible



Φωτογραφία 1-4 Σπάσιμο γεφυριού στο ρέμα
Κουνάβι, θέση SL01
Photo 1-4 Concrete break on bridge, SL01 area

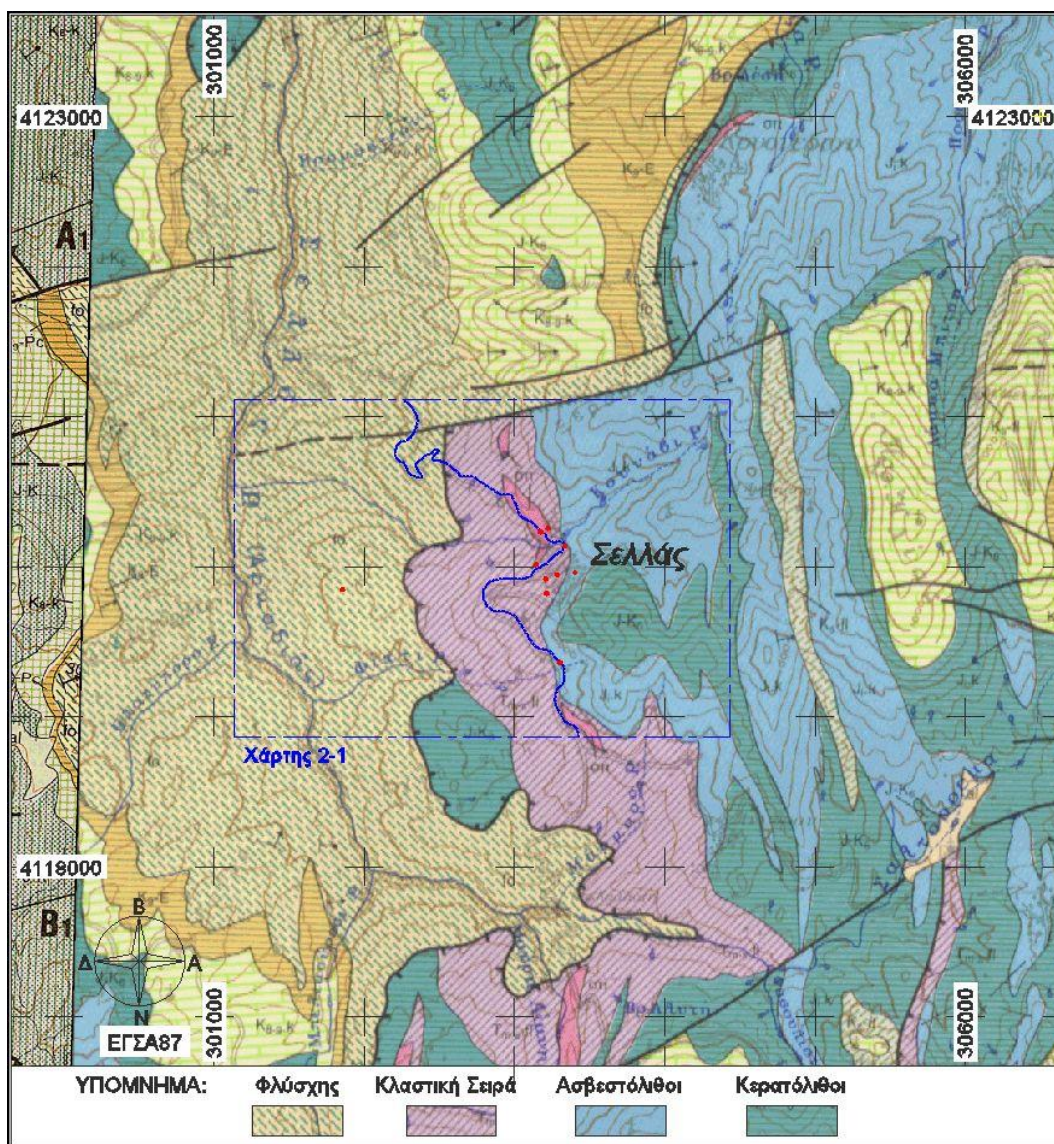


Φωτογραφία 1-5 Ρωγμή σε μάντρα
αντιστήριξης στη θέση SL04
Photo 1-5 Wall crack, SL04 area

Στην αυξημένη εκδήλωση τέτοιων φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή, συνηγορούν στοιχεία που μπορούν να εξαχθούν εύκολα από την μελέτη του γεωλογικού χάρτη της περιοχής.

Η τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή, είναι αυξημένη αφού η ευρύτερη περιοχή μελέτης βρίσκεται στο όριο δυο μεγάλων γεωτεκτονικών ενοτήτων του Ελληνικού χώρου [Παπανικολάου, 1986]. Η κατώτερη γεωτεκτονική ενότητα (ενότητα Γαβρόβου) δομείται στην περιοχή μελέτης από σχηματισμούς του φλύσχη (fo – κίτρινο χρώμα στο χάρτη) ενώ η ανώτερη γεωτεκτονική ενότητα (ενότητα Ωλωνού– Πίνδου), δομείται στην περιοχή μελέτης από ηφαιστειογενείς σχηματισμούς (κλαστική σειρά, χρώμα ροζ), πελαγικούς ασβεστόλιθους (J₁K μπλέ χρώμα) και κερατόλιθους (J-K₆ πράσινο χρώμα). Η επαφή αυτών των δυο γεωτεκτονικών ενοτήτων γίνεται σε απόσταση 600μ δυτικά του οικισμού και σημειώνεται στο Χάρτη 1-2 με οδοντωτή γραμμή.

Αυτή η έντονη τεκτονική καταπόνηση της ευρύτερης περιοχής, σε συνδυασμό με το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο (κλίσεις) και την ύπαρξη υπόγειου νερού, αποτελούν παράγοντες που σαφώς ευνοούν την ανάπτυξη κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή. Το μέγεθος και η ενεργότητα του φαινομένου, αναμένεται να σχετίζεται με τον υδρολογικό κύκλο και το πάχος του υδροφόρου ορίζοντα.



Χάρτης 1-2 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη περιοχής με σημειωμένη τη θέση του δικτύου ελέγχου, τη θέση της επαρχιακής οδού σε κλίμακα 1/50.000 [πηγή ΙΓΜΕ]

Map 1-2 Drawn gps network and road on region's geological map on scale 1/50.000 [source IGME]

1.4 Το πρόγραμμα της Περιφέρειας Πελοποννήσου

Η αναγκαιότητα για την πρόληψη από τέτοιας αιτίας καταστροφές απαιτεί αφενός την συστηματική παρακολούθηση ακόμα και περιοχών με γνωστή εν γένει συμπεριφορά, και αφετέρου την ευαισθητοποίηση των ιθυνουσών αρχών απέναντι σε τέτοιους κινδύνους.

Στο παραπάνω πλαίσιο και για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων, αναπτύχθηκε από τη Περιφέρεια Πελοποννήσου ένα μόνιμο πιλοτικό σύστημα παρακολούθησης περιοχών της που παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας πρανών με τη χρήση των πλέον σύγχρονων δορυφορικών μεθόδων. Ταυτόχρονα έγινε και εκπαίδευση των τοπικών δημόσιων αρχών της περιφέρειας στη χρήση και βέλτιστη αξιοποίηση του συστήματος για την αποτελεσματική πρόληψη και αντιμετώπιση των φαινομένων αλλά και την προστασία των πολιτών, του φυσικού και οικιστικού περιβάλλοντος της περιφέρειας.

Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε έχει τίτλο «Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης της αστάθειας κλιτύων για την πρόληψη κατολισθήσεων και εκπαίδευση των τοπικών δημοσίων αρχών στην Περιφέρεια Πελοποννήσου», και περιλαμβάνει ένα σύνολο Δράσεων και Ενεργειών.

Στα πλαίσια της Ενέργειας «Καθορισμός Περιοχών Παρακολούθησης» πραγματοποιήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες φορείς του έργου μια πλήρης καταγραφή και ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης και μετά από επιτόπιες επισκέψεις καθορίστηκαν οι καταλληλότερες θέσεις προς παρακολούθηση. Οι δύο περιοχές, που επιλέχθηκαν να παρακολουθηθούν ήταν οι οικιστικές περιοχές Σελλάς Μεσσηνίας και Χαλκείο Κορινθίας.

Σε επόμενη δράση εγκαταστάθηκαν στις θέσεις αυτές μόνιμοι σταθμοί συνεχούς καταγραφής παρατηρήσεων στο σύστημα GPS και GLONASS και ιδρύθηκε ένα δίκτυο μη μόνιμων σταθμών. Οι μόνιμοι σταθμοί καταγράφουν παρατηρήσεις διαρκώς, ενώ το δίκτυο των μη μόνιμων σταθμών μετρήθηκε δυο μόλις φορές σε ένα διάστημα 79 ημερών.

Επόμενη ενέργεια του έργου, αφορούσε την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων GPS και τον υπολογισμό της παραμόρφωσης. Όμως, όπως τελικά απεδείχθη, το χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων σε συνδυασμό με την μικρή σχετικά ταχύτητα εκδήλωσης του φαινομένου, δεν επέτρεψε την εξαγωγή κάποιου ασφαλούς συμπεράσματος σχετικά με τον υπολογισμό της παραμόρφωσης της περιοχής.

1.5 Σκοπός παρούσας εργασίας

Στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, μελετώνται οι τεκτονικές μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου που ιδρύθηκε στην περιοχή μέσω δορυφορικών παρατηρήσεων που έγιναν σε χρονικό διάστημα δεκαοκτώ μηνών.

Για το σκοπό αυτό στις εργασίες της διπλωματικής περιλαμβάνονται εργασίες υπαίθρου και συγκεκριμένα μετρήσεις στο δίκτυο των μη μόνιμων σταθμών. Οι μετρήσεις έγιναν δύο φορές σε ένα χρονικό διάστημα 197 ημερών η μία από την άλλη. Η τελική επεξεργασία των δεδομένων συμπεριέλαβε και τα δεδομένα και από τις προηγούμενες δυο περιόδους μετρήσεων που είχαν ήδη εκτελεστεί στα πλαίσια του προγράμματος της Περιφέρειας.

Η επεξεργασία έγινε στο σύστημα ITRF2008 με το επιστημονικό πακέτο Bernese GPS Software v.5.0 και συμπεριέλαβε διαθέσιμα δεδομένα που αφορούν σε χρονικό διάστημα 18 μηνών. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκε η θέση του μόνιμου σταθμού GPS ανα 15 περίπου ημέρες, και προσδιορίστηκαν οι θέσεις των μη μόνιμων σταθμών GPS, και στις 4 περιόδους μέτρησης του δικτύου μη μόνιμων σταθμών. Παράλληλα ως μέτρο ελέγχου της ποιότητας επίλυσης, προσδιορίστηκε η θέση του μόνιμου σταθμού NOA1 που ανήκει στο δίκτυο της EUREF.

Κεφάλαιο 2ο Εργασίες πεδίου

2.1 Γενικά

Η μελέτη φαινομένων κατολισθήσης δεν μπορεί προφανώς να γίνεται με στοιχεία κίνησης ενός μόνο σημείου, αλλά απαιτείται η γνώση της κίνησης του εδάφους σε όσο το δυνατό πιο πολλές θέσεις. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να ιδρύεται ένα δίκτυο μη μόνιμων σταθμών καταγραφής δορυφορικών παρατηρήσεων αφού τα κόστη κατασκευής και λειτουργίας ενός μόνιμου σταθμού είναι αρκετά υψηλά.

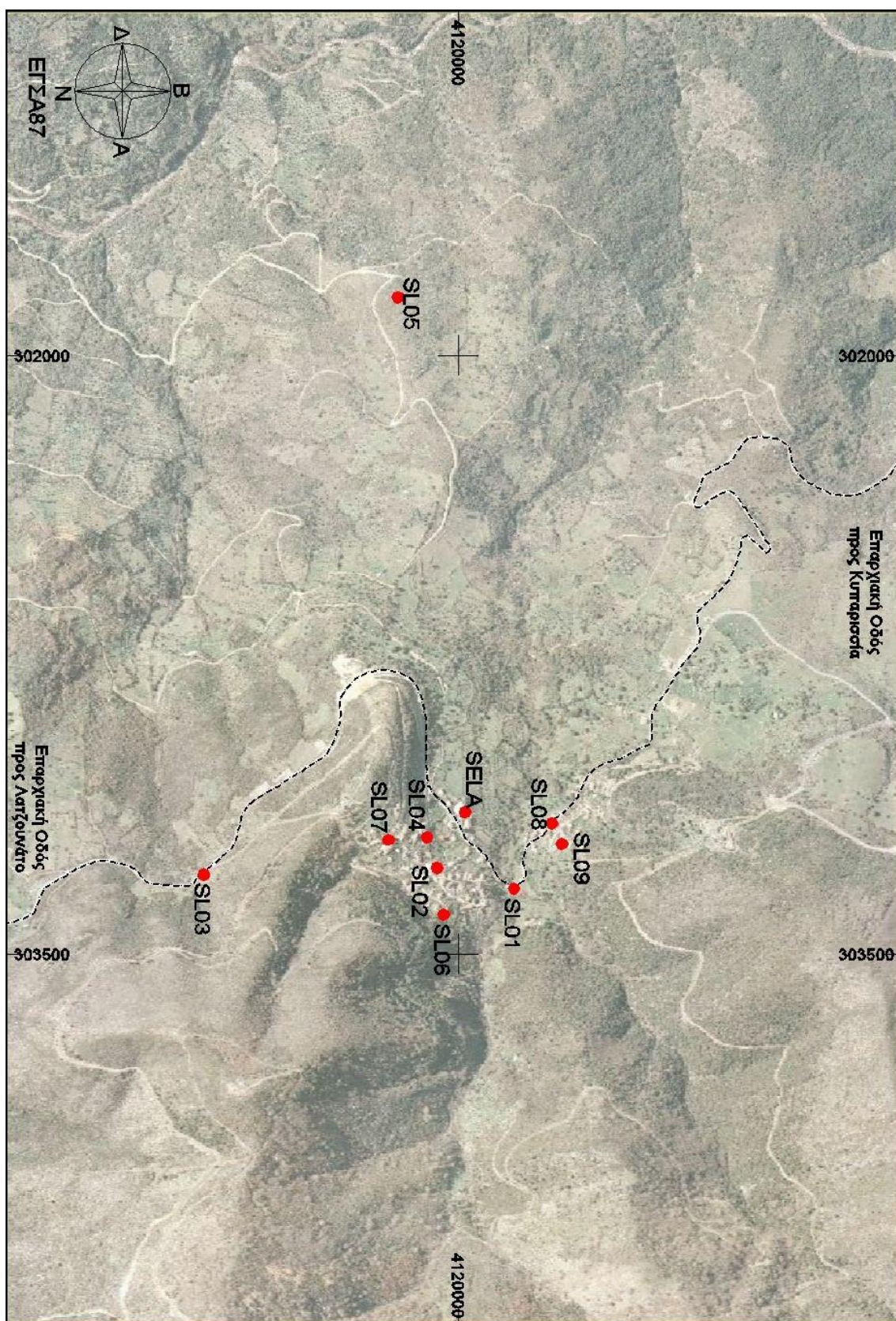
Το δίκτυο, πρέπει να καταλαμβάνει θέσεις που θα εξυπηρετούν με το βέλτιστο τρόπο τη μελέτη του φαινομένου. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να επιλέγονται σημεία με καλή διασπορά στην περιοχή μελέτης και αν υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία, να υλοποιούνται σε περιοχές που το φαινόμενο εξελίσσεται πιο δυναμικά.

Το δίκτυο σταθμών θα πρέπει να περιλαμβάνει υποχρεωτικά και θέσεις εκτός της περιοχής που μελετάται το φαινόμενο ώστε να καταστεί δυνατό να υπολογιστούν οι σχετικές μετακινήσεις όλων των εδαφικών σημείων που μετρώνται και συνεπώς να υπολογιστούν τα όρια της περιοχής εκδήλωσης του φαινομένου. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνεται με τη χρήση δεδομένων από υφιστάμενους μόνιμους σταθμούς που βρίσκονται ήδη εγκατεστημένοι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Η επιλογή της ακριβούς θέσης των μόνιμων σταθμών σε ένα δίκτυο σταθμών μελέτης φαινομένου κατολισθήσης, σχετίζεται περισσότερο με την απρόσκοπτη και συνεχή λειτουργία τους, κατα συνέπεια επιλέγονται θέσεις προστατευμένες, με καλή ορατότητα προς τον ουράνιο θόλο και με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο ώστε να είναι δυνατός ο εξ αποστάσεως χειρισμός του σταθμού αλλά και η αναμετάδοση δεδομένων. Οι μόνιμοι σταθμοί θα πρέπει να ιδρύονται σε θέσεις εντός περιοχής που κατολισθαίνει αφού έτσι είναι δυνατό να ελέγχεται η εξέλιξη του φαινομένου ακόμη και σε πραγματικό χρόνο.

2.2 Το δίκτυο σταθμών μέτρησης

Όπως προαναφέρθηκε, η ίδρυση του δικτύου μόνιμου και μη μόνιμων σταθμών έγινε από την Περιφέρεια Πελοποννήσου στα πλαίσια του προαναφερθέντος στο εισαγωγικό κεφάλαιο έργου για την ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης της αστάθειας κλιτύων για την πρόληψη κατολισθήσεων. Το δίκτυο περιλαμβάνει 9 θέσεις μη μόνιμων σταθμών και ένα μόνιμο σταθμό.



Χάρτης 2-1
Map 2-1

Ορθοφωτογραφία της Κρηματοδόχου ΑΕ με σημειωμένο το δίκτυο. Κλίμακα 1/15 000
Κιματολόγιο ΑΕ ορθορθοτο with drawin Network. Scale 1/15 000

2.2.1 Μόνιμος Σταθμός SELA



Φωτογραφία 2-1 Η σύνδεση του δέκτη στο διαδίκτυο
Photo 2-1 Receiver connected to internet



Φωτογραφία 2-2 Η στερέωση της βάσης κεραίας
Photo 2-2 Fixation of antenna base



Φωτογραφία 2-3 Η κεραία χωρίς θόλο
Photo 2-3 Antenna w/o radome



Φωτογραφία 2-4 Ο δέκτης
Photo 2-4 Receiver

2.2.1.1 Υλοποίηση

Ο μόνιμος σταθμός υλοποιήθηκε με ειδική βάση κεραίας που στερεώθηκε μόνιμα σε τοίχο του κτηρίου που στεγάζει το ΚΕΠ του οικισμού Σελλά, κτήριο που βρίσκεται στο κέντρο περίπου του οικισμού. Η θέση αυτή εξασφαλίζει την προστασία του δέκτη αλλά και την απρόσκοπτη σύνδεσή του με το διαδίκτυο.

Προφανώς, η ευστάθεια της ειδικής βάσης στήριξης της κεραίας που υλοποιεί τον σταθμό, δεν ήταν η επιθυμητή, έτσι έγινε εκ νέου στερέωσή της με την κατασκευή αντιρίδων. Όπως θα φανεί και στα επόμενα κεφάλαια, οι ενέργειες της στερέωσης σε νέα θέση έγιναν στο χρονικό διάστημα μεταξύ της 75ης και 89ης ημέρας του 2011. Η τελική υλοποίηση που βρίσκεται περί τα 8cm μακριά της αρχικής, κατέστησε αδύνατη τη χρήση των μέχρι τότε παρατηρήσεων στον υπολογισμό της ταχύτητας του σταθμού.

2.2.1.2 Δέκτης

Πρόκειται για τον δέκτη "TPS NET-G3A" της Topcon, που έχει τη δυνατότητα να καταγράφει παρατηρήσεις φάσης και κώδικα και στις δύο συχνότητες των συστημάτων GPS και GLONASS.

Ο δέκτης είναι κατα κανόνα ρυθμισμένος να καταγράφει παρατηρήσεις ανα 30sec όμως το διαστημα καταγραφής παρατηρήσεων μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με την περίπτωση. Παραταύτα, τις ημέρες μετρήσεων του δικτύου μη μόνιμων σταθμών, όταν το διάστημα καταγραφής θα έπρεπε να είναι 15sec ώστε να υπάρξει μια κοινή συχνότητα καταγραφής με τους δέκτες που μετρούσαν το δίκτυο μη μόνιμων σταθμών, ο δέκτης δεν ρυθμίστηκε πάντοτε κατάλληλα. Από τις τέσσερις περιόδους μετρήσεων που έγιναν, δυστυχώς, μόνο τη δεύτερη ο σταθμός είχε ρυθμιστεί να καταγράφει παρατηρήσεις ανα 15sec, γεγονός που λόγω του επιλεγμένου τρόπου επίλυσης του δικτύου, οδήγησε στην μη εκμετάλλευση όλων των διαθέσιμων δορυφορικών παρατηρήσεων.

2.2.1.3 Κεραία

Η κεραία που δίνει τη δυνατότητα της πλήρους εκμετάλλευσης των δυνατοτήτων του δέκτη, προέρχεται από την ίδια κατασκευάστρια εταιρεία και αφορά στο μοντέλο "TPSCR.G3 / TPSH". Η κεραία είναι τύπου choke ring και διαθέτει προστατευτικό θόλο (radome) ώστε να ελαχιστοποιεί το σφάλμα πολυανάκλασης. Το ύψος κεραίας είναι 0.0000m.

2.2.2 Μη μόνιμοι σταθμοί

Η υλοποίηση του δικτύου μη μόνιμων σταθμών έγινε σε διάφορες θέσεις και με διάφορους τρόπους, όπως αναλύεται στα επόμενα. Η διασπορά των σημείων εντός του οικισμού κρίνεται ικανοποιητική ενώ για τη καλύτερη μελέτη του φαινομένου, ιδρύθηκαν και 2 σημεία εκτός του οικισμού, τα SL03 και SL05.

2.2.2.1 SL01



Φωτογραφία 2-5 SL01
Photo 2-5 SL01



Φωτογραφία 2-6 Θέση SL01
Photo 2-6 SL01 area

Πρόκειται για θέση όπου σημάδια κατολίθησης εμφανίζονται με ρωγμές και σπασίματα πάνω σε γεφύρι. Για την υλοποίηση του σημείου, χρησιμοποιήθηκε ορειχάλκινος στόχος με ανάγλυφο σημείο κέντρωσης που στερέωθηκε με κόλλα σε κατάλληλης διαμέτρου οπή που προηγουμένως ανοίχθηκε με δράπανο στο γεφύρι.

2.2.2.2 SL02

Το σημείο βρίσκεται σε ταράτσα δίπλα στο καφενείο του χωριού και υλοποιήθηκε με ατσαλόκαρφο. Η θέση αυτή είναι κοντά σε τοίχο διπλανού κτιρίου ο οποίος εμποδίζει την λήψη σήματος από δορυφόρους όταν βρίσκονται χαμηλά στον ορίζοντα.



Φωτογραφία 2-7 Θέση SL02
Photo 2-7 SL02 area

2.2.2.3 SL03

Η θέση αυτή είναι απομακρυσμένη και βρίσκεται στα Νότια του χωριού επί της επαρχιακής οδού προς Λατζουνάτο. Το σημείο υλοποιήθηκε με ατσαλόκαρφο πάνω σε τεχνικό έργο αντιστήριξης αγροτικής οδοποιίας. Παρουσιάζει δυσκολία στη τοποθέτηση του τρίποδα, αφού δεν υπάρχει αρκετός χώρος ώστε να ανοίξουν τα πόδια του ομοιόμορφα.



Φωτογραφία 2-8 Θέση SL03
Photo 2-8 SL03 area

2.2.2.4 SL04

Είναι σημείο υλοποιημένο με ασαλόκαρφο πάνω σε τσιμεντένιο κράσπεδο στην άκρη του δρόμου, μέσα στον οικισμό. Βρίσκεται αρκετά κοντά σε εγκαταλειμμένο κτήριο που παρουσιάζει έντονες ρωγμές.



Φωτογραφία 2-9 Θέση SL04
Photo 2-9 SL04 area

2.2.2.5 SL05

Πρόκειται για τριγωνομετρικό της ΓΥΣ που βρίσκεται στα κατάντι του οικισμού και σε απόσταση 1300μ περίπου. Στο τριγωνομετρικό έλειπε η πλακέτα, έτσι διατρήθηκε με δράπανο η θέση και τοποθετήθηκε κατακορύφως υποδοχέας βάσης κεραίας.

Η χρήση του κατασκευασμένου σε τόρνο ορειχάλκινου συστήματος υποδοχέα / βάσης κεραίας, εξασφαλίζει την επιθυμητή εξάλειψη του σφάλματος κέντρωσης.



Φωτογραφία 2-10 Θέση SL05
Photo 2-10 SL05 area



Φωτογραφία 2-11 Βάση κεραίας
Photo 2-11 Antenna base

2.2.2.6 SL06

Το σημείο έχει υλοποιηθεί με ασαλόκαρφο πάνω σε τεχνικό έργο αντιστήριξης και βρίσκεται στα όρια του οικισμού. Στην διπλανή φωτογραφία, φαίνεται η υλοποίηση του σημείου, τυπικό δείγμα υλοποίησης με ασαλόκαρφο. Διακρίνεται η κόλλα στερέωσης. Η κεφαλή του καρφιού είναι παραμορφωμένη και βρίσκεται έκκεντρα σε σχέση με τις ροδέλες

Φωτογραφία 2-12 Υλοποίηση SL06
Photo 2-12 SL06 realization

**2.2.2.7 SL07**

Όπως και το προηγούμενο, το σημείο αυτό είναι υλοποιημένο πάνω σε τσιμεντένιο τοιχείο στην άκρη δρόμου μέσα στο χωριό. Όπως φαίνεται και στη διπλανή φωτογραφία, δίπλα στο σημείο (αριστερά στη φωτογραφία) υπάρχει φυλλοβόλο δέντρο που εμποδίζει τη λήψη δορυφορικού σήματος τους θερινούς μήνες.

Φωτογραφία 2-13 Θέση SL07
Photo 2-13 SL07 area



2.2.2.8 SL08

Το σημείο βρίσκεται εντός των ορίων του οικισμού, στην άκρη της επαρχιακής οδού, πάνω σε τοιχείο αντιστήριξης της και υλοποιείται με ασαλόκαρφο. Αφορά σε ακατάλληλη θέση λόγω της ύπαρξης φυλλοβόλου δέντρου (Μουριά) σε πολύ κοντινή απόσταση



Φωτογραφία 2-14 Θέση SL08
Photo 2-14 SL08 area

2.2.2.9 SL09

Πρόκειται για θέση στα βόρεια και εντός των ορίων του οικισμού, υλοποιημένη με ασαλόκαρφο πάνω σε τιμεντένιο τεχνικό έργο.



Φωτογραφία 2-15 Θέση SL09
Photo 2-15 SL09 area

2.3 Μετρητικός εξοπλισμός

2.3.1 Γενικά

Συχνά η επιλογή συγκεκριμένης μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί για την επίλυση του ενός δικτύου γίνεται συναρτήσει του διαθέσιμου μετρητικού εξοπλισμού και των διαθέσιμων οικονομικών. Στην προκειμένη περίπτωση, πέρα από την λειτουργία του μόνιμου σταθμού, ήταν διαθέσιμοι δέκτες του συστήματος GPS που λαμβάνουν σήματα και στις δύο συχνότητες ή μόνο στην L1.

Για μικρές βάσεις, της τάξης των 5km, η επίλυση των ασαφειών μπορεί να γίνει απευθείας στον κάθε φορέα L1 ή L2, αφού τα σφάλματα της ατμόσφαιρας απαλείφονται σχεδόν πλήρως από τις διπλές διαφορές και μάλιστα η τελική συνόρθωση ενδείκνυται να γίνεται μόνο με παρατηρήσεις στην L1, ασχета αν διατίθενται δέκτες διπλής συχνότητας. [Φωτίου Α.- Πικριδιάς Χ., 2006]

Έτσι για τέτοιας έκτασης δίκτυο, η επιλογή μεταξύ μονόσυχνων και διπλόσυχνων δεκτών ανάγεται στην επιλογή των δεκτών με την υψηλότερη ποιότητα και αξιοπιστία.

2.3.2 Οι δέκτες

Οι διπλόσυχνοι δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα μοντέλα "TRM4000SSI" και "TRM4700" της Trimble. Καταγράφουν παρατηρήσεις φάσης φορέα L1 και L2, και παρατηρήσεις κώδικα C/A και P στην πρώτη φέρουσα συχνότητα.

Οι μονόσυχνοι δέκτες αφορούν στο μοντέλο "ProMark3" της Ashtech, δέκτες που καταγράφουν μετρήσεις φάσης στην L1 και κώδικα C/A.

2.3.3 Οι κεραίες

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις διαφορετικοί τύποι κεραιών. Για τους διπλόσυχνους δέκτες χρησιμοποιήθηκαν οι κεραίες της ίδιας κατασκευάστριας εταιρίας Trimble και συγκεκριμένα τα μοντέλα “Zephyr”, “Compact L1/L2 w/ GP” και “ Microcenter L1/L2 w/ GP”. Η κεραία τύπου “NAP100” της Ashtech χρησιμοποιήθηκε με τους μονόσυχνους δέκτες αφού μαζί αποτελούν σύστημα δέκτη - κεραίας.

Σημαντικό χαρακτηριστικό για τέτοιας ακρίβειας επιλύσεις είναι η ύπαρξη βαθμονόμησης των κεραιών. Η βαθμονόμηση μιας γεωδαιτικής κεραίας αφορά στον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης που λαμβάνεται το δορυφορικό σήμα των φορέων L1 και L2 πάνω στο σώμα της κεραίας ανα γωνία λήψης του σήματος. Για όλες τις κεραίες της Trimble, διατίθενται στοιχεία βαθμονόμησης τους που διενεργήθηκε από την NGS (National Geodetic Survey). Αντιθέτως, για την κεραία της Ashtech δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία της NGS ή άλλου φορέα.

Τα στοιχεία βαθμονόμησης της κεραίας “NAP100” δίνονται από την ίδια κατασκευάστρια εταιρία η οποία κάνει μια αδιευκρίνιστη αναφορά σε “NGS Calibration” που πιθανά να αφορά στην μεθοδολογία βαθμονόμησης που ακολουθήθηκε. Η κεραία, παρουσιάζει σχετικά μεγάλες τιμές απόκλισης του κέντρου φάσης (North: 1.0mm, East: 3.8mm) κατα τη λήψη σήματος από το ζενίθ. Επιπλέον, δεν δίνονται οι τιμές απόκλισης του κέντρου φάσης της υπό άλλες γωνίες. Τα προηγούμενα καταδεικνύουν ότι η κεραία δεν κατασκευάστηκε για εργασίες τόσο μεγάλης ακρίβειας.

2.3.4.Παρελκόμενα

Η επιλογή ποιοτικών παρελκομένων, είναι εξίσου σημαντική με την επιλογή των δεκτών και των κεραιών αφού τυχόν χαμηλή ποιότητά τους ακυρώνει την χρήση υψηλής ακρίβειας συστήματος δεκτών και κεραιών.

Τα τρικόχλια θα πρέπει να είναι ρυθμισμένα ώστε να εξαλείφεται το σφάλμα κέντρωσης πάνω από τα σημεία που υλοποιούν τις θέσεις των μη μόνιμων σταθμών. Η διαδικασία ρύθμισης των τρικοχλίων στις δύο τελευταίες περιόδους μετρήσεων που έγιναν για τις ανάγκες τις παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκαν πριν αλλά και μετά το πέρας των μετρήσεων ώστε να ελεγχθεί τυχόν πρόβλημα που μπορεί να προέκυψε.



Φωτογραφία 2-16 Κύλινδρος ρύθμισης τρικοχλίου
Photo 2-16 Tribrach adjustment cylinder



Φωτογραφία 2-17 Διάταξη ρύθμισης
Photo 2-16 adjustment set-up



Φωτογραφία 2-18 Διάταξη ρύθμισης
Photo 2-16 adjustment set-up

Για τον εύκολο αλλά ακριβή έλεγχο και τη τυχόν διόρθωση της θέσης του σκοπευτικού άξονα των τρικοχλίων, κατασκευάστηκε σε τórνο κύλινδρος του οποίου οι δυο πλευρές είναι απόλυτα παράλληλες. Το υπό εξέταση τρικόχλιο τοποθετείται ανάποδα πάνω στον κύλινδρο ώστε να μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα σε επίπεδο που ορίζεται από το κατώτερο τρικόχλιο. Η διαδικασία ελέγχου περιλαμβάνει τη σκόπευση στόχου τοποθετημένου στο ταβάνι σε απόσταση τουλάχιστον 1.5m ή και μακρύτερα εφόσον το επιτρέπει η εστίαση του σκοπεύτρου. Το τρικόχλιο περιστρέφεται 180 μοίρες στο επίπεδο που ορίζει ο δακτύλιος και το σφάλμα του σκοπευτικού άξονα διορθώνεται εν ανάγκη από τις ρυθμιστικές βίδες του προσοφθαλμίου. Η επαναληπτική διαδικασία ολοκληρώνεται όταν δεν αλλάζει το σημείο σκόπευσης σε οποιαδήποτε θέση του τρικοχλίου, γεγονός που εξασφαλίζει μια απαλλαγμένη από σφάλματα κέντρωσης μέτρηση. Για την ρύθμιση των σφαιρικών αεροσταθμών αλλά και την οριζοντίωση των τρικοχλίων στο πεδίο, χρησιμοποιήθηκε σωληνωτή αεροστάθμη της οποίας η ακρίβεια είναι καλύτερη των ενσωματωμένων στα τρικόχλια σφαιρικών αεροσταθμών.

Οι τρίποδες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ξύλινοι ώστε να παρουσιάζουν σταθερή συμπεριφορά στις θερμοκρασιακές μεταβολές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Για τον ίδιο λόγο οι χρησιμοποιούμενες μετροταινίες είναι κατασκευασμένες από ειδικά κράματα. Πυξίδες χρησιμοποιήθηκαν για τον προσανατολισμό όλων των κεραιών προς τον μαγνητικό βορρά.

Οι κεκλιμένες αποστάσεις των υψών των κεραιών, μετρώνται σε πολλές θέσεις κεραιάς στην αρχή και το τέλος κάθε περιόδου μέτρησης.

2.4 Επιλογή χρόνου, διάρκειας και διαστήματος μέτρησης

Η διάρκεια των μετρήσεων σχετίζεται με το μήκος των βάσεων προς επίλυση. Η μέγιστη βάση στο συγκεκριμένο δίκτυο είναι μήκους 1300m περίπου. Οι δέκτες ήταν πάντοτε ρυθμισμένοι να καταγράφουν παρατηρήσεις ανα 15sec και κάθε θέση επιλέχθηκε να μετρηθεί κατ' ελάχιστο για 3 ώρες εξασφαλίζοντας ικανοποιητικό αριθμό κοινών παρατηρήσεων για την επίλυση των ασαφειών φάσης.

Η επιλογή συγκεκριμένης χρονικής περιόδου μέσα στη διάρκεια μιας ημέρας, σχετίζεται με τη γεωμετρία των δορυφόρων (DOP), ειδικά όταν το χρονικό διάστημα μέτρησης είναι μικρό. Στην προκειμένη περίπτωση όμως, η μεγάλη διάρκεια μέτρησης, μας απαλλάσσει από τις αρνητικές συνέπειες μιας επίλυσης βάσης με δεδομένα που ελήφθησαν σε μια περίοδο με κακή γεωμετρία δορυφόρων. Το μεγάλο χρονικό διάστημα καταγραφής παρατηρήσεων, εξασφαλίζει την δυνατότητα επιλογής παρατηρήσεων που καταγράφησαν μέσα σε ένα μικρότερο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο η γεωμετρία των δορυφόρων είναι βέλτιστη, δηλαδή εξασφαλίζει τη δυνατότητα απόρριψης παρατηρήσεων που πιθανά να συνδράμουν αρνητικά στην ποιότητα της λύσης.

Η επιλογή της περιόδου μέτρησης στη διάρκεια του έτους, σχετίζεται με το κατολισθητικό φαινόμενο. Η βέλτιστη παρακολούθηση του φαινομένου, απαιτεί την επανάληψη μετρήσεων ανα τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης είναι σημαντικό οι μετρήσεις να επαναλαμβάνονται κάθε έτος την ίδια περίπου περίοδο.

Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της κατολίσθησης, είναι θεμιτό να εκτελούνται μετρήσεις σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από κάποιο γεγονός που συνήθως αποτελεί παράγοντα εναύσματος εκδήλωσης κατολισθητικού φαινομένου όπως μετά από έντονη βροχόπτωση ή σεισμική δραστηριότητα.

Επιλέχθηκε να γίνουν δυο μετρήσεις του δικτύου μη μόνιμων σταθμών, όσο το δυνατό πιο απομακρυσμένες χρονικά η μια από την άλλη, αλλά και με γνώμονα να επιμηκυνθεί το συνολικό

χρονικό διάστημα από την πρώτη μέτρηση που έγινε το Γενάρη 2011. Έτσι, δεδομένου του περιορισμένου χρονικού πλαισίου που διατίθεται για την εκπόνηση μιας διπλωματικής εργασίας, η πρώτη μέτρηση έγινε την 4η Δεκεμβρίου του 2011 και η τελευταία έγινε μετά από 7 μήνες, στις 18 Ιουνίου 2012.

2.5 Περίοδοι μέτρησης

Οι δύο πρώτες περιόδους μετρήσεων έγιναν από το προσωπικό Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου και οι επόμενες δυο περιόδους από τον συντάκτη της εργασίας.

Στους ακόλουθους πίνακες συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των μετρητικών περιόδων. Το ύψος κεραίας αφορά στην απόσταση του σημείου δικτύου έως το σημείο αναφοράς της κάθε κεραίας (Antenna Reference Point) και προκύπτει με αναγωγή από τα μετρημένα κεκλιμένα ύψη κεραιών, για τις ακριβείς διαστάσεις της κάθε κεραίας. Η ώρα δίνεται στον Συγχρονισμένο Παγκόσμιο Χρόνο (UTC).

2.5.1 Πρώτη περίοδος

Η πρώτη περίοδος μετρήσεων του δικτύου έλαβε χώρα στις 17 Γενάρη του 2011 ή αλλιώς στη 17η ημέρα του 2011.

Πίνακας 2.1 Σύνοψη χαρακτηριστικών πρώτης μετρητικής περιόδου
Table 2.1 Synopsis of first campaign

ΘΕΣΗ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (ARP)	ΕΝΑΡΞΗ (utc)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
SL01	TRM4000SSI	Trimble Zephyr	1.3242	8:40:15	3.07
SL02	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.3015	11:47:15	4.23
SL03	TRM4700	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	1.4049	9:02:30	3.01
SL04	TRM4700	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	1.2934	12:26:45	3.19
SL05	TRM4700	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	0.1069	9:42:30	5.60
SL06	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.0674	12:19:45	3.57
SL07	TRM4000SSI	Trimble Zephyr	1.3192	12:39:45	3.11
SL08	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.3096	8:08:45	3.14
SL09	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.1979	8:26:15	3.02

2.5.2 Δεύτερη περίοδος

Η δεύτερη περίοδος μετρήσεων έλαβε χώρα μετά από 79 ημέρες, στις 6 Απριλίου 2011 (96η ημέρα του 2011).

Πίνακας 2.2 Σύνοψη χαρακτηριστικών δεύτερης μετρητικής περιόδου
Table 2.2 Synopsis of second campaign

ΘΕΣΗ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (ARP)	ΕΝΑΡΞΗ (utc)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
SL01	TRM4000SSI	Trimble Zephyr	1.1332	8:25:00	4.25
SL02	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.2680	13:19:00	3.24
SL03	TRM4700	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	1.3319	8:21:45	4.53
SL04	TRM4700	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	1.4659	13:04:30	3.37
SL05	TRM4700	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	0.1066	8:47:00	7.05
SL06	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.1222	12:59:15	3.13
SL07	TRM4000SSI	Trimble Zephyr	1.3118	13:09:00	3.05
SL08	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.2931	7:59:15	4.55
SL09	TRM4000SSI	Trimble Compact L1/L2 w/ GP	1.1253	8:00:30	4.55

2.5.3 Τρίτη περίοδος

Η τρίτη περίοδος μετρήσεων έλαβε χώρα στις 4 Δεκέμβρη 2011 (338η ημέρα του 2011), ημέρα θερμοκρασιακά ήπια για την εποχή με συννεφιά στο μεγαλύτερο μέρος της. Ψιχάλισε ελαφρά για μισή ώρα στις 08:30'.

Πίνακας 2.3 Σύνοψη χαρακτηριστικών τρίτης μετρητικής περιόδου
Table 2.3 Synopsis of third campaign

ΘΕΣΗ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (ARP)	ΕΝΑΡΞΗ (utc)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
SL01	ProMark3	Ashtech NAP100	1.1441	10:25:15	3.02
SL02	ProMark3	Ashtech NAP100	1.1719	7:47:15	3.03
SL03	TRM4000SSI	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	1.0733	6:42:15	3.03
SL04	TRM4000SSI	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	1.3098	9:58:00	3.05
SL05	TRM4000SSI	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	0.1140	6:13:00	8.35
SL06	ProMark3	Ashtech NAP100	1.1502	7:25:45	3.04
SL07	ProMark3	Ashtech NAP100	1.1479	7:03:15	3.03
SL08	ProMark3	Ashtech NAP100	1.3135	10:44:00	3.03
SL09	ProMark3	Ashtech NAP100	1.3103	11:11:00	3.02

2.5.4 Τέταρτη περίοδος

Η τέταρτη περίοδος μετρήσεων έλαβε χώρα στις 18 Ιουνίου 2012, (170η ημέρα του 2012). Ο καιρός ήταν τυπικός για την περίοδο, με αρκετή ζέση και πλήρη ηλιοφάνεια.

Πίνακας 2.4 Σύνοψη χαρακτηριστικών τέταρτης μετρητικής περιόδου
Table 2.4 Synopsis of last campaign

ΘΕΣΗ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (ARP)	ΕΝΑΡΞΗ (utc)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
SL01	ProMark3	Ashtech NAP100	1.1825	8:22:00	3.03
SL02	ProMark3	Ashtech NAP100	1.2034	5:40:45	3.19
SL03	TRM4000SSI	Trimble Zephyr	1.1731	4:38:30	3.02
SL04	TRM4000SSI	Trimble Zephyr	1.3519	8:01:45	3.12
SL05	TRM4000SSI	Trimble Microcenter L1/L2 w/ GP	0.1155	4:07:00	8.30
SL06	ProMark3	Ashtech NAP100	1.1829	5:26:45	3.02
SL07	ProMark3	Ashtech NAP100	1.2763	5:02:30	3.08
SL08	ProMark3	Ashtech NAP100	1.5557	8:47:30	3.05
SL09	ProMark3	Ashtech NAP100	1.1796	9:07:45	3.01

Λόγω τη χρήσης των μονόσυχνων δεκτών, δεν κατέστη δυνατό να διατηρηθεί σε κάθε καμπάνια μέτρησης η επιθυμητή σταθερή επιλογή συστήματος δέκτη κεραίας ανα θέση μέτρησης.

Κεφάλαιο 3ο Επίλυση με το λογισμικό πακέτο επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων Bernese GPS Software v5.0

3.1 Γενικά

Το Bernese GPS Software, είναι ένα προηγμένο λογισμικό εργαλείο γεωδαιτικών και άλλων εφαρμογών που χρησιμοποιεί τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems) GPS και GLONASS. Το λογισμικό έχει αναπτυχθεί από το Αστρονομικό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου της Βέρνης και πληροί τα υψηλότερα πρότυπα ποιότητας.

Το λογισμικό αποτελείται από ένα σύνολο υποπρογραμμάτων και έτσι η δομή αυτή επιτρέπει στον χρήστη να έχει τον απόλυτο έλεγχο στα βήματα επεξεργασίας των δεδομένων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η έκδοση 5.0 για windows και γίνεται χρήση πρωτογενών δεδομένων μόνο στο σύστημα GPS. Η τεχνική επίλυσης αφορά σε σχετικό προσδιορισμό θέσης, δηλαδή αφορά στον προσδιορισμό της θέσης ενός ή περισσότερων σημείων ως προς κάποιο άλλο του οποίου η θέση θεωρείται γνωστή σε κάποιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

3.2 Βήματα επεξεργασίας με το Bernese v5.0

Ακολουθεί μια επισκόπηση των βημάτων που έγιναν στην επίλυση σχετικού προσδιορισμού θέσης με τη χρήση της έκδοσης 5.0 του Bernese GPS Software.

3.2.1 Δημιουργία καμπάνιας

Γίνεται μια αυτόματη παραγωγή συστήματος φακέλων, υποφακέλων και αρχείων στα windows. Η στρατηγική επίλυσης που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, αφορά στην δημιουργία δυο κύριων καμπανιών, μια για την επίλυση της θέσης του μόνιμου σταθμού σε χρονικό διάστημα ενός και μισού έτους και μια για την επίλυση των δεδομένων του τοπικού δικτύου μη μόνιμων σταθμών και για τις τέσσερις διαθέσιμες περιόδους μετρήσεων.

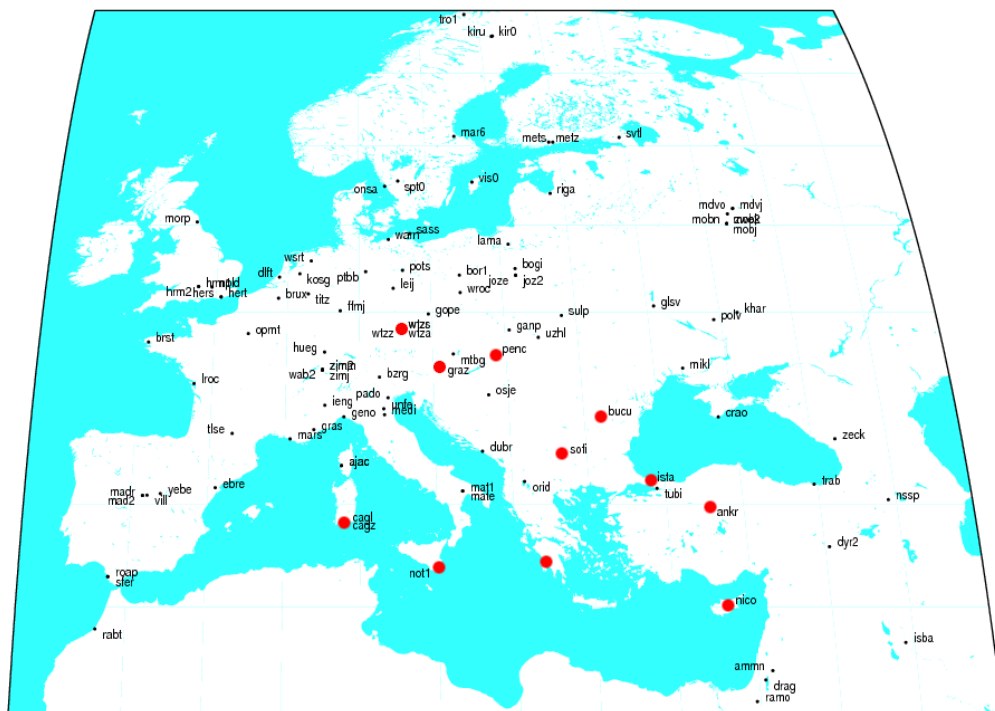
3.2.2 Επιλογή χρονικής περιόδου λύσης (session)

Επιλέγεται κάθε φορά το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο θα γίνεται επεξεργασία δεδομένων. Το χρονικό διάστημα ήταν κάθε φορά μια ολόκληρη ημέρα. Η θέση του μόνιμου σταθμού SELA και NOA1 επιλύθηκε για 35 ημέρες. Οι θέσεις των 9 μη μόνιμων σταθμών, επιλύθηκαν για τις 4 περιόδους μετρήσεων.

3.2.3 Επιλογή γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς και δημιουργία αρχείου συντεταγμένων και αρχείου ταχυτήτων

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που επιλέχθηκε είναι το ITRF2008 το οποίο υλοποιείται μέσα από τις γνωστές καρτεσιανές συντεταγμένες των μόνιμων σταθμών του δικτύου της IGS που επιλέγονται.

Από το σύνολο των σταθμών της IGS που βρίσκονται σε θέσεις γύρω από την περιοχή μελέτης, επιλέχθηκαν σταθμοί με γνώμονα την κανονική κατα το δυνατό διάταξή τους γύρω από τη περιοχή μελέτης αλλά που παρουσιάζουν μια συνεχή και απρόσκοπτη λειτουργία χωρίς κενά δεδομένων παρατήρησης. Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, μετά από σχετική έρευνα σε δεδομένα διάφορων σταθμών και με τη βοήθεια του προσωπικού του εργαστηρίου, επιλέχθηκαν 10 σταθμοί που πληρούν τα προαναφερθέντα κριτήρια . Πρόκειται για τους σταθμούς ANKR, BUCU, CAGL, GRAZ, ISTA, NICO, NOT1, PENC, SOFI και WTZR. Δυστυχώς, λόγω έλλειψης διαθέσιμων σταθμών στη Νότια Ευρώπη και στη Βόρεια Αφρική, η γεωμετρία του συστήματος δεν είναι η βέλτιστη. Οι θέσεις του συνόλου των διαθέσιμων μόνιμων σταθμών καθώς και αυτών που τελικά επιλέχθηκαν, φαίνεται στον ακόλουθο χάρτη.



Χάρτης 3-1 Οι 10 χρησιμοποιούμενοι σταθμοί του δικτύου μόνιμων σταθμών της IGS στην Ευρώπη και η περιοχή μελέτης [πηγή IGS]
 Map 3-1 The 10 used stations of the permanent IGS stations network in Europe and study area [source IGS]

Σε επόμενη φάση, γίνεται η δημιουργία αρχείου συντεταγμένων και αρχείου ταχυτήτων με χρήση των αντίστοιχων αρχείων που υπάρχουν στον ftp server του Bernese GPS Software και αφορούν όλους τους μόνιμους σταθμούς που υλοποιούν το επιλεγμένο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Για τους επιλεγμένους δέκα σταθμούς αναφοράς, δημιουργήθηκε αρχείο αρχικών συντεταγμένων (.crd) και αντίστοιχο αρχείο ταχυτήτων (.vel) στο σύστημα ITRF2008. Τα στοιχεία δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.1 Συντεταγμένες και ταχύτητες χρησιμοποιούμενων σταθμών στο ITRF2008
 Table 3.1 Coordinates and velocities of used stations in ITRF2008

α/α	Σταθμός	ITRF2008 coordinates – epoch 01/01/2005 (m)			ITRF2008 velocities (mm/year)		
		X	Y	Z	Vx	Vy	Vz
1	ANKR	4121948.5245	2652187.9019	4069023.7558	-7.8	-3.6	8.5
2	BUCU	4093760.8647	2007793.8087	4445129.9745	-16.3	17.9	10.7
3	CAGL	4893378.8188	772649.7894	4004182.1640	-13.3	19.7	12.5
4	GRAZ	4194423.8174	1162702.6951	4647245.4141	-16.6	18.0	11.0
5	ISTA	4208830.3048	2334850.3013	4171267.2516	-17.6	18.5	8.7
6	NICO	4359415.7127	2874117.0657	3650777.8294	-17.9	11.6	12.6
7	NOT1	4934546.2265	1321265.0120	3806456.1229	-17.5	17.5	15.5
8	PENC	4052449.4761	1417681.1279	4701407.1121	-17.9	17.3	9.5
9	SOFI	4319372.0885	1868687.7819	4292063.9377	-17.0	18.8	8.9
10	WTZR	4075580.5530	931853.7972	4801568.1360	-16.0	17.1	10.1

3.2.4 Είσοδος πρωτογενών δεδομένων και προϊόντων

Αντιγράφονται στο κατάλληλο φάκελο τα δεδομένα παρατηρήσεων RINEX για όλους τους σταθμούς. Επίσης αντιγράφονται και προϊόντα της IGS σχετικά με την κίνηση του πόλου της γης (igsXXX7.erp), τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων (igsXXXX.sp3) αλλά και μοντέλων ιονόσφαιρας (CODXXX.ION).

3.2.5 Διαδικασία παραγωγής αρχικών συντεταγμένων – υλοποίηση επιλεγμένου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς

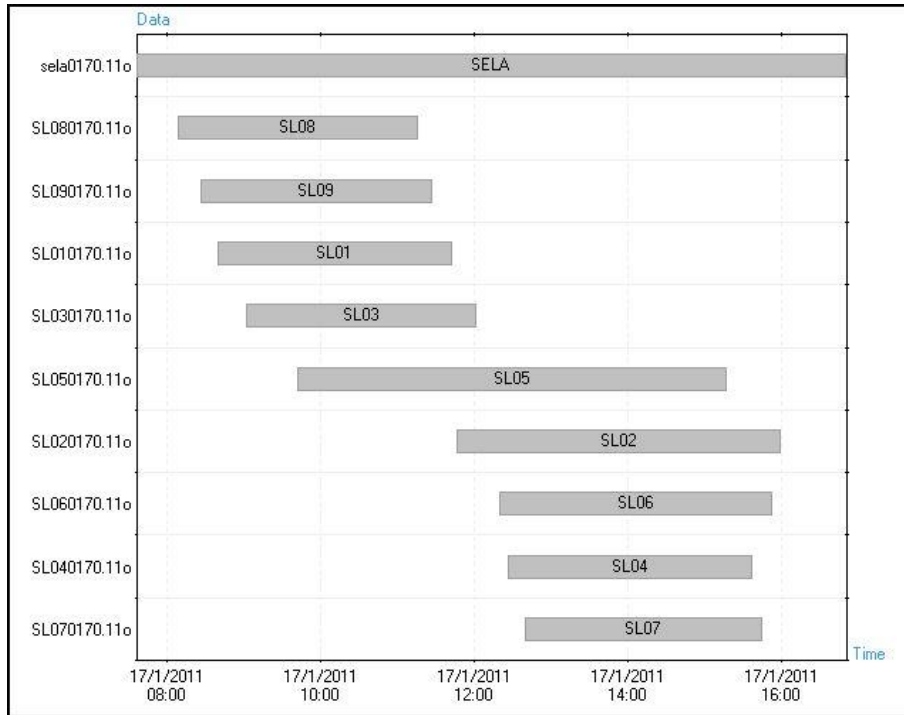
Η διαδικασία αφορά τους επιλεγμένους δέκα σταθμούς της IGS. Από τα αρχεία θέσεων (ITRF2008_R.CRD) και ταχυτήτων (ITRF2008_R.VEL) των μόνιμων σταθμών στο επιλεγμένο σύστημα αναφοράς παράγονται αρχεία συντεταγμένων (.crd) θέσεων των σταθμών αναφοράς στην επιθυμητή ημερομηνία επίλυσης και επιτυγχάνεται έτσι η υλοποίηση του συστήματος.

3.2.6 Εισαγωγή – μετατροπή πρωτογενών δεδομένων σε μορφή Bernese. (Πρόγραμμα RXOBV3)

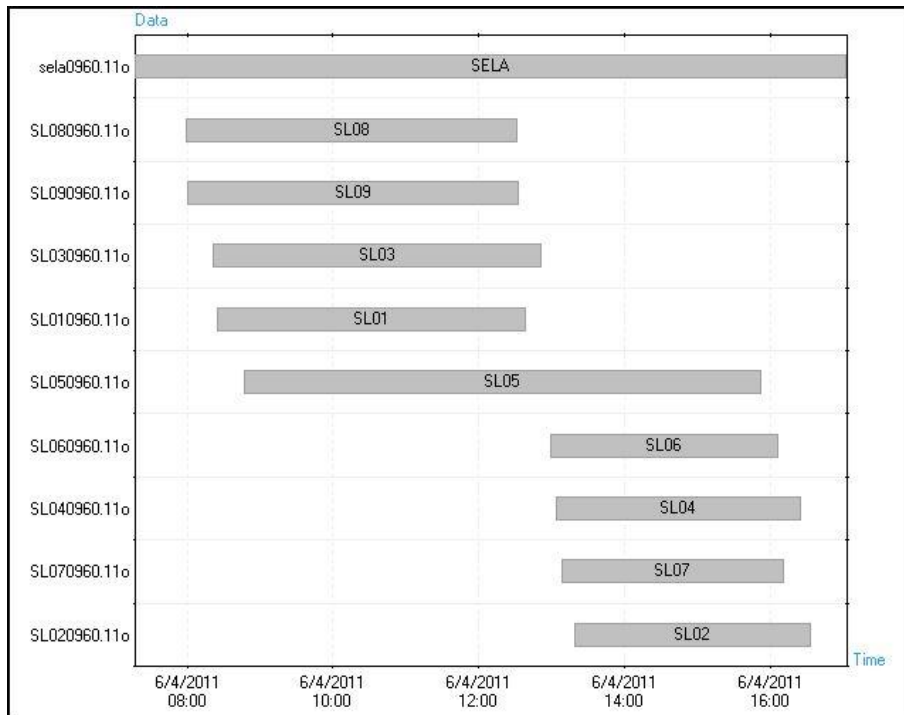
Γίνεται μετατροπή των αρχείων RINEX στο δυαδικό φορμάτ του προγράμματος. Το πρόγραμμα επιπλέον εκτελεί πολλαπλούς ελέγχους σχετικά με τις πληροφορίες της επικεφαλίδας RINEX, γνωρίζοντας στο χρήστη τα διάφορα πιθανά προβλήματα (αριθμός παρατηρήσεων, όνομα σταθμού κτλ). Έτσι αποφεύγονται οι δυσμενείς συνέπειες μιας καθαρά αυτοματοποιημένης διαδικασίας εισόδου δεδομένων.

Για να γίνει δυνατή η είσοδος των αρχείων RINEX που δημιουργήθηκαν με τους δέκτες Ashtech ProMark3 με κεραία την Ashtech NAP100, έπρεπε να ενημερωθεί κατάλληλα η βάση δεδομένων που αφορά τη θέση του κέντρου φάσης ανα ζενίθια γωνία για την κάθε κεραία. Ο συγκεκριμένος τύπος κεραίας δυστυχώς δεν εντοπίστηκε στις λίστες βαθμονόμησης της NGS. Η σχετική πληροφόρηση προέρχεται από την κατασκευάστρια εταιρία και χαρακτηρίζεται ως ελλιπής για εργασίες τέτοιας ακρίβειας καθώς δεν εμπεριέχει τις μετατοπίσεις του κέντρου φάσης ανα ζενίθια παρα μόνον την μετατόπιση του κέντρου φάσης μόνο στο ζενίθ.

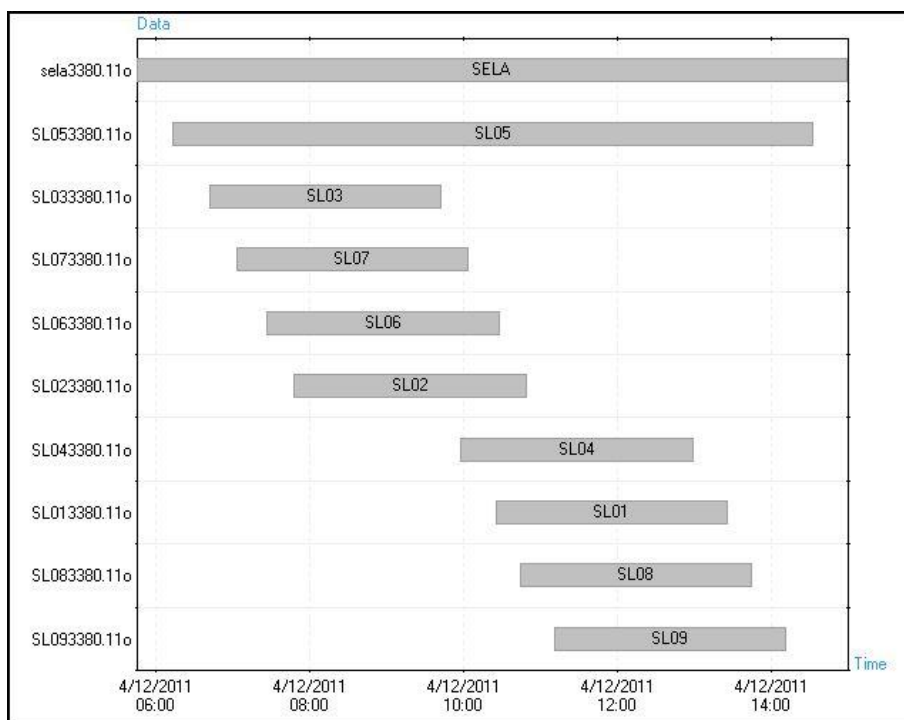
Ακολουθως παρουσιάζονται διαγράμματα με τις κοινές παρατηρήσεις των δεκτών που απαρτίζουν το τοπικό δίκτυο. Η ελάχιστη διάρκεια μέτρησης δέκτη για κάθε μια περίοδο, είναι πάνω από 3 ώρες, ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητικός αριθμός κοινών παρατηρήσεων. Η συχνότητα καταγραφής των δεδομένων στους μη μόνιμους δέκτες ήταν πάντοτε ανα 15 sec αλλά δυστυχώς ο μόνιμος σταθμός SELA κατέγραφε παρατηρήσεις ανα 30 sec, εκτός από τη δεύτερη περίοδο μετρήσεων.



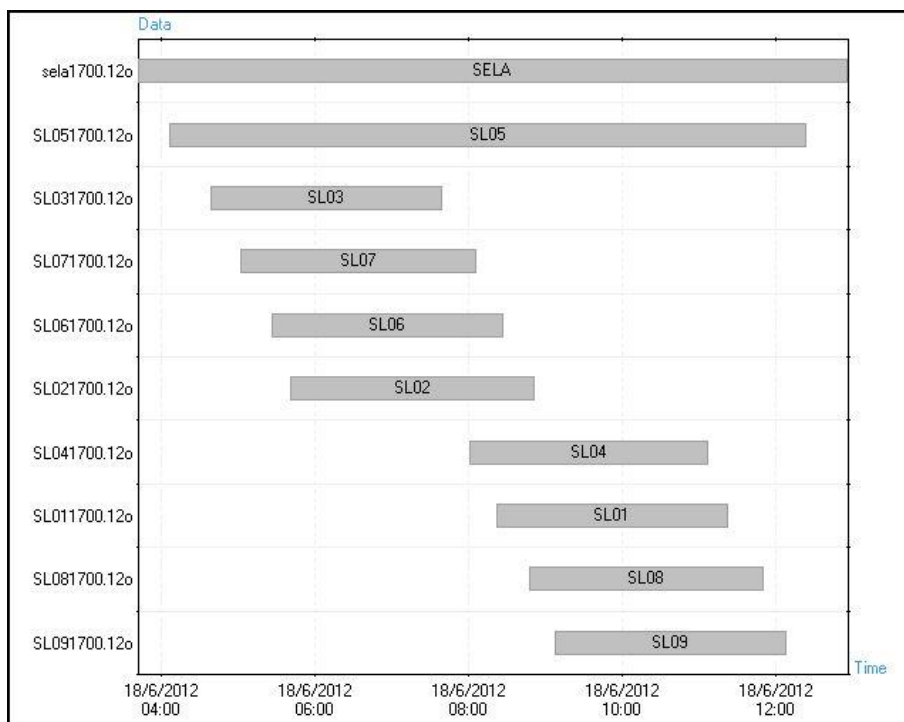
Διάγραμμα 3-1 Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 1η περίοδος
 Diagram 3-1 Time range of Non-Permanent station observations, 1st period



Διάγραμμα 3-2 Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 2η περίοδος
 Diagram 3-2 Time range of Non-Permanent station observations, 2nd period



Διάγραμμα 3-3 Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 3η περίοδος
Diagram 3-3 Time range of Non-Permanent station observations, 3rd period



Διάγραμμα 3-4 Χρονικό εύρος δορυφορικών παρατηρήσεων τοπικού δικτύου, 4η περίοδος
Diagram 3-4 Time range of Non-Permanent station observations, 4th period

3.2.7 Προετοιμασία πληροφορίας για τις τροχιές των δορυφόρων και την κίνηση του πόλου της Γης (Προγράμματα POLUPD, PRETAB, ORBGEN)

Το πρόγραμμα POLUPD μετατρέπει το αρχείο εισόδου igsXXXX7.erp, από IERS/IGS μορφή σε μορφή Bernese και έτσι ενημερώνονται τα στοιχεία κίνησης του πόλου της γης.

Το πρόγραμμα PRETAB μετατρέπει τις ακριβείς θέσεις των δορυφόρων όπως εισάγονται με τα αρχεία sp3 από το γήινο στο ουράνιο (αδρανειακό) σύστημα αναφοράς σε πινακοειδή μορφή (αρχεία .TAB) και επιπλέον παράγει αρχεία που περιέχουν τις διορθώσεις των χρονομέτρων των δορυφόρων (αρχεία .CLK)

Το τρίτο πρόγραμμα δημιουργεί τις χρησιμοποιούμενες «στάνταρ» τροχιές, χρησιμοποιώντας τις θέσεις των δορυφόρων του αρχείου TAB ως ψευδοπαρατηρήσεις σε μια διαδικασία συνόρθωσης με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

3.2.8 Προεπεξεργασία δεδομένων (Προγράμματα CODSP, SNGDIF, MAUPRP, GPSEST)

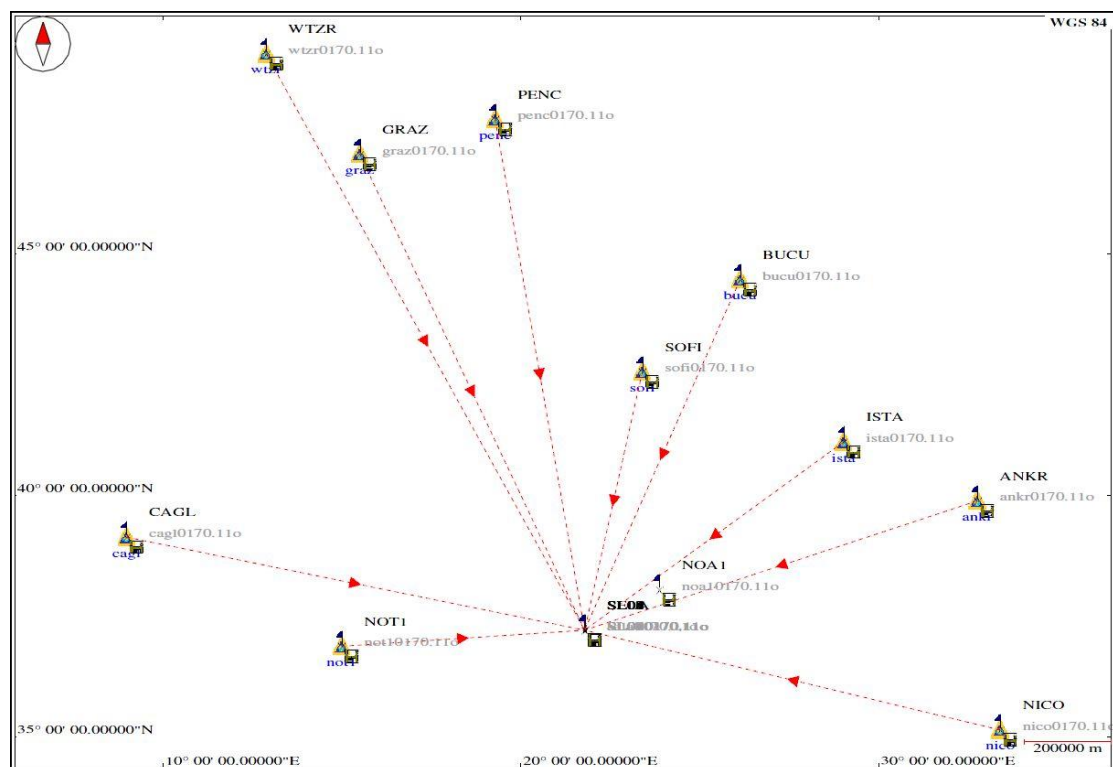
3.2.8.1 Διόρθωση χρονομέτρων δεκτών – πρόγραμμα CODSP

Είναι απαραίτητο να συγχρονιστεί το χρονόμετρο κάθε δέκτη στο σύστημα GPS με μια ακρίβεια καλύτερης του 1μs και αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του προγράμματος CODSP. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μετρήσεις κώδικα για το σκοπό αυτό. Στη διαδικασία, επιλέχθηκε αποκοπή ορίζοντα στις 10 μοίρες. Η διαδικασία γίνεται κατα κανόνα στον γραμμικό συνδυασμό L3, ενώ για τους μονόσυχνους δέκτες έγινε στην L1. Το ίδιο πρόγραμμα μπορεί να εξάγει και αρχικές συντεταγμένες, αλλά αυτή η λειτουργία δεν χρησιμοποιήθηκε παρα μόνο για την επίλυση της πρώτης ημέρας. Έπειτα χρησιμοποιήθηκαν πάντοτε ως αρχικές συντεταγμένες αυτές που προέκυψαν από την τελική επίλυση της πρώτης ημέρας.

3.2.8.2 Δημιουργία βάσεων – πρόγραμμα SNGDIF

Με το πρόγραμμα SNGDIF υπολογίζεται η διαφορά ταυτόχρονων παρατηρήσεων μεταξύ δυο δεκτών προς τον ίδιο δορυφόρο και έτσι ορίζονται οι αποκαλούμενες βάσεις της τεχνικής του σχετικού προσδιορισμού θέσης. Οι απλές διαφορές αφορούν τη φάση και τον κώδικα του σήματος. Οι διπλές και τριπλές διαφορές που σχηματίζονται αυτόματα σε διάφορα στάδια της επεξεργασίας, βασίζονται στις απλές διαφορές.

Δημιουργήθηκαν 10 βάσεις από τους δέκα σταθμούς εξωτερικού προς τον σταθμό SELA και αντίστοιχα 10 βάσεις προς τον σταθμό NOA1. Η ταυτόχρονη επίλυση του μόνιμου σταθμού NOA1 που ανήκει στο δίκτυο EUREF με γνωστή θέση και ταχύτητα, γίνεται ώστε να καταστεί δυνατό να ελεγχθεί η ακρίβεια του υπολογισμού της θέσης τους μόνιμου σταθμού SELA.



Χάρτης 3-2 Οι σχηματισμένες βάσεις GPS από σταθμούς της IGS προς τον μόνιμο σταθμό SELA

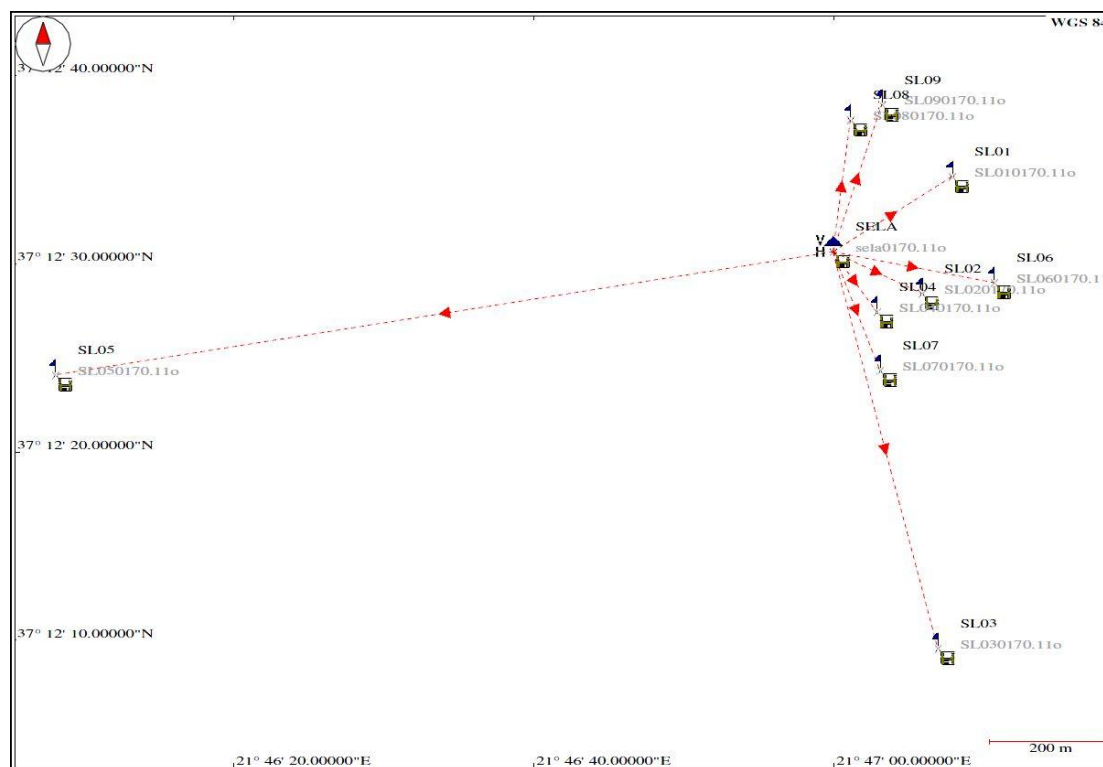
Map 3-2 Created GPS baselines from IGS stations to SELA

Για την επίλυση του δικτύου των 9 μη μόνιμων σταθμών, επιλέχθηκε η δημιουργία μιας ακτινικής παραγωγής βάσεων, από τον μόνιμο σταθμό SELA προς όλα τα άλλα 9 σημεία των μη μόνιμων σταθμών του τοπικού δικτύου (9 βάσεις).

Το συγκεκριμένο τοπικό δίκτυο αποτελείται από $N=10$ σημεία που μετρώνται με χρήση $R=6$ δεκτών σε δυο περιόδους μετρήσεων (με θεωρούμενη δημιουργία βάσεων από κοινές παρατηρήσεις τουλάχιστον 2 ωρών) αποτελείται συνολικά από 29 βάσεις από τις οποίες μόνο οι 9 είναι ανεξάρτητες.

Σε μια συνόρθωση δικτύου GPS το βασικό μειονέκτημα της χρησιμοποίησης και μη ανεξάρτητων βάσεων, όλων ή ενός υποσυνόλου, είναι η «υπεραισιόδοξη» εκτίμηση των στατιστικών ποσοτήτων, δηλαδή ο προσδιορισμός σημαντικά καλύτερων και μη ρεαλιστικών ακριβειών σε σχέση με τις εκτιμήσεις μιας συνόρθωσης που χρησιμοποιεί αποκλειστικά ανεξάρτητες βάσεις. [Φωτίου Α.- Πικριδάς Χ., 2006]

Η επιλογή των 9 ανεξάρτητων βάσεων που θα επιλυθούν γίνεται με διάφορα κριτήρια, πχ προτιμώνται βάσεις μικρότερου μήκους επειδή λύνονται ευκολότερα οι ασάφειες φάσεις. Στην προκειμένη περίπτωση, επιλέχθηκε μια ακτινική επιλογή από τον μόνιμο σταθμό SELA προς τα άλλα σημεία δικτύου. Αυτό αφενός εξασφαλίζει τη δημιουργία βάσεων με το μέγιστο αριθμό παρατηρήσεων και αφετέρου διατηρεί τη γεωμετρία του δικτύου σταθερή και για τις τέσσερις περιόδους μετρήσεων.



Χάρτης 3-3 Οι επιλεγμένες ανεξάρτητες βάσεις GPS στο τοπικό δίκτυο
 Map 3-3 Selected independent GPS bases, local network

3.2.9 Έλεγχος απωλειών κύκλων – πρόγραμμα MAUPRP

Το πρόγραμμα εντοπίζει τους κύκλους ολίσθησης (cycle slips), προσπαθεί να διορθώσει τον ακέραιο αριθμό απωλειών κύκλων αν αυτό είναι δυνατό και τελικά μαρκάρει τα αρχεία φάσης απλών διαφορών ως προς την ύπαρξη κύκλων ολίσθησης. Επίσης το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει, αν είναι απαραίτητο, τις προσεγγιστικές συντεταγμένες των σταθμών. Η τελευταία λειτουργία χρησιμοποιήθηκε μόνο για την επίλυση πρώτης ημέρας.

Πολύ σημαντική είναι η επιλογή συχνότητας στην οποία γίνεται ο έλεγχος. Στις μεγάλες βάσεις χρησιμοποιείται η συνδυασμένη μέθοδος COMBINED Screening mode – frequency to check. Στις μικρές βάσεις μήκους μικρότερου των 10km είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται η μέθοδος BOTH λόγω του υψηλότερου θορύβου που εισάγει ο γραμμικός συνδυασμός της λύσης COMBINED. Ειδικά όμως στην περίπτωση μας, όπου χρησιμοποιήθηκαν μονόσυχνοι δέκτες σε 2 περιόδους μετρήσεων, λόγω του ότι λείπει η L2 συχνότητα, είναι απαγορευτικό να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος BOTH διότι εισάγεται σφάλμα.

Εξάλλου, για μικρές βάσεις, της τάξης των 5km, η επίλυση με διπλές διαφορές, εξασφαλίζει την ικανοποιητική απαλλαγή από τα σφάλματα λόγω τροπόσφαιρας. Μάλιστα, σε τέτοιες περιπτώσεις, η επίλυση των ασαφειών ενδείκνυται να γίνεται μόνον με παρατηρήσεις L1 συχνότητας, άσχετα αν διατίθενται μετρήσεις και στον δεύτερο φορέα, ώστε να αποφεύγεται η χρήση του γραμμικού συνδυασμού της L3 ο οποίος επιφέρει αύξηση θορύβου.

Έτσι λοιπόν, για το τοπικό δίκτυο, επιλέχθηκε να γίνει εντοπισμός της ολίσθησης κύκλων μόνο στην συχνότητα L1. Αυτό αφορά όλες τις βάσεις του τοπικού δικτύου για όλες τις περιόδους μετρήσεων, ώστε να υπάρξει μια ομοιογενής διαδικασία.

3.2.10 Προσδιορισμός καθυστερήσεων λόγω τροπόσφαιρας – πρόγραμμα GPSEST

Το πρόγραμμα GPSEST, βασίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των καθυστερήσεων λόγω της τροπόσφαιρας, για τη δημιουργία ενός μοντέλου ιονόσφαιρας και για την επίλυση των ασαφειών φάσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια επαναληπτική διαδικασία χρησιμοποιώντας ως αρχικές τιμές τα εξαγόμενα της τελευταίας λύσης, βελτιώνοντας τα αποτελέσματα.

Χρησιμοποιούνται όλες οι μεγάλες βάσεις (από εξωτερικό προς SELA και NOA1) για να εκτιμηθεί ένα τοπικό μοντέλο χρονικών καθυστερήσεων διάδοσης του δορυφορικού σήματος που λαμβάνουν χώρα λόγω της τροπόσφαιρας. Παράλληλα υπολογίζονται νέες προσεγγιστικές συντεταγμένες των σταθμών.

3.2.11 Προσδιορισμός μοντέλου ιονόσφαιρας – πρόγραμμα GPSEST

Κατ'αντιστοιχία, μπορεί να υπολογιστεί ένα αντίστοιχο μοντέλο για τις καθυστερήσεις λόγω της ιονόσφαιρας. Παραταύτα, το βήμα αυτό παραλήφθηκε και χρησιμοποιήθηκαν τα σχετικά προϊόντα της IGS (CODXXXX.ION αρχεία). Τα προϊόντα της IGS αναμένεται να είναι πιο ολοκληρωμένα λόγω της συνόρθωσης που γίνεται με δεδομένα από πολύ περισσότερους σταθμούς.

3.2.12 Επίλυση ασαφειών φάσης - Πρόγραμμα GPSEST

Η επίλυση ασαφειών φάσης έγινε με δυο διαφορετικές τεχνικές, ανάλογα με το μήκος βάσης.

3.2.12.1 Βάσεις μεγάλου μήκους

Οι βάσεις που σχηματίστηκαν μεταξύ των σταθμών του δικτύου IGS προς τους μόνιμους σταθμούς SELA και NOA1 αφορούν σε 24ωρες κοινές παρατηρήσεις και στις δύο συχνότητες με μέγιστο μήκος βάσης τα 1510km. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η βέλτιστη επίλυση ασαφειών φάσης γίνεται με τη μέθοδο Quasi Ionosphere-Free (QIF) και στις δυο συχνότητες εξαλείφοντας έτσι τα εναπομείνοντα σφάλματα του μοντέλου ιονόσφαιρας. Η μέθοδος απαιτεί την είσοδο του τροποσφαιρικού μοντέλου, του ιονοσφαιρικού μοντέλου και των προσεγγιστικών συντεταγμένων έτσι όπως προέκυψαν από το προηγούμενο βήμα, αυτο της δημιουργίας διορθώσεων για την τροπόσφαιρα.

Στους ακόλουθους πίνακες συνοψίζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου που σχετίζονται με το ποσοστό επίλυσης επί του συνόλου των αριθμών ασαφειών φάσης. Όπου υπάρχει κενό, δεν δημιουργήθηκε η βάση εξαρχής, είτε διότι δεν υπήρχαν καθόλου δεδομένα (απουσία RINEX), είτε διότι τα δεδομένα ήταν λιγοστά και απορρίφθηκε η δημιουργία της βάσης.

Το κριτήριο επιλογής μιας βάσης για περαιτέρω επεξεργασία, είναι το ποσοστό επίλυσης των ασαφειών, αλλά και ο αρχικός αριθμός τους (δεν φαίνεται στον πίνακα). Στον πίνακα σημειώνεται ο μικρός αριθμός βάσεων που επιλύθηκαν με ποσοστό κάτω του 80%. Από αυτές δεν χρησιμοποιήθηκαν οι βάσεις με ποσοστό επίλυσης 50% και 53%, δηλαδή οι βάσεις από pot1 προς sela και noa1 την 102 ημέρα του 2011. Όλες οι άλλες βάσεις που επιλύθηκαν με τουλάχιστον 70% επιτυχία, χρησιμοποιήθηκαν στη μετέπειτα επεξεργασία.

Όπως προκύπτει από τη μελέτη των πινάκων, τα ποσοστά επίλυσης των ασαφειών φάσης που επιτεύχθηκαν είναι κατα κανόνα μεγαλύτερα για τις βάσεις προς τον SELA από ότι για τις βάσεις προς τον NOA1.

Πίνακας 3.2 Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης των βάσεων προς SELA
 Table 3.2 Phase ambiguities solution percentage of gps baselines to SELA

α/α	day of year	year	ποσοστό % επίλυσης ασαφειών βάσεων προς sela από τους σταθμούς:									
			ankr	bucu	cagl	graz	ista	nico	not1	penc	sofi	wtzt
1	17	2011	96	94	88	93	84	93	88	95	98	91
2	30	2011	91	89	90	93	93	93	93	95	96	91
3	48	2011	93	96	92	96	93	89	98	96	93	96
4	60	2011	98	98	92	95	96	93	95	98	96	93
5	75	2011	90	85	87	88	84	92	92	89	87	88
6	89	2011	70	84	76	78	79	80	78	83	89	89
7	96	2011	94	96	94	96	90	94	94	92	96	92
8	102	2011	91	95	93	93	95	90	50	95	98	93
9	121	2011	91	91	93	91	89	94	95	93	88	86
10	135	2011	93	93	93	93	95	95	95	95	90	95
11	149	2011		95	95	91	95	93	95	91	98	95
12	165	2011		93	90	93	93	86	88	95	93	98
13	181	2011		96	90	95	95	91	91	89	95	91
14	195	2011		95	90	95		90			90	90
15	210	2011		86	88	95	90	88	88	93	86	93
16	225	2011	89	91	92	87	93	89	77	95	91	90
17	240	2011	87	91	90	84	93	84	75		89	83
18	255	2011	84	95	95	95		86	90	87	91	93
19	270	2011	89	87	93	93	89	83	89	95	88	96
20	284	2011	89	91	93	89	89	87		91	91	89
21	300	2011	95	95	93	95	95	96	87		98	88
22	338	2011	93	91	90	95	93	95	91	90	93	86
23	350	2011	93	95	95	89	95	86	93	95	95	
24	360	2011	93	95	93	95	93	91	89	98	95	93
25	11	2012	93	95	95	95	98	87	98	91	93	91
26	31	2012	91	96	88	94	96	96	96	96	98	90
27	45	2012	91	83	95	91	93	89	90	95	89	88
28	58	2012	93	98	90	96	95	91		98	95	90
29	74	2012	95	90	98	96	92	95		89	92	91
30	90	2012	93	92	91	89	93	94	79	93	85	91
31	105	2012	86	93	90	89	93	90	93	93	91	89
32	120	2012	96	93		95	95	92	93	95	95	95
33	134	2012	91	89	91	89	89	92	89	89	89	91
34	150	2012	88	92	90	90	89	85	80	92	88	86
35	170	2012	91	89	93	87	93	90	87	93	91	89

Πίνακας 3.3 Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης των βάσεων προς NOA1
 Table 3.3 Phase ambiguities solution percentage of gps baselines to NOA1

α/α	day of year	yr	ποσοστό % επίλυσης ασαφειών βάσεων προς noa1 από τους σταθμούς									
			ankr	bucu	cagl	graz	ista	nico	not1	penc	sofi	wtzr
1	17	2011	93	92	84	89	80	89	82	87	89	84
2	30	2011	98	91	93	91	96	95	93	91	96	87
3	48	2011	96	94	85	94	98	94	95	94	92	92
4	60	2011	96	96	93	96	94	94	95	96	96	91
5	75	2011	86	82	85	86	85	92	86	86	92	84
6	89	2011	92	91	84	87	94	92	82	85	93	87
7	96	2011	95	96	93	91	100	93	88	91	93	89
8	102	2011	90	92	93	88	96	89	53	92	90	90
9	121	2011	91	92	95	91	92	92	91	94	93	87
10	135	2011	96	96	93	89	96	93	91	93	96	93
11	149	2011		91	93	89	93	91	89	89	89	89
12	165	2011		83	89	87	89	82	80	89	81	83
13	181	2011		89	84	89	89	87	84	85	84	88
14	195	2011		87	90	86		83			88	91
15	210	2011		90	86	89	91	86	81	89	83	89
16	225	2011	93	89	86	83	93	90	81	89	89	85
17	240	2011	86	82	84	83	86	83	81		80	78
18	255	2011	86	91	97	95		84	88	90	91	95
19	270	2011	88	82	87	86	92	84	84	84	83	84
20	284	2011	88	85	90	85	93	87		87	89	85
21	300	2011	87	81	94	85	89	89	80		87	83
22	338	2011	91	91	90	93	96	93	93	91	93	82
23	350	2011	93	91	84	83	91	90	91	90	80	
24	360	2011	94	87	89	90	94	91	82	92	98	83
25	11	2012	91	91	88	89	94	90	88	89	91	84
26	31	2012	90	88	89	88	90	92	91	90	92	90
27	45	2012	89	84	88	86	91	91	89	90	86	81
28	58	2012	94	94	89	85	98	91		86	92	84
29	74	2012	94	83	86	87	90	91		86	88	81
30	90	2012	92	85	88	83	92	95	80	85	82	83
31	105	2012	88	86	89	88	88	88	96	86	85	84
32	120	2012	91	90		89	87	85	91	83	88	85
33	134	2012	91	91	92	87	85	88	88	87	84	90
34	150	2012	87	88	85	90	83	86	80	86	79	85
35	170	2012	88	83	88	85	84	87	83	85	88	88

3.2.12.2 Βάσεις μικρού μήκους

Οι βάσεις που σχηματίστηκαν μεταξύ του μόνιμου σταθμού SELA προς τους μη μόνιμους σταθμούς του τοπικού δικτύου, αφορούν σε κοινές παρατηρήσεις μόνο στη συχνότητα L1 (όπως επιλέχθηκε να γίνει κατά την διαδικασία μαρκαρίσματος των ολισθήσεων κύκλων), διάρκειας τουλάχιστον 3 ωρών. Το μέγιστο μήκος βάσης είναι τα 1355m. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η βέλτιστη επίλυση ασαφειών φάσης γίνεται με τη μέθοδο SIGMA.

Η μέθοδος είναι επαναληπτική και χρησιμοποιεί το διάστημα εμπιστοσύνης γύρω από τη πραγματική τιμή της εκτιμούμενης ασάφειας ως το κριτήριο για το αν μια ασάφεια (από τις διπλές διαφορές) που είναι πραγματικός αριθμός μπορεί με σιγουριά να στρογγυλευθεί στον πλησιέστερο ακέραιο. Τα αποτελέσματα της μεθόδου SIGMA παρουσιάζονται ακολούθως.

Πίνακας 3.4 Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης των βάσεων τοπικού δικτύου
Table 3.4 Phase ambiguities solution percentage of gps bases, local network

		Βάση από SELA προς:	σύνολο ασαφειών	λυμένες	ποσοστό % επίλυσης			Βάση από SELA προς:	σύνολο ασαφειών	λυμένες	ποσοστό % επίλυσης
1η περίοδος	017 day of 2011	SL01	11	11	100	2η περίοδος	096 day of 2011	SL01	18	18	100
		SL02	17	17	100			SL02	10	10	100
		SL03	11	11	100			SL03	18	18	100
		SL04	10	10	100			SL04	11	11	100
		SL05	15	15	100			SL05	20	20	100
		SL06	11	11	100			SL06	10	10	100
		SL07	9	9	100			SL07	11	11	100
		SL08	11	11	100			SL08	16	15	93.75
		SL09	12	12	100			SL09	19	19	100
3η περίοδος	338 day of 2011	SL01	13	13	100	4η περίοδος	170 day of 2012	SL01	13	13	100
		SL02	11	11	100			SL02	11	10	90.91
		SL03	11	10	90.91			SL03	11	11	100
		SL04	11	11	100			SL04	12	12	100
		SL05	19	19	100			SL05	35	32	91.43
		SL06	12	12	100			SL06	11	11	100
		SL07	11	11	100			SL07	18	16	88.89
		SL08	13	12	92.31			SL08	12	9	75.00
		SL09	14	14	100			SL09	10	10	100

3.2.13 Δημιουργία κανονικών εξισώσεων (Πρόγραμμα GPSEST)

Από τη στιγμή που επιλύθηκαν η αρχική ασάφεια φάσης και υπολογίστηκαν οι κύκλοι ολίσθησης, η εξίσωση παρατήρησης της φάσης μπορεί να αντιστοιχηθεί σε υψηλής ακρίβειας απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, και να υπολογιστεί η σχετική απόσταση μεταξύ δυο δεκτών κάποια χρονική στιγμή. Το πρόγραμμα GPSEST χρησιμοποιείται για να σχηματιστούν οι κανονικές εξισώσεις της τελικής συνόρθωσης σε επίπεδο βάσεων.

Όπως προαναφέρθηκε, το κριτήριο επιλογής βάσεων που θα συμμετέχουν στην παραγωγή των κανονικών εξισώσεων ήταν το ποσοστό επίλυσης των ασαφειών τους. Επιλέχθηκαν όλες οι βάσεις των οποίων οι ασάφειες υπολογίστηκαν με ποσοστό επιτυχίας τουλάχιστον 70%.

Για τις μεγάλες βάσεις χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις ανα 180sec και όχι ανα 30sec που είναι διαθέσιμες. Η συνόρθωση με 480 το πολύ παρατηρήσεις είναι ικανοποιητική αφού οι μετρήσεις

καταλαμβάνουν χρόνο μιας ολόκληρης ημέρας. Ως συχνότητα επιλέγεται ο γραμμικός συνδυασμός L3, η γωνία αποκοπής ορίζοντα διατηρείται στις 15 μοίρες ενώ εφαρμόζεται οριζόντια διαβάθμιση για τις παραμέτρους τροπόσφαιρας (TILTING gradient estimation model)

Αντίστοιχα, στις μικρές βάσεις του τοπικού δικτύου, χρησιμοποιούνται όλες οι παρατηρήσεις (ανα 30sec), η συχνότητα είναι η L1, η γωνία αποκοπής ορίζοντα διατηρείται στις 15 μοίρες ενώ δεν εφαρμόζεται οριζόντια διαβάθμιση για τις παραμέτρους τροπόσφαιρας (TILTING gradient estimation model) αφού προκαλούσε πρόβλημα. Εξάλλου αυτό είναι αναμενόμενο διότι η εφαρμογή αυτή απαιτεί την χρήση 24ωρων παρατηρήσεων και μικρών γωνιών αποκοπής ορίζοντα.

Οι συντεταγμένες εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό στάδιο, είναι αυτές που θα χρησιμοποιηθούν για την τελική συνόρθωση του επόμενου σταδίου επεξεργασίας.

3.2.14 Συνόρθωση δικτύου (Πρόγραμμα ADDNEQ2)

Με το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες των σταθμών του δικτύου της IGS, όπως αυτές υπολογίστηκαν στο στάδιο της προεπεξεργασίας, ώστε μέσω των κανονικών εξισώσεων να υπολογιστούν οι άγνωστες συντεταγμένες των υπόλοιπων 11 σταθμών στο σύστημα αναφοράς που υλοποιείται από τους σταθμούς αυτούς, δηλαδή στο ITRF2008. Κατά τη συνόρθωση οι θέσεις των μόνιμων σταθμών διατηρούνται σταθερές (coordinates fixed).

Προκύπτουν έτσι συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού SELA στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ITRF2008 για κάθε μια από τις 35 ημέρες για τις οποίες έγινε επεξεργασία. Αντίστοιχα προκύπτουν οι συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού NOA1 στο ίδιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Τέλικά, από την επιλυμένη θέση του μόνιμου σταθμού SELA, υπολογίζονται στο ίδιο σύστημα, οι θέσεις των 9 μη μόνιμων σταθμών GPS για κάθε μια από τις 4 περιόδους μετρήσεων.

3.3 Αποτελέσματα

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων που υπολογίστηκαν δίνονται στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ITRF2008 αφού οι συντεταγμένες των μόνιμων σταθμών της IGS που χρησιμοποιήθηκαν υλοποιούσαν αυτό το σύστημα.

3.3.1 Μόνιμος σταθμός SELA

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται οι τελικές συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού SELA για κάθε μια από τις 35 ημέρες που έγινε υπολογισμός της θέσης του. Σημειώνονται οι τέσσερις μέρες (17, 96, 338 και 170) που αντιστοιχούν στην μέτρηση του δικτύου μη μόνιμων σταθμών.

Πίνακας 3.5 Καρτεσιανές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού SELA
Table 3.5 Cartesian coordinates of SELA station

year	day	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
2011	17	4723249.8467	1887568.3847	3836165.8274	1.0	0.5	0.8
	30	4723249.8429	1887568.3830	3836165.8249	0.5	0.2	0.5
	48	4723249.8487	1887568.3896	3836165.8338	0.6	0.3	0.5
	60	4723249.8490	1887568.3860	3836165.8272	0.5	0.2	0.4
	75	4723249.8474	1887568.3872	3836165.8258	0.7	0.3	0.6
	89	4723249.7962	1887568.3594	3836165.8960	1.0	0.5	0.9
	96	4723249.7905	1887568.3583	3836165.8898	0.6	0.3	0.5
	102	4723249.7951	1887568.3591	3836165.8897	0.6	0.3	0.5
	121	4723249.7942	1887568.3556	3836165.8839	0.6	0.3	0.5
	135	4723249.7947	1887568.3611	3836165.8883	0.6	0.3	0.5
	149	4723249.7895	1887568.3558	3836165.8876	0.7	0.3	0.6
	165	4723249.7936	1887568.3575	3836165.8919	0.8	0.4	0.7
	181	4723249.7871	1887568.3543	3836165.8891	0.6	0.3	0.5
	195	4723249.7958	1887568.3667	3836165.8890	0.9	0.4	0.8
	210	4723249.8053	1887568.3712	3836165.8937	0.7	0.3	0.6
	225	4723249.7889	1887568.3607	3836165.8808	0.6	0.3	0.6
	240	4723249.7982	1887568.3638	3836165.8861	0.9	0.5	0.8
	255	4723249.7967	1887568.3645	3836165.8857	0.7	0.3	0.6
	270	4723249.7983	1887568.3636	3836165.8842	0.6	0.3	0.6
	284	4723249.7866	1887568.3586	3836165.8748	0.6	0.3	0.6
300	4723249.7957	1887568.3623	3836165.8797	0.7	0.3	0.6	
338	4723249.7926	1887568.3609	3836165.8724	0.6	0.3	0.5	
350	4723249.7979	1887568.3605	3836165.8785	0.7	0.4	0.6	
360	4723249.8002	1887568.3681	3836165.8764	0.5	0.3	0.5	
2012	11	4723249.7992	1887568.3693	3836165.8730	0.5	0.3	0.5
	31	4723249.7972	1887568.3694	3836165.8719	0.5	0.2	0.4
	45	4723249.8067	1887568.3703	3836165.8769	0.6	0.3	0.5
	58	4723249.8007	1887568.3712	3836165.8712	0.6	0.3	0.5
	74	4723249.8031	1887568.3709	3836165.8694	0.6	0.3	0.5
	90	4723249.8092	1887568.3767	3836165.8720	0.6	0.3	0.5
	105	4723249.8066	1887568.3648	3836165.8657	0.8	0.4	0.7
	120	4723249.7993	1887568.3728	3836165.8644	0.6	0.3	0.5
	134	4723249.8058	1887568.3733	3836165.8658	0.6	0.3	0.6
	150	4723249.7990	1887568.3720	3836165.8657	0.6	0.3	0.5
	170	4723249.8036	1887568.3707	3836165.8727	0.7	0.3	0.6

Από τη μελέτη του πίνακα γίνεται εύκολα αντιληπτή η πολύ μεγάλη μετακίνηση του σταθμού στο διάστημα μεταξύ της 75ης και 89ης ημέρας.

3.3.2 Μόνιμος σταθμός NOA1

Κατ' αντιστοιχία με τον προηγούμενο πίνακα, στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται οι τελικές συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού NOA1 για κάθε μια από τις 35 ημέρες που έγινε υπολογισμός της θέσης του. Σημειώνονται οι τέσσερις μέρες (17, 96, 338 και 170) που αντιστοιχούν στην μέτρηση του δικτύου μη μόνιμων σταθμών.

Πίνακας 3.6 Καρτεσιανές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού NOA1
Table 3.6 Cartesian coordinates of NOA1 station

year	day	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
2011	17	4599641.9405	2034827.3710	3909890.5899	1.0	0.5	0.8
	30	4599641.9570	2034827.3731	3909890.5927	0.5	0.3	0.4
	48	4599641.9538	2034827.3738	3909890.5904	0.6	0.3	0.5
	60	4599641.9542	2034827.3728	3909890.5904	0.5	0.2	0.4
	75	4599641.9549	2034827.3746	3909890.5897	0.6	0.3	0.6
	89	4599641.9571	2034827.3748	3909890.5904	0.5	0.3	0.5
	96	4599641.9465	2034827.3737	3909890.5879	0.6	0.3	0.5
	102	4599641.9558	2034827.3752	3909890.5866	0.6	0.3	0.5
	121	4599641.9533	2034827.3759	3909890.5854	0.6	0.3	0.5
	135	4599641.9541	2034827.3756	3909890.5848	0.5	0.3	0.5
	149	4599641.9482	2034827.3755	3909890.5851	0.7	0.3	0.6
	165	4599641.9584	2034827.3758	3909890.5851	0.8	0.4	0.7
	181	4599641.9553	2034827.3789	3909890.5842	0.6	0.3	0.5
	195	4599641.9435	2034827.3772	3909890.5897	0.9	0.5	0.8
	210	4599641.9572	2034827.3804	3909890.5836	0.7	0.4	0.6
	225	4599641.9547	2034827.3785	3909890.5781	0.6	0.3	0.5
	240	4599641.9424	2034827.3779	3909890.5801	0.9	0.4	0.8
	255	4599641.9317	2034827.3792	3909890.5772	0.7	0.4	0.6
	270	4599641.9449	2034827.3786	3909890.5816	0.6	0.3	0.6
	284	4599641.9467	2034827.3770	3909890.5760	0.6	0.3	0.6
300	4599641.9515	2034827.3854	3909890.5956	0.7	0.4	0.6	
338	4599641.9557	2034827.3809	3909890.5793	0.6	0.3	0.5	
350	4599641.9623	2034827.3860	3909890.5820	0.7	0.4	0.6	
360	4599641.9498	2034827.3807	3909890.5792	0.5	0.3	0.5	
2012	11	4599641.9608	2034827.3826	3909890.5839	0.5	0.3	0.5
	31	4599641.9422	2034827.3799	3909890.5756	0.5	0.2	0.4
	45	4599641.9630	2034827.3869	3909890.5860	0.6	0.3	0.5
	58	4599641.9520	2034827.3811	3909890.5752	0.6	0.3	0.5
	74	4599641.9508	2034827.3816	3909890.5736	0.5	0.3	0.5
	90	4599641.9594	2034827.3849	3909890.5801	0.5	0.3	0.5
	105	4599641.9570	2034827.3850	3909890.5763	0.8	0.4	0.7
	120	4599641.9543	2034827.3830	3909890.5714	0.6	0.3	0.5
	134	4599641.9555	2034827.3869	3909890.5758	0.6	0.3	0.6
150	4599641.9541	2034827.3868	3909890.5725	0.6	0.3	0.5	
170	4599641.9489	2034827.3871	3909890.5774	0.6	0.3	0.6	

Ο έλεγχος της ποιότητας επίλυσης θα γίνει σε επόμενο εδάφιο.

3.3.3 Δίκτυο μη μόνιμων σταθμών

Στον ακόλουθο πίνακα, δίνονται οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου μη μόνιμων σταθμών για κάθε μια από τις 4 ημέρες που έγινε υπολογισμός της θέσης τους.

Η μελέτη του πίνακα αποκαλύπτει μια χαμηλότερη συγκριτικά ποιότητα επίλυσης της τέταρτης περιόδου μετρήσεων

Πίνακας 3.7 Καρτεσιανές συντεταγμένες δικτύου μη μόνιμων σταθμών
Table 3.7 Cartesian coordinates of Non-Permanent stations network

Σταθμός	doy	year	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_X (mm)	σ_Y (mm)	σ_Z (mm)
SL01	17	2011	4723098.7535	1887711.5094	3836257.6330	1.2	0.6	1.0
	96	2011	4723098.7475	1887711.5066	3836257.6253	1.0	0.4	0.8
	338	2011	4723098.7414	1887711.5044	3836257.5973	1.3	0.6	1.1
	170	2012	4723098.7550	1887711.5088	3836257.6021	3.8	1.6	3.3
SL02	17	2011	4723246.0665	1887719.6827	3836122.7581	1.0	0.5	0.8
	96	2011	4723246.0755	1887719.6857	3836122.7641	1.1	0.5	0.9
	338	2011	4723246.0646	1887719.6789	3836122.7326	1.4	0.6	1.1
	170	2012	4723246.0577	1887719.6753	3836122.7260	3.5	1.6	2.9
SL03	17	2011	4723580.6040	1887886.4974	3835671.0011	1.2	0.6	1.0
	96	2011	4723580.6041	1887886.5016	3835670.9908	1.0	0.4	0.8
	338	2011	4723580.6108	1887886.4994	3835670.9782	1.4	0.6	1.1
	170	2012	4723580.6180	1887886.5040	3835670.9815	3.8	1.7	3.2
SL04	17	2011	4723290.7231	1887655.7587	3836100.1618	1.3	0.6	1.0
	96	2011	4723290.7339	1887655.7642	3836100.1640	1.1	0.5	0.9
	338	2011	4723290.7244	1887655.7542	3836100.1368	1.4	0.6	1.2
	170	2012	4723290.7286	1887655.7647	3836100.1412	4.1	1.7	3.4
SL05	17	2011	4723779.9752	1886396.1661	3835960.2479	0.9	0.4	0.7
	96	2011	4723779.9751	1886396.1714	3835960.2415	0.7	0.3	0.6
	338	2011	4723779.9765	1886396.1685	3835960.2197	0.8	0.4	0.7
	170	2012	4723780.0165	1886396.2015	3835960.2433	2.4	1.2	2.0
SL06	17	2011	4723209.6792	1887831.0325	3836150.9375	1.2	0.5	0.9
	96	2011	4723209.6750	1887831.0322	3836150.9333	1.1	0.5	0.9
	338	2011	4723209.6748	1887831.0267	3836150.9076	1.4	0.6	1.2
	170	2012	4723209.6730	1887831.0275	3836150.9037	3.5	1.6	2.9
SL07	17	2011	4723357.5456	1887691.0872	3836036.5826	1.4	0.6	1.1
	96	2011	4723357.5402	1887691.0871	3836036.5715	1.1	0.5	0.9
	338	2011	4723357.5330	1887691.0772	3836036.5436	1.4	0.6	1.1
	170	2012	4723357.5456	1887691.0884	3836036.5511	3.4	1.5	2.8
SL08	17	2011	4723112.9419	1887539.4048	3836335.0302	1.2	0.6	1.0
	96	2011	4723112.9435	1887539.4076	3836335.0252	1.0	0.4	0.8
	338	2011	4723112.9346	1887539.3989	3836334.9978	1.3	0.6	1.1
	170	2012	4723112.9729	1887539.4190	3836335.0302	4.2	1.8	3.7
SL09	17	2011	4723092.6349	1887585.2481	3836365.5978	1.0	0.5	0.9
	96	2011	4723092.6452	1887585.2530	3836365.5997	0.9	0.4	0.7
	338	2011	4723092.6289	1887585.2450	3836365.5662	1.2	0.5	1.0
	170	2012	4723092.6544	1887585.2588	3836365.5860	3.8	1.6	3.4

Κεφάλαιο 4ο Επεξεργασία αποτελεσμάτων

4.1 Μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων σε γεωδαιτικές

Για την μελέτη των μετακινήσεων των σταθμών, είναι απαραίτητο να μετασχηματιστούν οι συντεταγμένες από καρτεσιανές σε γεωδαιτικές. Αυτό γίνεται μέσω των γνωστών σχέσεων:

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X} \quad [\text{Εξ. 4.1}]$$

$$\varphi = \arctan \left(\frac{Z + e^2 N \sin \varphi}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \quad [\text{Εξ. 4.2}]$$

$$h = \frac{Z}{\sin \varphi} - (1 - e^2)N \quad [\text{Εξ. 4.3}]$$

όταν για τον υπολογισμό του φ απαιτούνται μερικές διαδοχικές επαναλήψεις ξεκινώντας από την προσεγγιστική τιμή που δίνει η σχέση: $\varphi = \arctan \left(\frac{Z + (1 + e'^2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right)$ [Εξ. 4.4]

όπου:

$$N, \text{ η ακτίνα καμπυλότητας της πρώτης κάθετης τομής, } N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad [\text{Εξ. 4.5}]$$

$$e^2, \text{ το τετράγωνο της πρώτης εκκεντρότητας, } e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad [\text{Εξ. 4.6}]$$

$$e'^2, \text{ το τετράγωνο της δεύτερης εκκεντρότητας, } e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad [\text{Εξ. 4.7}]$$

Το ελλειψοειδές στο οποίο γίνεται η μετατροπή είναι το ελλειψοειδές του γεωδαιτικού συστήματος WGS84 που ορίζεται με μήκη μεγάλου και μικρού άξονα τα 6378137.0000m και 6356752.3142m αντίστοιχα.

Τα σφάλματα κατά φ , λ και h υπολογίζονται απ'ευθείας από το λογισμικό και εκφράζονται σε μονάδες μήκους. Η διαδικασία υπολογισμού των σφαλμάτων αφορά σε εφαρμογή των νόμου μετάδοσης των μεταβλητοτήτων με προηγούμενη γραμμικοποίηση των μη γραμμικών σχέσεων μεταξύ των καρτεσιανών και των γεωδαιτικών συντεταγμένων.

Ακολουθούν οι πίνακες που παρουσιάζουν τις γεωδαιτικές συντεταγμένες όλων των σημείων μαζί με τα αντίστοιχα σφάλματά τους.

Όπως αναμένεται για αυτή τη τεχνική της δορυφορικής γεωδαισίας, η υψομετρική ακρίβεια είναι μικρότερη της οριζοντιογραφικής.

4.1.1 Γεωδαιτικές συντεταγμένες σταθμού SELA

Τα αποτελέσματα της μετατροπής δίνονται στον ακόλουθο πίνακα. Είναι ευκολα αντιληπτή μετατόπιση του σταθμού στο χρονικό διάστημα μεταξύ 75ης και 89ης ημέρας του 2011.

Πίνακας 4.1 Γεωδαιτικές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού SELA

Table 4.1 Geodetic coordinates of SELA station

year	doy	φ(d)	φ(min)	φ(sec)	λ(d)	λ(min)	λ(sec)	h (m)	σφ (mm)	σλ (mm)	σh (mm)
2011	17	37	12	30.602939	21	46	59.878721	526.1134	0.3	0.3	1.3
	30	37	12	30.602956	21	46	59.878715	526.1086	0.2	0.1	0.7
	48	37	12	30.603032	21	46	59.878876	526.1202	0.2	0.2	0.8
	60	37	12	30.602882	21	46	59.878736	526.1154	0.2	0.1	0.7
	75	37	12	30.602866	21	46	59.878805	526.1137	0.2	0.2	0.9
	89	37	12	30.605815	21	46	59.878529	526.1101	0.3	0.3	1.3
	96	37	12	30.605766	21	46	59.878573	526.1018	0.2	0.2	0.8
	102	37	12	30.605674	21	46	59.878534	526.1054	0.2	0.2	0.8
	121	37	12	30.605566	21	46	59.878416	526.1001	0.2	0.2	0.8
	135	37	12	30.605631	21	46	59.878615	526.1048	0.2	0.2	0.7
	149	37	12	30.605746	21	46	59.878494	526.0990	0.2	0.2	0.9
	165	37	12	30.605770	21	46	59.878496	526.1051	0.3	0.2	1.1
	181	37	12	30.605839	21	46	59.878474	526.0977	0.2	0.2	0.8
	195	37	12	30.605588	21	46	59.878810	526.1077	0.3	0.3	1.3
	210	37	12	30.605504	21	46	59.878836	526.1189	0.2	0.2	1
	225	37	12	30.605546	21	46	59.878688	526.0959	0.2	0.2	0.9
	240	37	12	30.605491	21	46	59.878664	526.1069	0.3	0.3	1.2
	255	37	12	30.605503	21	46	59.878713	526.1057	0.2	0.2	1
	270	37	12	30.605441	21	46	59.878655	526.1057	0.2	0.2	0.9
	284	37	12	30.605448	21	46	59.878643	526.0899	0.2	0.2	0.9
300	37	12	30.605382	21	46	59.878645	526.1007	0.2	0.2	0.9	
338	37	12	30.605260	21	46	59.878639	526.0936	0.2	0.2	0.8	
350	37	12	30.605324	21	46	59.878545	526.1011	0.2	0.2	1	
360	37	12	30.605172	21	46	59.878796	526.1037	0.2	0.2	0.7	
2012	11	37	12	30.605094	21	46	59.878856	526.1013	0.2	0.2	0.7
	31	37	12	30.605101	21	46	59.878890	526.0992	0.2	0.1	0.7
	45	37	12	30.605051	21	46	59.878781	526.1095	0.2	0.2	0.8
	58	37	12	30.605006	21	46	59.878905	526.1019	0.2	0.2	0.8
	74	37	12	30.604918	21	46	59.878858	526.1025	0.2	0.2	0.8
	90	37	12	30.604832	21	46	59.878985	526.1103	0.2	0.2	0.8
	105	37	12	30.604803	21	46	59.878576	526.1010	0.2	0.2	1.1
	120	37	12	30.604845	21	46	59.878987	526.0972	0.2	0.2	0.8
	134	37	12	30.604759	21	46	59.878908	526.1030	0.2	0.2	0.9
	150	37	12	30.604889	21	46	59.878961	526.0975	0.2	0.2	0.8
	170	37	12	30.604996	21	46	59.878843	526.1048	0.2	0.2	0.9

4.1.2 Γεωδαιτικές συντεταγμένες σταθμού NOA1

Δίνονται ακολούθως οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού NOA1

Πίνακας 4.2 Γεωδαιτικές συντεταγμένες μόνιμου σταθμού NOA1
Table 4.2 Geodetic coordinates of NOA1 station

year	doy	φ(d)	φ(min)	φ(sec)	λ(d)	λ(min)	λ(sec)	h (m)	σφ (mm)	σλ (mm)	σh (mm)
2011	17	38	2	49.428147	23	51	50.520997	537.8177	0.3	0.3	1.3
	30	38	2	49.427900	23	51	50.520802	537.8320	0.2	0.1	0.7
	48	38	2	49.427894	23	51	50.520882	537.8285	0.2	0.2	0.8
	60	38	2	49.427895	23	51	50.520837	537.8284	0.2	0.1	0.7
	75	38	2	49.427849	23	51	50.520893	537.8291	0.2	0.2	0.9
	89	38	2	49.427825	23	51	50.520864	537.8312	0.2	0.1	0.7
	96	38	2	49.427964	23	51	50.520999	537.8217	0.2	0.2	0.8
	102	38	2	49.427749	23	51	50.520901	537.8280	0.2	0.2	0.8
	121	38	2	49.427758	23	51	50.520969	537.8257	0.2	0.2	0.8
	135	38	2	49.427731	23	51	50.520944	537.8258	0.2	0.2	0.7
	149	38	2	49.427847	23	51	50.521038	537.8217	0.2	0.2	0.9
	165	38	2	49.427658	23	51	50.520880	537.8292	0.3	0.2	1.1
	181	38	2	49.427667	23	51	50.521048	537.8274	0.2	0.2	0.8
	195	38	2	49.428037	23	51	50.521180	537.8217	0.3	0.3	1.3
	210	38	2	49.427605	23	51	50.521073	537.8288	0.2	0.2	1
	225	38	2	49.427525	23	51	50.521043	537.8230	0.2	0.2	0.8
	240	38	2	49.427806	23	51	50.521224	537.8152	0.3	0.3	1.2
	255	38	2	49.427917	23	51	50.521451	537.8061	0.2	0.2	1
	270	38	2	49.427793	23	51	50.521209	537.8182	0.2	0.2	0.9
	284	38	2	49.427630	23	51	50.521119	537.8155	0.2	0.2	0.9
300	38	2	49.427975	23	51	50.521355	537.8337	0.2	0.2	0.9	
338	38	2	49.427518	23	51	50.521116	537.8253	0.2	0.2	0.8	
350	38	2	49.427425	23	51	50.521198	537.8333	0.2	0.2	1	
360	38	2	49.427625	23	51	50.521207	537.8209	0.2	0.2	0.7	
2012	11	38	2	49.427529	23	51	50.521095	537.8323	0.2	0.2	0.7
	31	38	2	49.427679	23	51	50.521303	537.8129	0.2	0.1	0.7
	45	38	2	49.427507	23	51	50.521220	537.8366	0.2	0.2	0.8
	58	38	2	49.427480	23	51	50.521185	537.8201	0.2	0.2	0.8
	74	38	2	49.427457	23	51	50.521224	537.8185	0.2	0.2	0.7
	90	38	2	49.427439	23	51	50.521205	537.8297	0.2	0.2	0.7
	105	38	2	49.427385	23	51	50.521249	537.8257	0.2	0.2	1
	120	38	2	49.427325	23	51	50.521218	537.8201	0.2	0.2	0.8
	134	38	2	49.427384	23	51	50.521345	537.8249	0.2	0.2	0.9
	150	38	2	49.427326	23	51	50.521364	537.8218	0.2	0.2	0.8
170	38	2	49.427544	23	51	50.521462	537.8212	0.2	0.2	0.9	

4.1.3 Γεωδαιτικές συντεταγμένες δικτύου μη μόνιμων σταθμών

Η μελέτη του πίνακα γεωδαιτικών συντεταγμένων του δικτύου μη μόνιμων σταθμών, αποκαλύπτει μια χαμηλότερη συγκριτικά ποιότητα επίλυσης της τέταρτης περιόδου. Όπως αναμένεται η οριζοντιογραφική ακρίβεια είναι καλύτερη της υψομετρικής.

Πίνακας 4.3 Γεωδαιτικές συντεταγμένες δικτύου μη μόνιμων σταθμών
Table 4.3 Geodetic coordinates of Non-Permanent stations network

Σταθμός	doy	year	φ(d)	φ(min)	φ(sec)	λ(d)	λ(min)	λ(sec)	h (m)	σφ (mm)	σλ (mm)	σh (mm)
SL01	17	2011	37	12	34.684634	21	47	7.542129	512.1914	0.2	0.2	1.6
	96	2011	37	12	34.684564	21	47	7.542114	512.1815	0.2	0.1	1.4
	338	2011	37	12	34.683968	21	47	7.542123	512.1594	0.2	0.2	1.7
	170	2012	37	12	34.683813	21	47	7.542084	512.1737	0.6	0.8	5.2
SL02	17	2011	37	12	28.457904	21	47	5.632850	541.9920	0.2	0.2	1.4
	96	2011	37	12	28.457873	21	47	5.632828	542.0032	0.2	0.2	1.5
	338	2011	37	12	28.457308	21	47	5.632736	541.9741	0.2	0.3	1.8
	170	2012	37	12	28.457289	21	47	5.632704	541.9639	0.6	0.7	4.7
SL03	17	2011	37	12	9.480613	21	47	6.879584	565.5575	0.2	0.2	1.7
	96	2011	37	12	9.480315	21	47	6.879741	565.5526	0.2	0.1	1.3
	338	2011	37	12	9.479883	21	47	6.879557	565.5492	0.2	0.3	1.8
	170	2012	37	12	9.479804	21	47	6.879622	565.5579	0.6	0.8	5.1
SL04	17	2011	37	12	27.526146	21	47	2.553719	542.4603	0.2	0.2	1.7
	96	2011	37	12	27.525966	21	47	2.553763	542.4712	0.2	0.2	1.5
	338	2011	37	12	27.525509	21	47	2.553530	542.4448	0.2	0.2	1.9
	170	2012	37	12	27.525470	21	47	2.553862	542.4536	0.6	0.7	5.5
SL05	17	2011	37	12	24.165768	21	46	7.760340	447.5382	0.2	0.3	1.1
	96	2011	37	12	24.165566	21	46	7.760541	447.5358	0.1	0.2	0.9
	338	2011	37	12	24.164998	21	46	7.760411	447.5228	0.1	0.2	1.1
	170	2012	37	12	24.164639	21	46	7.761052	447.5764	0.5	0.7	3.2
SL06	17	2011	37	12	29.038022	21	47	10.373371	565.0353	0.2	0.2	1.5
	96	2011	37	12	29.037992	21	47	10.373423	565.0296	0.2	0.2	1.5
	338	2011	37	12	29.037372	21	47	10.373219	565.0123	0.2	0.3	1.9
	170	2012	37	12	29.037298	21	47	10.373276	565.0088	0.6	0.8	4.7
SL07	17	2011	37	12	24.409533	21	47	2.878416	563.8765	0.2	0.2	1.8
	96	2011	37	12	24.409345	21	47	2.878494	563.8658	0.2	0.2	1.5
	338	2011	37	12	24.408828	21	47	2.878229	563.8407	0.2	0.3	1.9
	170	2012	37	12	24.408710	21	47	2.878462	563.8578	0.6	0.7	4.5
SL08	17	2011	37	12	37.678358	21	47	0.847710	518.6212	0.2	0.2	1.7
	96	2011	37	12	37.678179	21	47	0.847791	518.6202	0.2	0.2	1.3
	338	2011	37	12	37.677696	21	47	0.847597	518.5945	0.2	0.2	1.8
	170	2012	37	12	37.677690	21	47	0.847778	518.6483	0.6	0.9	5.8
SL09	17	2011	37	12	38.504151	21	47	2.879641	535.6381	0.2	0.2	1.4
	96	2011	37	12	38.503976	21	47	2.879671	535.6484	0.2	0.1	1.2
	338	2011	37	12	38.503466	21	47	2.879615	535.6137	0.2	0.2	1.6
	170	2012	37	12	38.503413	21	47	2.879751	535.6486	0.6	0.8	5.2

4.2 Υπολογισμός οριζοντιογραφικών και υψομετρικών μετακινήσεων

Τα μήκη των μετακινήσεων των διαφόρων σημείων κατα Βορρά και Ανατολή πάνω στο ελλειψοειδές αναφοράς, αφορούν σε μήκη τόξων που όμως λόγω του μικρού μήκους τους εκφυλίζονται σε ευθύγραμμα τμήματα ίσου μήκους. Υπολογίζονται με τη βοήθεια των ακόλουθων σχέσεων από τις διαφορές των γεωδαιτικών συντεταγμένων $d\phi$ και $d\lambda$:

$$dEast = \rho d\phi \quad [Εξ. 4.8]$$

$$dNorth = N \cos\phi d\lambda \quad [Εξ. 4.9]$$

όπου N , η ακτίνα καμπυλότητας της πρώτης κάθετης τομής [Εξ.4.5] και

$$\rho, \text{ η ακτίνα καμπυλότητας του μεσηβρινού: } \rho = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\phi)^3}} \quad [Εξ. 4.10]$$

Εναλλακτικά μπορεί να γίνει απευθείας μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων σε τοποκεντρικές με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$\begin{bmatrix} dN \\ dE \\ dU \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\phi \cos\lambda & -\sin\phi \sin\lambda & \cos\phi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\phi \cos\lambda & \cos\phi \sin\lambda & \sin\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad [Εξ. 4.11]$$

όπου:

- $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ είναι οι διαφορές σε μέτρα των γεωκετρικών συντεταγμένων δυο σημείων που μας ενδιαφέρει η απόστασή τους,
- ϕ και λ οι γεωδαιτικές συντεταγμένες (σε rad) ενός εκ των δύο σημείων (δεν παίζει ρόλο η επιλογή κάποιου για σημεία τόσο κοντά μεταξύ τους), και
- dN, dE, dU είναι οι ζητούμενες αποστάσεις σε μέτρα,

Σχετικά με τον υπολογισμό των σφαλμάτων των μετατοπίσεων (σ_{dEast} , σ_{dNorth} , σ_{dUp}), πρέπει κανονικά να εφαρμοστεί ο νόμος μετάδοσης των μεταβλητοτήτων με προηγούμενη γραμμικοποίηση των μη γραμμικών σχέσεων που αφορούν την όποια από τις προαναφερθείσες μεθόδους χρησιμοποιηθεί.

Παραταύτα, επειδή οι γωνιακές και υψομετρικές διαφορές είναι πολύ μικρές, γίνεται την παραδοχή ότι δεν πρόκειται για διαφορές γωνιών αλλά διαφορές μηκών στο επίπεδο. Επίσης γίνεται η παραδοχή ότι οι παρατηρήσεις είναι ασυσχέτιστες διαφορές μηκών. Εφαρμόζοντας λοιπόν το νόμο μετάδοσης μεταβλητοτήτων, προκύπτει ότι η μεταβλητότητα της κάθε παρατήρησης ($d\phi$, $d\lambda$) αφορά στο άθροισμα των επιμέρους μεταβλητοτήτων των γωνιών $d\phi$ και $d\lambda$. Η ίδια προσέγγιση γίνεται και για τις υψομετρικές διαφορές dh . Οι μεταβλητότητες που εκτιμώνται, μορφώνουν τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας των παρατηρήσεων που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του πίνακα βαρών στην γραμμική παραβολή ανισοβαρών παρατηρήσεων που γίνεται κατα τον υπολογισμό των τεκτονικών ταχυτήτων των σταθμών.

Εξάλλου, στην διαδικασία ανισοβαρούς γραμμικής παρεμβολής για τον υπολογισμό των τεκτονικών ταχυτήτων, ενδιαφέρει κύρια ο υπολογισμός του πίνακα βαρών. Έτσι, δε παίζει σπουδαίο ρόλο η απόλυτη τιμή του σφάλματος της παρατήρησης που ούτως ή άλλως είναι υπερεκτιμημένη λόγω του πλήθους των παρατηρήσεων, αλλά είναι σημαντική η ομοιογενής εκτίμηση των σφαλμάτων για κάθε ημέρα προσδιορισμού της θέσης κάποιου σταθμού.

4.2.1 Μετατοπίσεις μόνιμων σταθμών, SELA και NOA1

Στόν ακόλουθο πίνακα δίνονται οι μετατοπίσεις και τα αντίστοιχα σφάλματα μετατοπίσεων των σταθμών SELA και NOA1. Η θέση από την οποία υπολογίζονται οι μετατοπίσεις, αφορά σε συντεταγμένες των σταθμών της 17ης ημέρα του 2011, όπως αυτές υπολογίστηκαν από μια αρχική συνόρθωση.

Πίνακας 4.4 Μετατοπίσεις (mm) κατα Βορρά, Ανατολή και καθ' ύψος σταθμών SELA κ NOA1
Table 4.4 North, East, Up displacements (mm) of SELA and NOA1 stations

		Μετατοπίσεις κατα Βορρά, Ανατολή και καθ' ύψος σε mm											
year	doy	SELA						NOA1					
		dNorth	dEast	dUp	σ (dNorth)	σ (dEast)	σ (dUp)	dNorth	dEast	dUp	σ (dNorth)	σ (dEast)	σ (dUp)
2011	17	0.1	0.1	0.0	0.42	0.42	1.84	-0.1	-0.2	-1.6	0.42	0.42	1.84
	30	0.6	0.0	-4.8	0.36	0.32	1.48	-7.8	-5.0	12.6	0.36	0.32	1.48
	48	3.0	3.9	6.8	0.36	0.36	1.53	-8.0	-3.0	9.2	0.36	0.36	1.53
	60	-1.7	0.5	2.0	0.36	0.32	1.48	-7.9	-4.1	9.1	0.36	0.32	1.48
	75	-2.1	2.2	0.3	0.36	0.36	1.58	-9.3	-2.8	9.8	0.36	0.36	1.58
	89	89.0	-4.6	-3.3	0.42	0.42	1.84	-10.1	-3.5	11.9	0.36	0.32	1.48
	96	87.5	-3.5	-11.6	0.36	0.36	1.53	-5.8	-0.2	2.4	0.36	0.36	1.53
	102	84.6	-4.5	-8.0	0.36	0.36	1.53	-12.4	-2.5	8.7	0.36	0.36	1.53
	121	81.3	-7.4	-13.3	0.36	0.36	1.53	-12.1	-0.9	6.4	0.36	0.36	1.53
	135	83.3	-2.5	-8.6	0.36	0.36	1.48	-13.0	-1.6	6.5	0.36	0.36	1.48
	149	86.8	-5.5	-14.5	0.36	0.36	1.58	-9.4	0.7	2.4	0.36	0.36	1.58
	165	87.6	-5.5	-8.3	0.42	0.36	1.70	-15.3	-3.1	9.8	0.42	0.36	1.70
	181	89.7	-6.0	-15.7	0.36	0.36	1.53	-14.9	1.0	8.1	0.36	0.36	1.53
	195	82.0	2.3	-5.7	0.42	0.42	1.84	-3.5	4.2	2.4	0.42	0.42	1.84
	210	79.4	2.9	5.5	0.36	0.36	1.64	-16.9	1.6	9.6	0.36	0.36	1.64
	225	80.6	-0.7	-17.5	0.36	0.36	1.58	-19.3	0.9	3.7	0.36	0.36	1.53
	240	78.9	-1.3	-6.5	0.42	0.42	1.77	-10.7	5.3	-4.0	0.42	0.42	1.77
	255	79.3	-0.1	-7.7	0.36	0.36	1.64	-7.2	10.8	-13.2	0.36	0.36	1.64
	270	77.4	-1.5	-7.6	0.36	0.36	1.58	-11.1	4.9	-1.2	0.36	0.36	1.58
	284	77.6	-1.8	-23.5	0.36	0.36	1.58	-16.1	2.7	-3.8	0.36	0.36	1.58
300	75.5	-1.8	-12.7	0.36	0.36	1.58	-5.4	8.4	14.4	0.36	0.36	1.58	
338	71.8	-1.9	-19.8	0.36	0.36	1.53	-19.5	2.7	5.9	0.36	0.36	1.53	
350	73.8	-4.3	-12.3	0.36	0.36	1.64	-22.4	4.6	14.0	0.36	0.36	1.64	
360	69.1	2.0	-9.6	0.36	0.36	1.48	-16.2	4.9	1.5	0.36	0.36	1.48	
2012	11	66.7	3.4	-12.1	0.36	0.36	1.48	-19.2	2.1	12.9	0.36	0.36	1.48
	31	66.9	4.3	-14.2	0.36	0.32	1.48	-14.6	7.2	-6.4	0.36	0.32	1.48
	45	65.3	1.6	-3.9	0.36	0.36	1.53	-19.9	5.2	17.2	0.36	0.36	1.53
	58	64.0	4.6	-11.5	0.36	0.36	1.53	-20.7	4.4	0.8	0.36	0.36	1.53
	74	61.3	3.5	-10.9	0.36	0.36	1.53	-21.5	5.3	-0.9	0.36	0.36	1.48
	90	58.6	6.6	-3.1	0.36	0.36	1.53	-22.0	4.8	10.4	0.36	0.36	1.48
	105	57.7	-3.4	-12.4	0.36	0.36	1.70	-23.7	5.9	6.3	0.36	0.36	1.64
	120	59.0	6.6	-16.2	0.36	0.36	1.53	-25.5	5.1	0.7	0.36	0.36	1.53
	134	56.3	4.7	-10.4	0.36	0.36	1.58	-23.7	8.2	5.6	0.36	0.36	1.58
	150	60.4	6.0	-15.8	0.36	0.36	1.53	-25.5	8.6	2.5	0.36	0.36	1.53
170	63.7	3.1	-8.6	0.36	0.36	1.58	-18.8	11.1	1.9	0.36	0.36	1.58	

4.2.2 Μετατοπίσεις μη μόνιμων σταθμών

Πίνακας 4.5 Μετατοπίσεις (mm) κατα Βορρά, Ανατολή και καθ' ύψος του δικτύου μη μόνιμων σταθμών

Table 4.5 North, East, Up displacements (mm) of Non-Permanent stations

ΣΤΑΘΜΟΣ	Μετατοπίσεις κατα Βορρά, Ανατολή και καθ' ύψος σε mm							
	year	day	dNorth	dEast	dUp	σ (dNorth)	σ (dEast)	σ (dUp)
SL01	2011	17	42.7	30.6	46.0	0.28	0.28	2.26
		96	40.5	30.2	36.1	0.28	0.22	2.13
		338	22.1	30.4	14.0	0.28	0.28	2.33
	2012	170	17.3	29.4	28.3	0.63	0.82	5.44
SL02	2011	17	39.5	31.8	38.5	0.28	0.28	1.98
		96	38.5	31.2	49.6	0.28	0.28	2.05
		338	21.1	29.0	20.5	0.28	0.36	2.28
	2012	170	20.5	28.2	10.4	0.63	0.73	4.90
SL03	2011	17	42.5	28.4	33.9	0.28	0.28	2.40
		96	33.3	32.3	29.0	0.28	0.22	2.14
		338	20.0	27.7	25.7	0.28	0.36	2.48
	2012	170	17.5	29.3	34.3	0.63	0.82	5.38
SL04	2011	17	40.4	30.6	32.3	0.28	0.28	2.40
		96	34.9	31.7	43.2	0.28	0.28	2.27
		338	20.8	25.9	16.8	0.28	0.28	2.55
	2012	170	19.6	34.1	25.7	0.63	0.73	5.76
SL05	2011	17	47.4	21.2	18.6	0.28	0.42	1.56
		96	41.2	26.2	16.2	0.22	0.36	1.42
		338	23.7	23.0	3.2	0.22	0.36	1.56
	2012	170	12.6	38.8	56.8	0.54	0.76	3.38
SL06	2011	17	41.2	31.2	43.3	0.28	0.28	2.12
		96	40.2	32.5	37.5	0.28	0.28	2.12
		338	21.1	27.5	20.2	0.28	0.36	2.42
	2012	170	18.8	28.9	16.7	0.63	0.82	4.93
SL07	2011	17	42.7	31.3	47.9	0.28	0.28	2.55
		96	36.9	33.3	37.2	0.28	0.28	2.34
		338	20.9	26.7	12.1	0.28	0.36	2.62
	2012	170	17.3	32.5	29.2	0.63	0.73	4.85
SL08	2011	17	40.3	30.4	29.8	0.28	0.28	2.40
		96	34.8	32.4	28.8	0.28	0.28	2.14
		338	19.9	27.6	3.1	0.28	0.28	2.48
	2012	170	19.7	32.1	56.9	0.63	0.92	6.04
SL09	2011	17	41.4	29.0	37.0	0.28	0.28	1.98
		96	36.0	29.7	47.2	0.28	0.22	1.84
		338	20.3	28.3	12.5	0.28	0.28	2.13
	2012	170	18.6	31.7	47.5	0.63	0.82	5.39

4.3 Υπολογισμός τεκτονικών ταχυτήτων

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας μετακίνησης κάποιου σταθμού, η κίνηση θεωρείται ομαλή και αναλύεται στις τρεις συνιστώσες, οπότε προκύπτει ταχύτητα προς Βορρά, Ανατολή και καθ' ύψος.

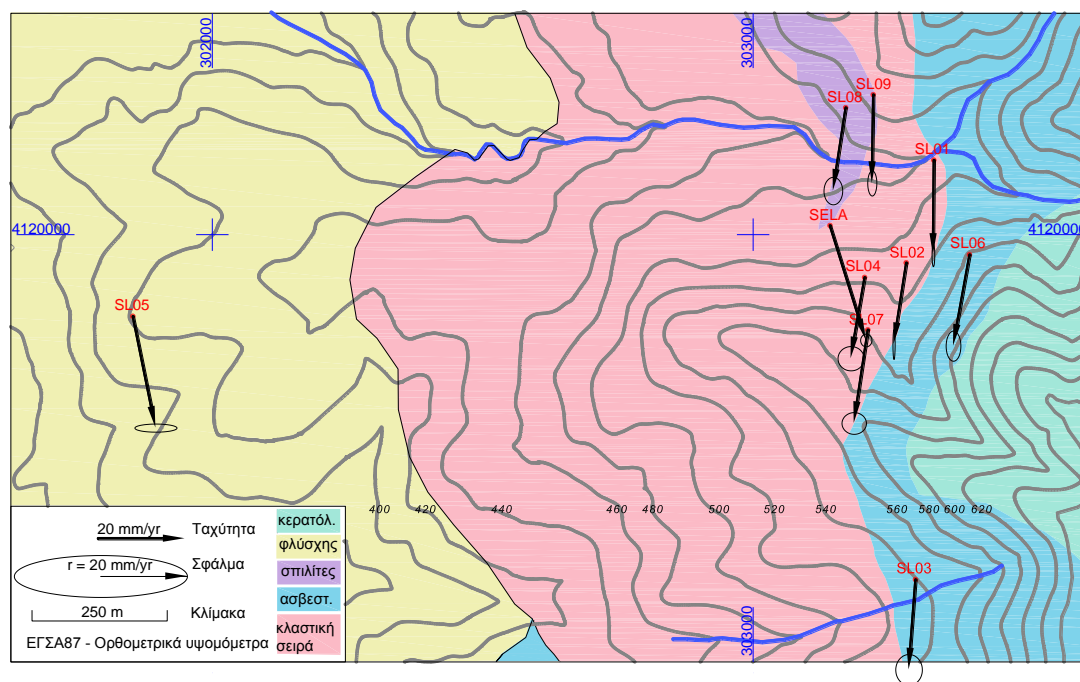
Κάθε μια κίνηση, αναλύεται ξεχωριστά εφαρμόζοντας γραμμική παρεμβολή, θεωρώντας ασυσχέτιστες ανισοβαρείς παρατηρήσεις. Ο πίνακας βαρών μορφώνεται χρησιμοποιώντας τις μεταβλητότητες των μετατοπίσεων θέσης, όπως αυτές υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα.

4.3.1 Τεκτονικές ταχύτητες σταθμών ως προς τον κόσμο

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται συνολικά οι υπολογισμένες τεκτονικές ταχύτητες όλων των σταθμών ως προς τον κόσμο στο σύστημα αναφοράς ITRF2008. Η ίδια πληροφορία δίνεται και γραφικά στον χάρτη που αναπαριστά το μέτρο και τη διεύθυνση της ταχύτητας κάθε σημείου. Το υπόβαθρο του χάρτη είναι γεωλογικό με σχεδιασμένες τις ισοΰψεις καμπύλες ορθομετρικών υψομέτρων όπως αυτές ανακτήθηκαν από ψηφιοποίηση των υπ' αριθμ. 72257 και 72258 χαρτών της ΓΥΣ κλίμακας 1/5000. Οι ελλείψεις σφάλματος σχεδιάζονται από τα εκτιμημένα σφάλματα.

Πίνακας 4.6 Ταχύτητες όλων των σταθμών ως προς τον κόσμο στο ITRF2008
Table 4.6 Station Velocities with respect to the World, ITRF2008

Ταχύτητες Σταθμών ως προς τον Κόσμο (mm/yr)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-26.5 ± 1.5	8.3 ± 1.3	-1.8 ± 2.7
NOA1	-12.4 ± 1.5	8.6 ± 0.9	-2.8 ± 2.5
SL01	-21.9 ± 2.6	-0.2 ± 0.3	-25.7 ± 8.6
SL02	-18.8 ± 3.5	-2.9 ± 0.2	-24.7 ± 9.4
SL03	-20.8 ± 3.6	-1.6 ± 3.1	-3.8 ± 3.9
SL04	-18.7 ± 2.8	-3.2 ± 3.0	-17.2 ± 10.2
SL05	-25.7 ± 0.9	5.2 ± 4.9	2.6 ± 16.3
SL06	-21.0 ± 3.5	-3.8 ± 1.7	-22.6 ± 2.7
SL07	-21.5 ± 2.5	-3.3 ± 2.8	-24.9 ± 10.4
SL08	-19.2 ± 3.2	-3.0 ± 2.2	-13.0 ± 17.7
SL09	-20.4 ± 2.9	-0.3 ± 1.1	-20.5 ± 15.9



Χάρτης 4-1 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον Κόσμο
Map 4-1 Horizontal velocities of stations, with respect to the World

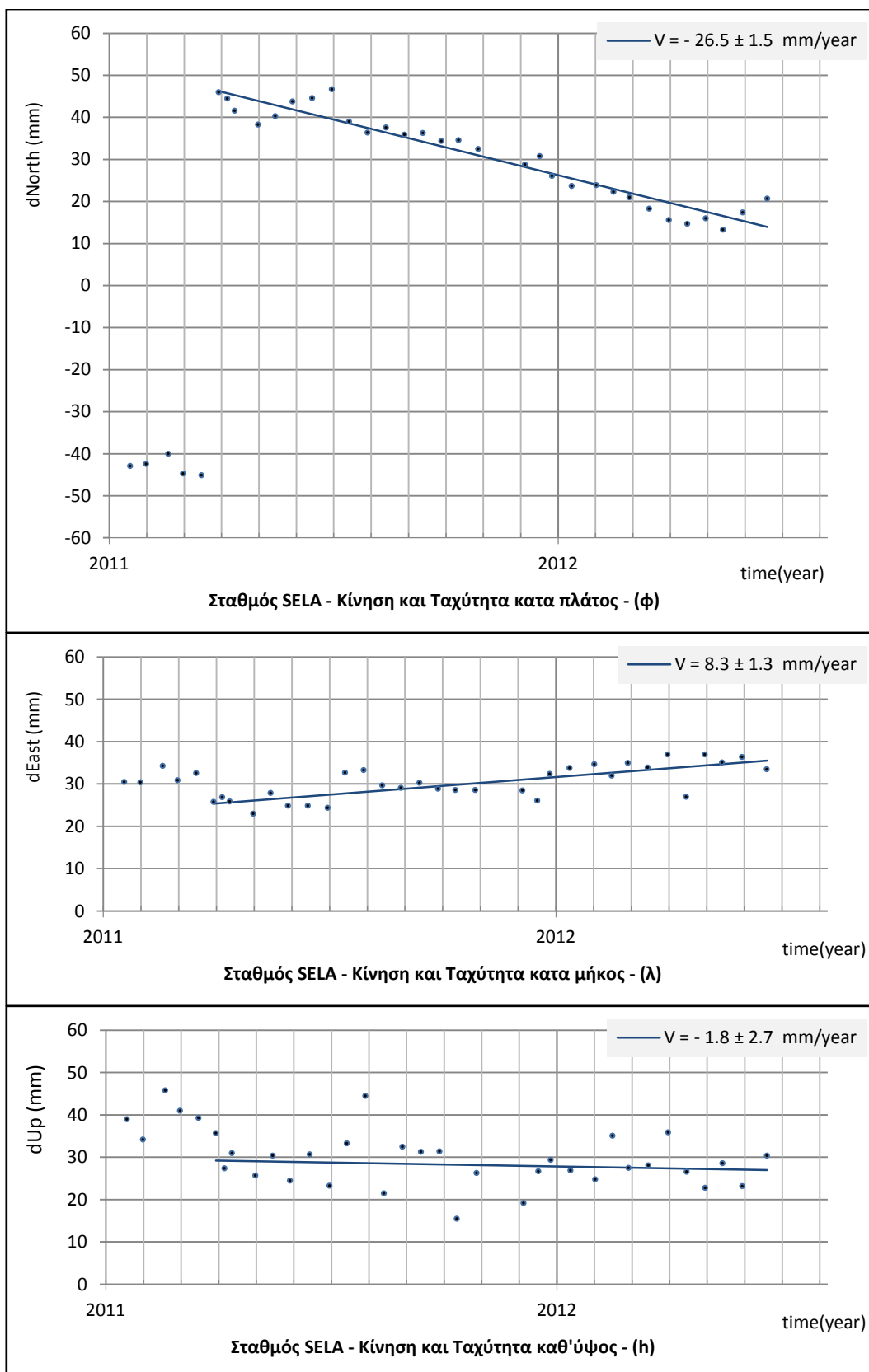
Ακολούθως αναλύεται γραφικά στα κατάλληλα διαγράμματα ξεχωριστά για κάθε σταθμό, η μετατόπισή του κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος. Σε κάθε διαγράμμα σχεδιάζεται η θέση του σταθμού ανα εποχή μέτρησης και επιπλέον η ανισοβαρής γραμμική παρεμβολή στις παραπάνω θέσεις, από όπου προκύπτει και η αντίστοιχη ταχύτητα του σταθμού.

4.3.1.1 Τεκτονική ταχύτητα του μόνιμου σταθμού SELA

Όπως φαίνεται και γραφικά ο σταθμός έχει υποστεί μετακίνηση 8 περίπου εκατοστών στην περίοδο μεταξύ της 75ης και της 89ης ημέρας του 2011. Η μετακίνηση αυτή αφορά σε μετακίνηση της κεραίας του σταθμού λόγω νέας στερέωσής της. Κατα συνέπεια δεν λαμβάνονται υπόψιν στη συνόρθωση, οι αρχικές μετρήσεις στο διάστημα αυτό, μέχρι την σταθεροποίηση του σταθμού στη νέα του θέση. Έτσι χρησιμοποιούνται στη συνόρθωση οι τελευταίες 30 υπολογισμένες μετατοπίσεις του σταθμού αρχής γενομένης της 89ης ημέρας του 2011.

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-26.5	±	1.5	mm / year
Κατα μήκος	8.3	±	1.3	mm / year
Καθ' ύψος	-1.8	±	2.7	mm / year

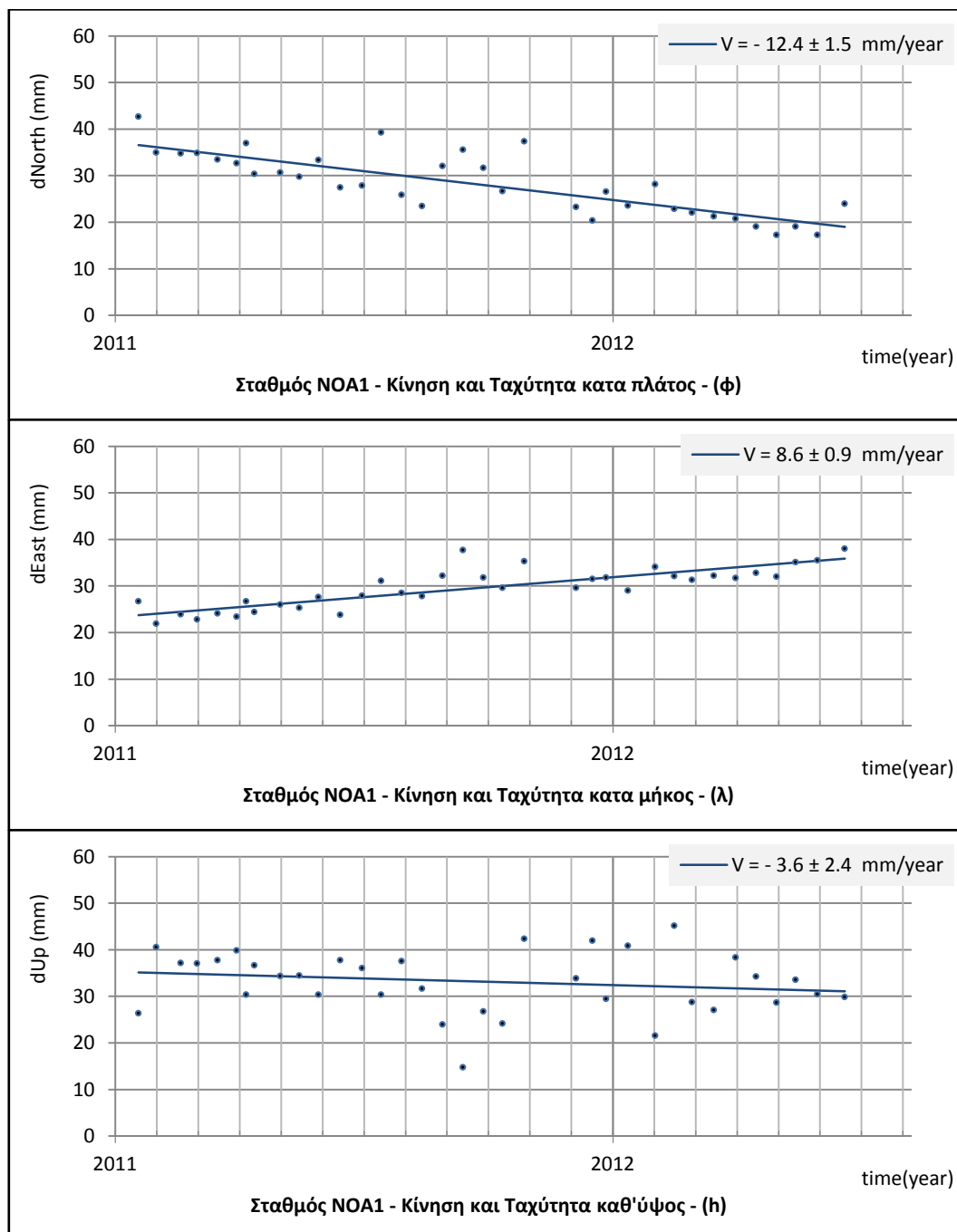


Διάγραμμα 4-1 Κίνηση σταθμού SELA κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-1 Latitude, Longitude and Height displacements of SELA station

4.3.1.2 Τεκτονική ταχύτητα του μόνιμου σταθμού NOA1

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-12.4	±	1.5	mm / year
Κατα μήκος	8.6	±	0.9	mm / year
Καθ' ύψος	-3.6	±	2.4	mm / year

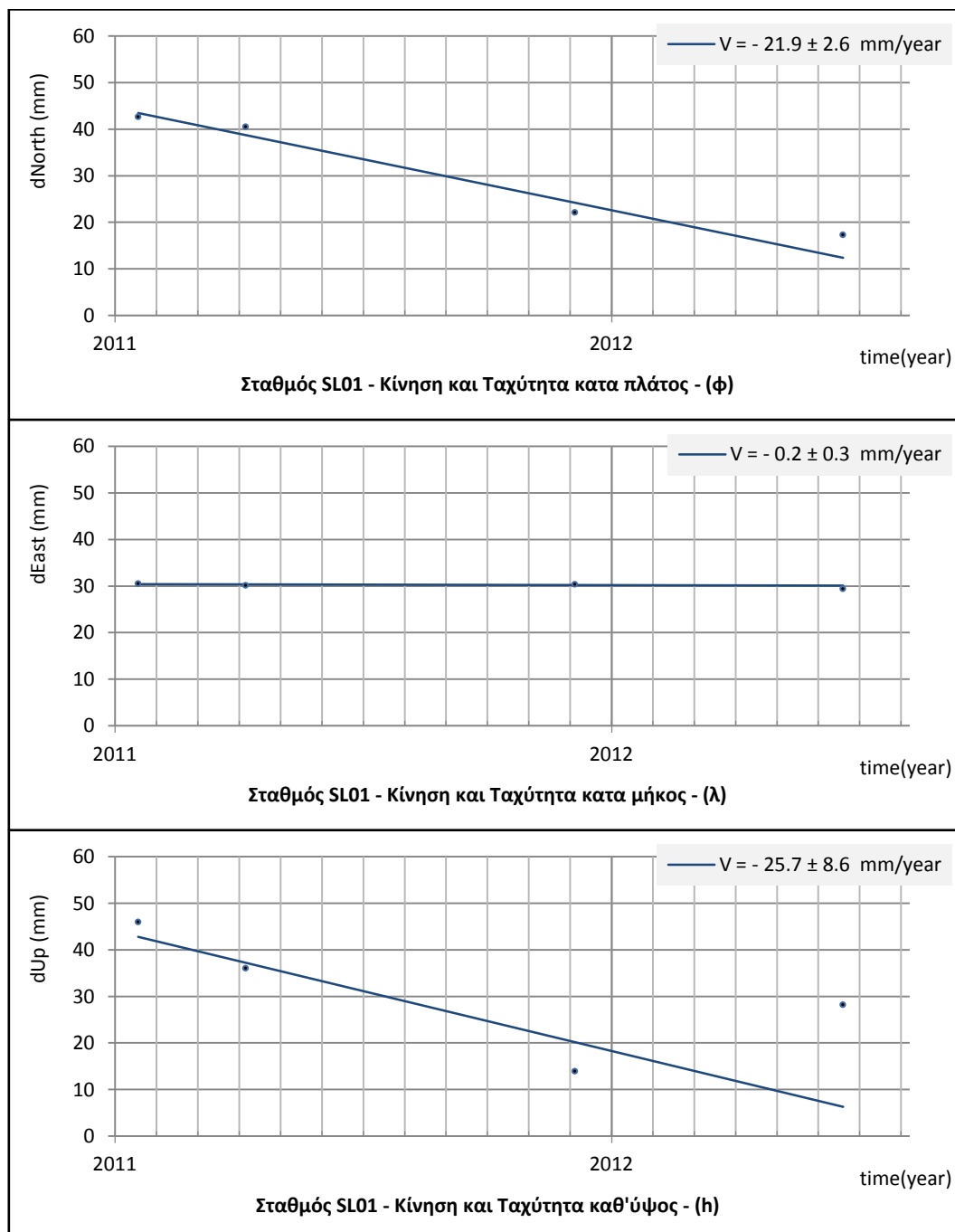


Διάγραμμα 4-2 Κίνηση σταθμού NOA1 κατά πλάτος, κατά μήκος και καθ' ύψος
Diagram 4-2 Latitude, Longitude and Height displacements of NOA1 station

4.3.1.3 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL01

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-21.9	±	2.6	mm / year
Κατα μήκος	-0.2	±	0.3	mm / year
Καθ' ύψος	-25.7	±	8.6	mm / year

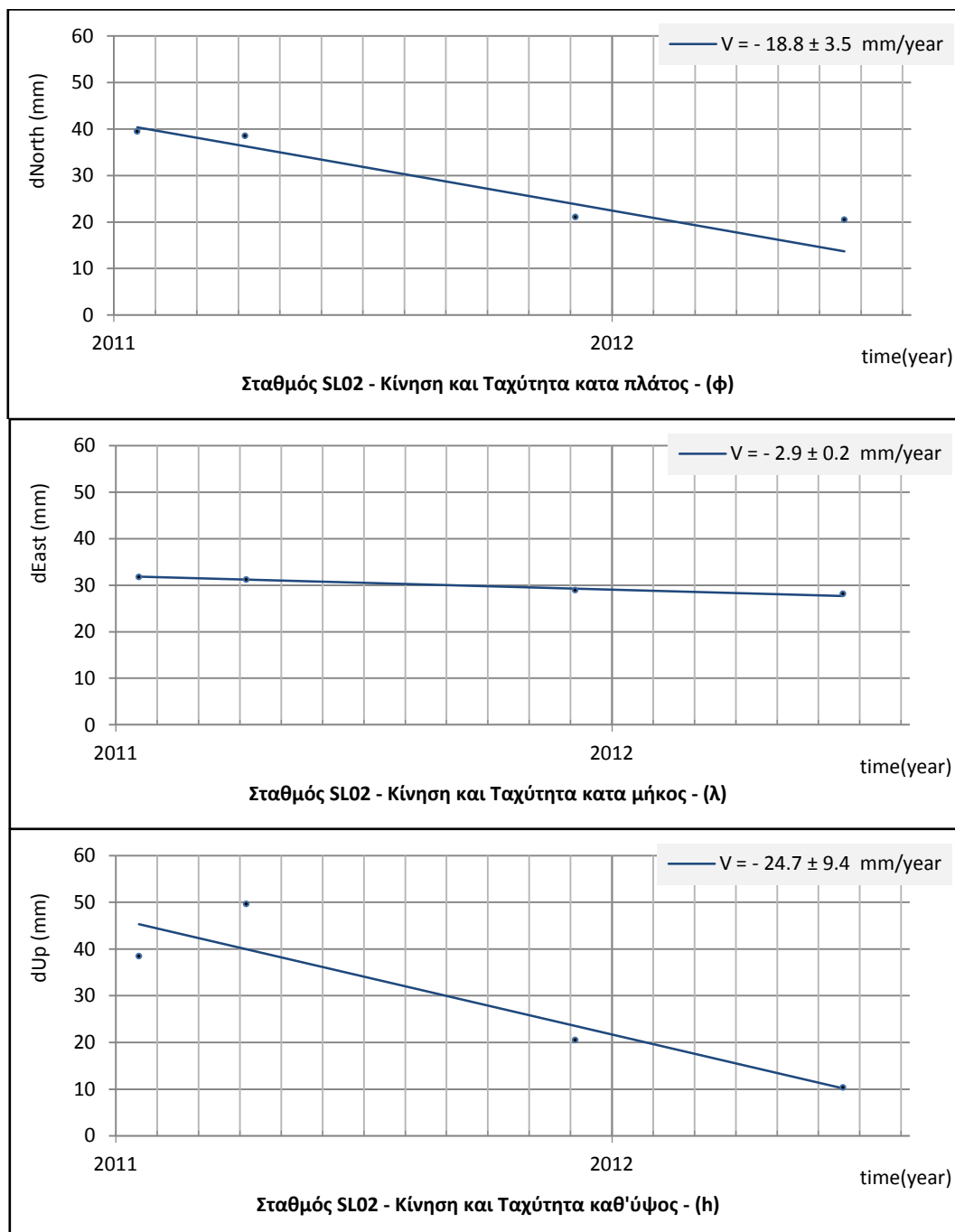


Διάγραμμα 4-3 Κίνηση σταθμού SL01 κατά πλάτος, κατά μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-3 Latitude, Longitude and Height displacements of SL01 station

4.3.1.4 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL02

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-18.8	±	3.5	mm / year
Κατα μήκος	2.9	±	0.2	mm / year
Καθ' ύψος	-24.7	±	9.4	mm / year

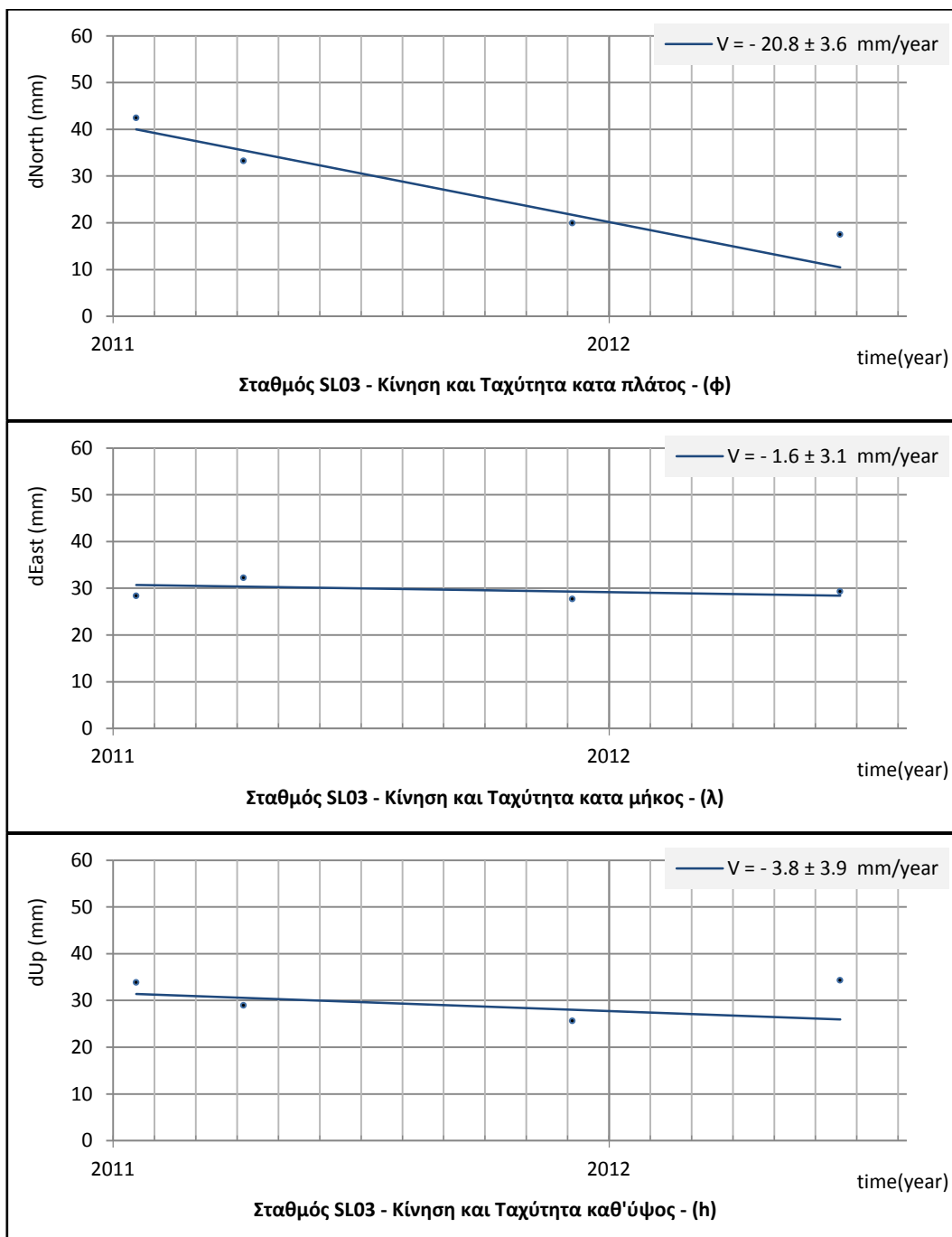


Διάγραμμα 4-4 Κίνηση σταθμού SL02 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-4 Latitude, Longitude and Height displacements of SL02 station

4.3.1.5 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL03

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-20.8	±	3.6	mm / year
Κατα μήκος	-1.6	±	3.1	mm / year
Καθ' ύψος	-3.8	±	3.9	mm / year

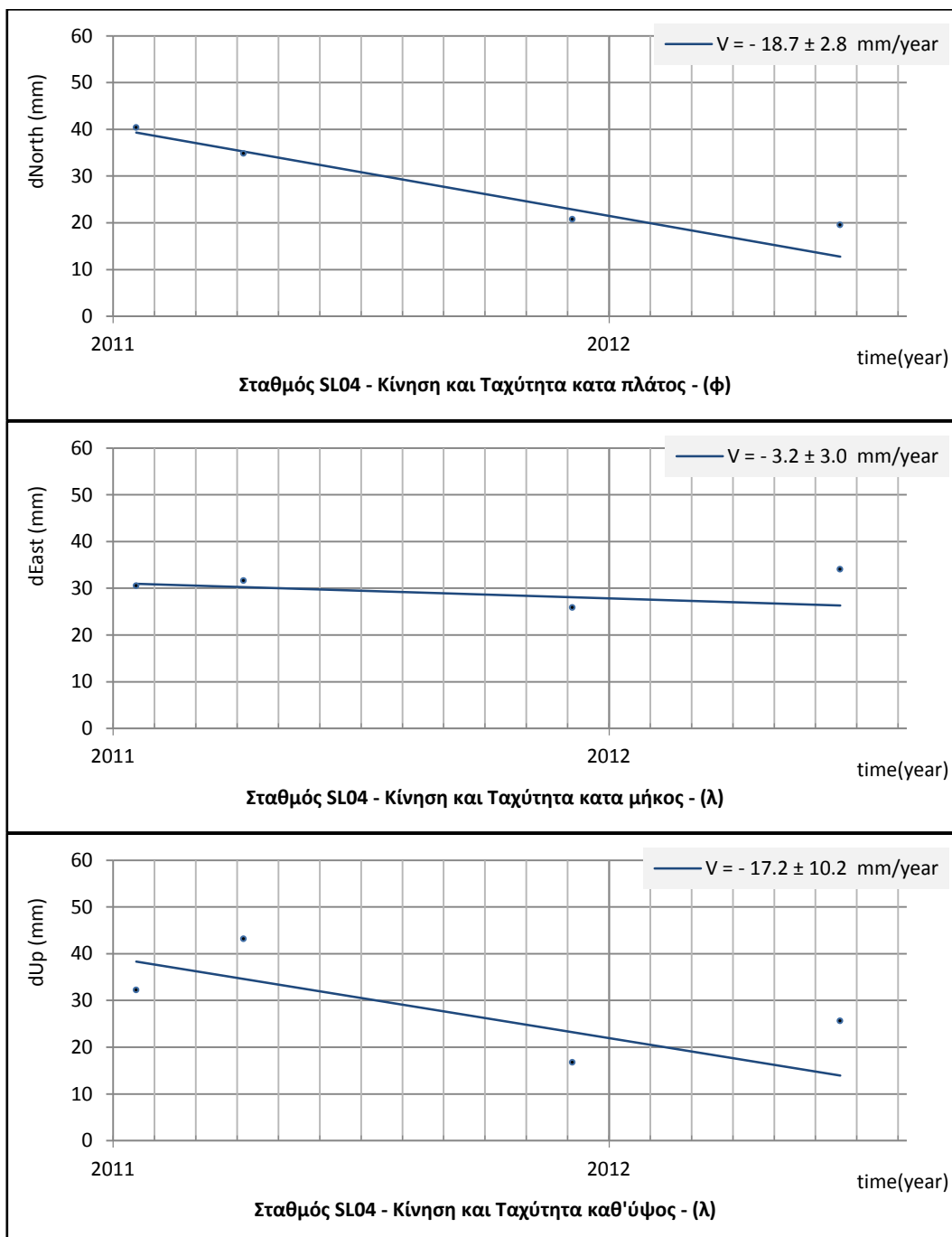


Διάγραμμα 4-5 Κίνηση σταθμού SL03 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-5 Latitude, Longitude and Height displacements of SL03 station

4.3.1.6 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL04

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-18.7	±	2.8	mm / year
Κατα μήκος	-3.2	±	3.0	mm / year
Καθ' ύψος	-17.2	±	10.2	mm / year

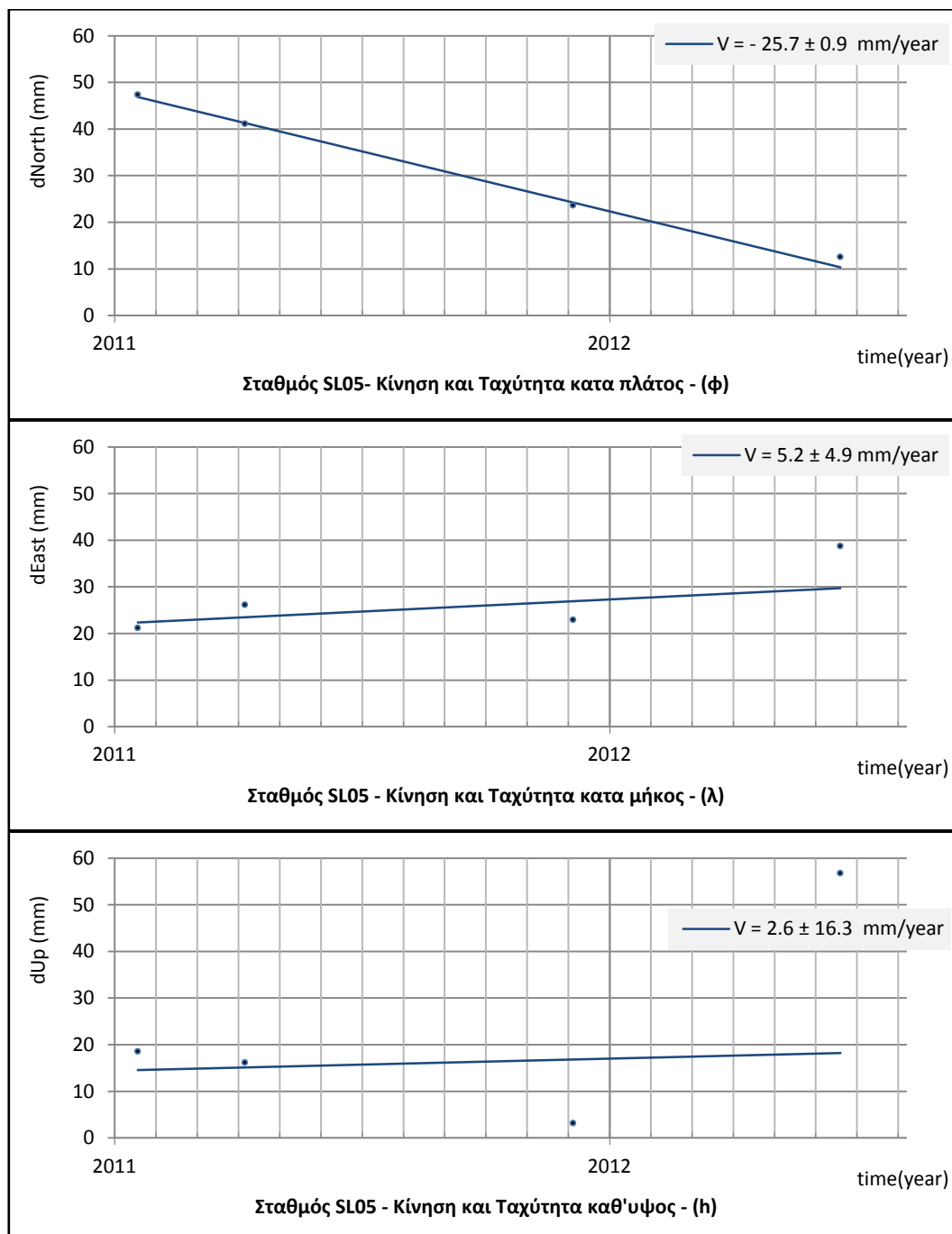


Διάγραμμα 4-6 Κίνηση σταθμού SL04 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-6 Latitude, Longitude and Height displacements of SL04 station

4.3.1.7 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL05

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-25.7	±	0.9	mm / year
Κατα μήκος	5.2	±	4.9	mm / year
Καθ' ύψος	2.6	±	16.3	mm / year

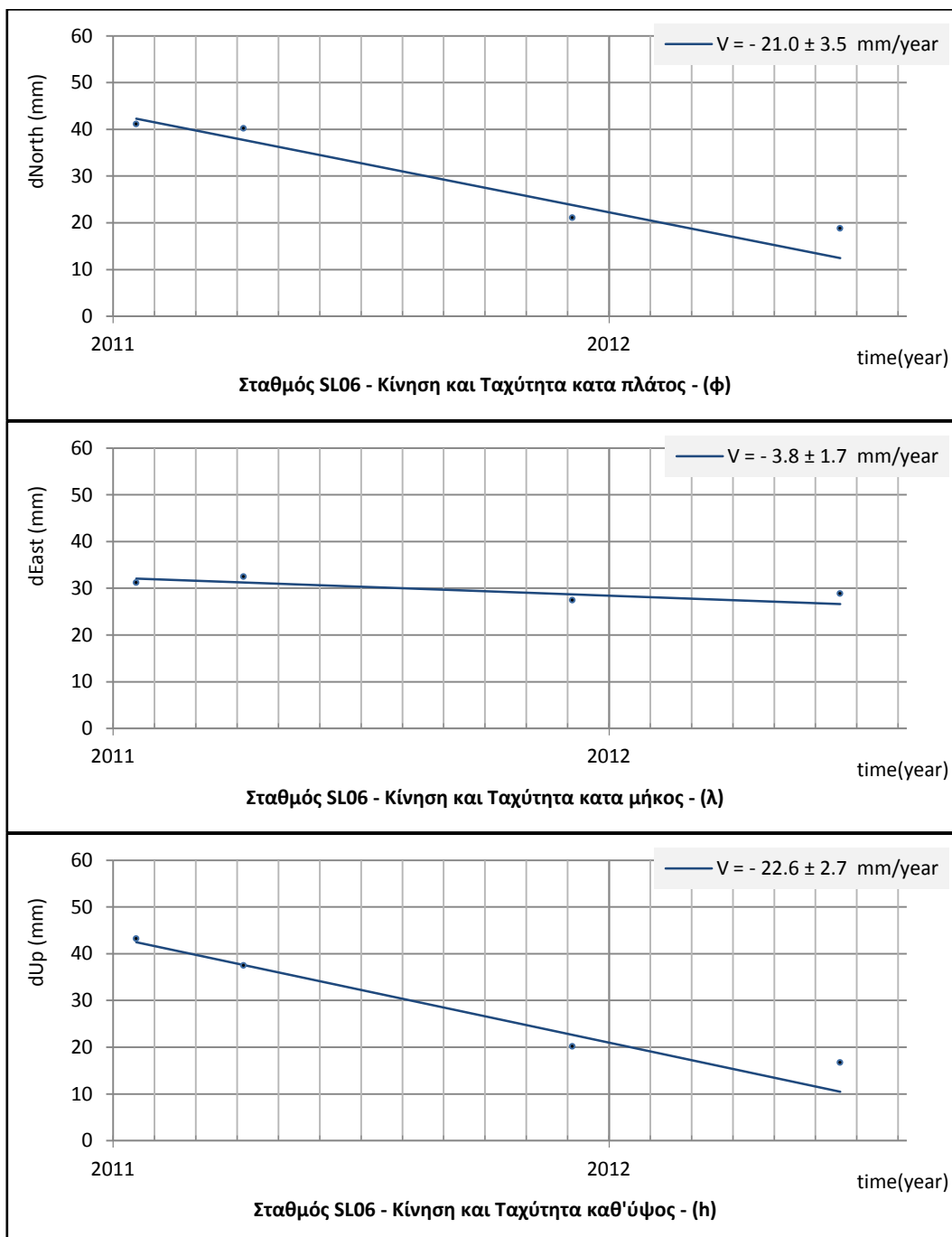


Διάγραμμα 4-7 Κίνηση σταθμού SL05 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-7 Latitude, Longitude and Height displacements of SL05 station

4.3.1.8 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL06

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-21.0	±	3.5	mm / year
Κατα μήκος	-3.8	±	1.7	mm / year
Καθ' ύψος	-22.6	±	2.7	mm / year

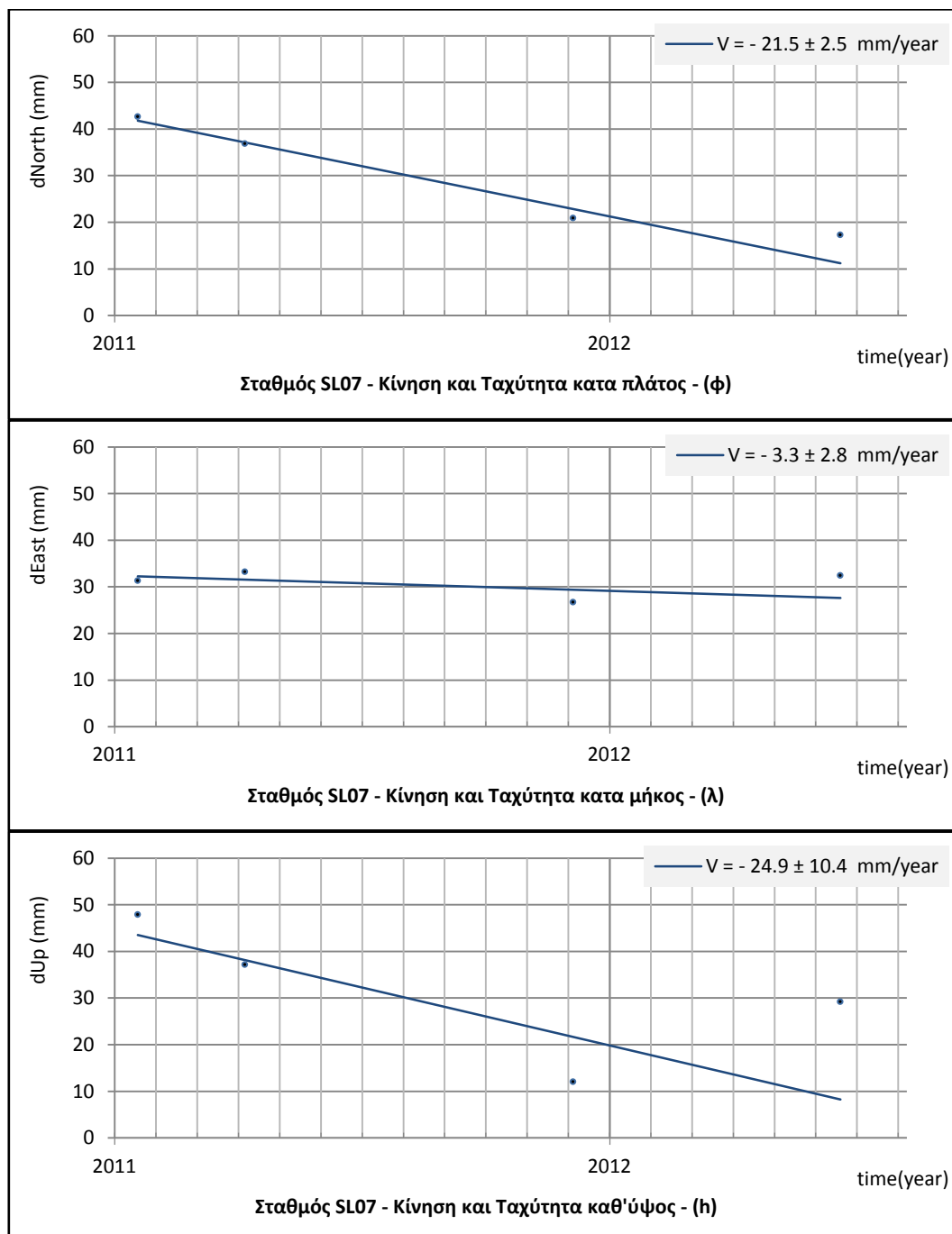


Διάγραμμα 4-8 Κίνηση σταθμού SL06 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-8 Latitude, Longitude and Height displacements of SL06 station

4.3.1.9 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL07

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-21.5	±	2.5	mm / year
Κατα μήκος	-3.3	±	2.8	mm / year
Καθ' ύψος	-24.9	±	10.4	mm / year

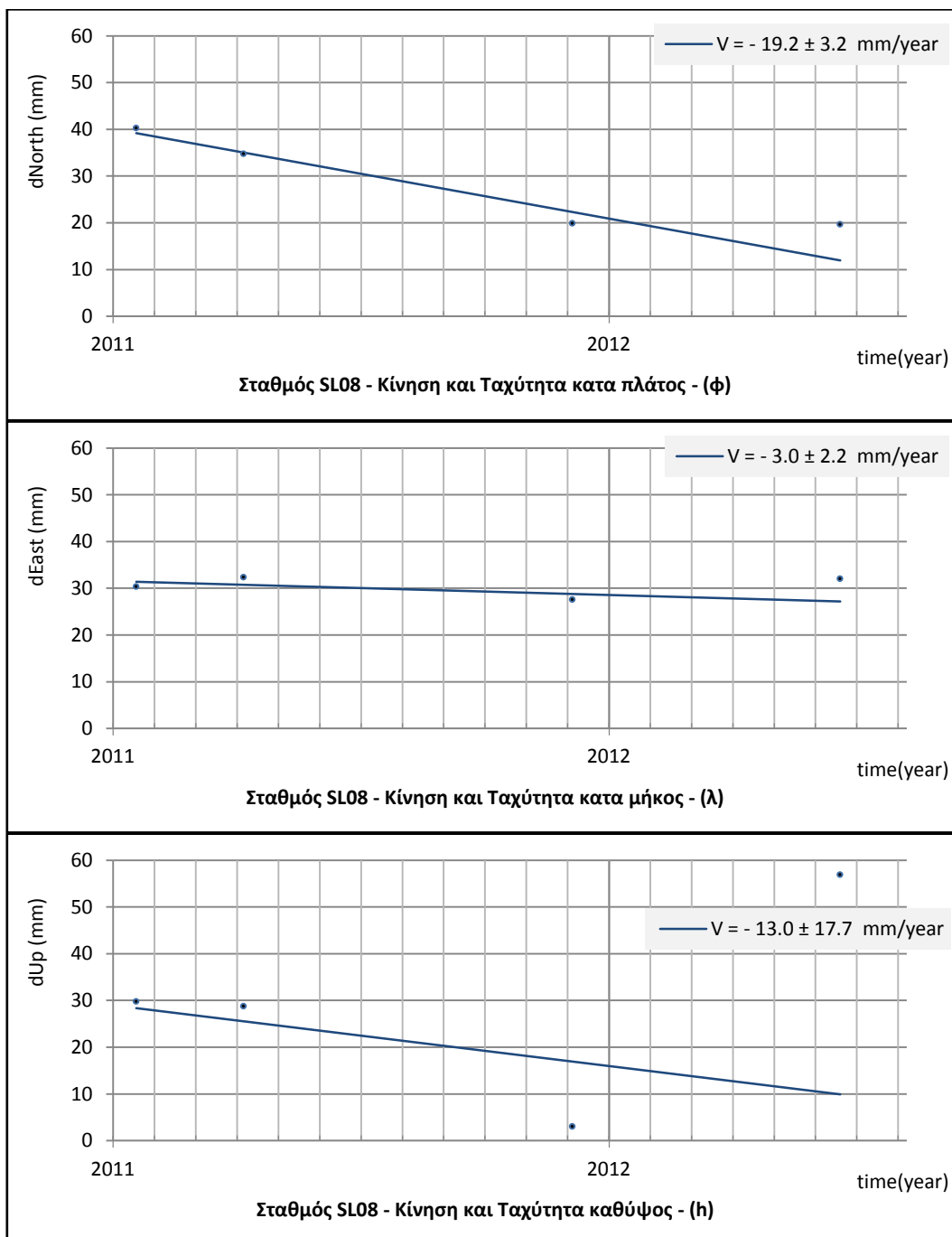


Διάγραμμα 4-9 Κίνηση σταθμού SL07 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-9 Latitude, Longitude and Height displacements of SL07 station

4.3.1.10 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL08

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-19.2	±	3.2	mm / year
Κατα μήκος	-3.0	±	2.2	mm / year
Καθ' ύψος	-13.0	±	17.7	mm / year

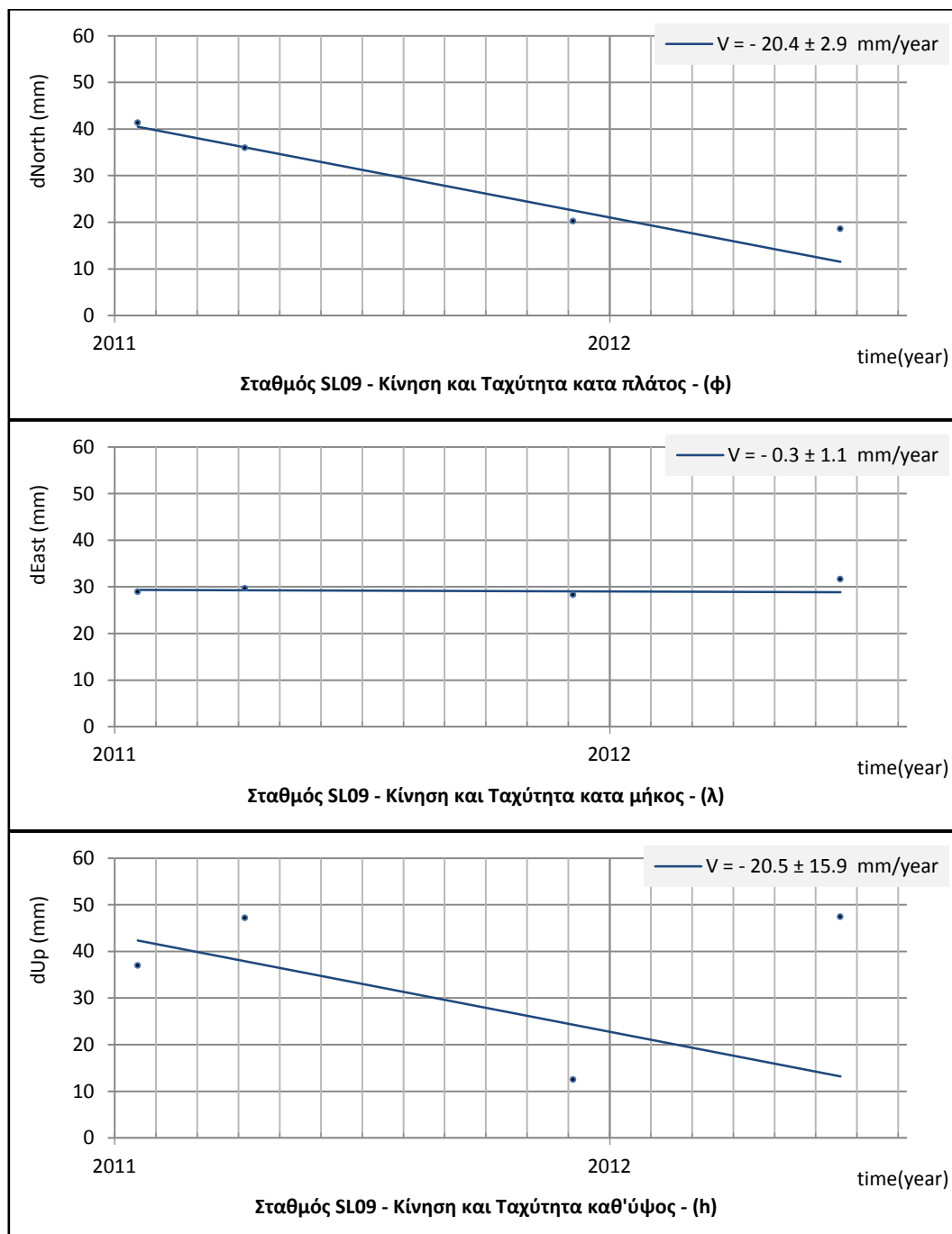


Διάγραμμα 4-10 Κίνηση σταθμού SL08 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-10 Latitude, Longitude and Height displacements of SL08 station

4.3.1.11 Τεκτονική ταχύτητα του μη μόνιμου σταθμού SL09

Οι συνιστώσες της ταχύτητας του σταθμού όπως υπολογίζονται είναι:

Κατα πλάτος	-20.4	±	2.9	mm / year
Κατα μήκος	-0.3	±	1.1	mm / year
Καθ' ύψος	-20.5	±	15.9	mm / year



Διάγραμμα 4-11 Κίνηση σταθμού SL09 κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος
 Diagram 4-11 Latitude, Longitude and Height displacements of SL09 station

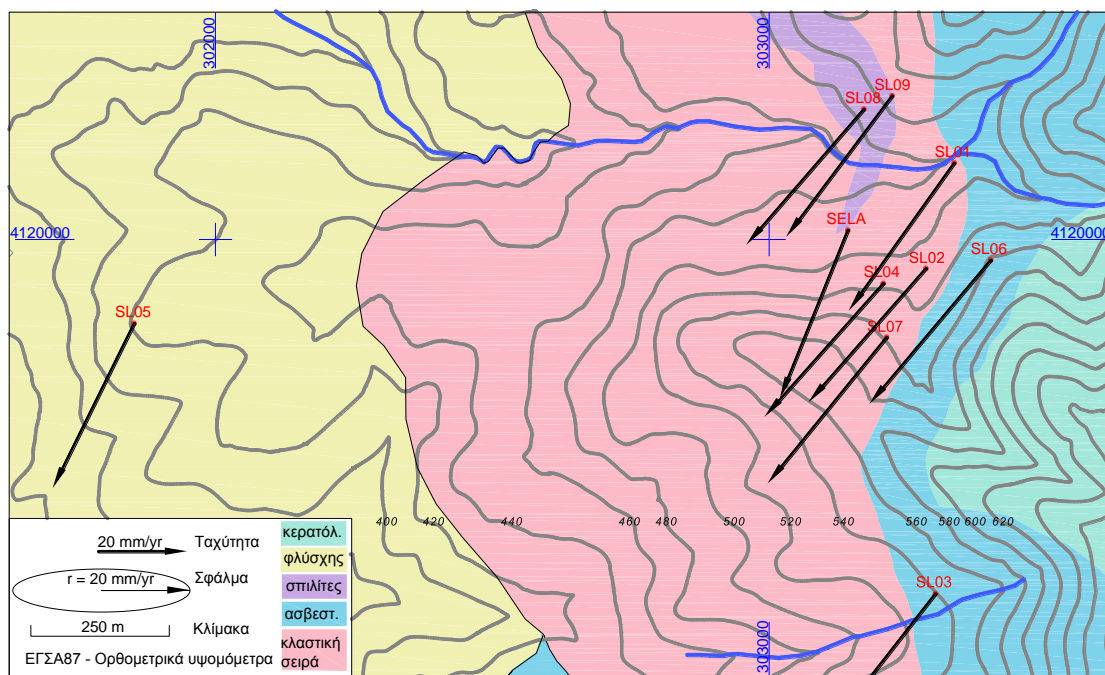
4.3.2 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς την Ευρώπη

Ο υπολογισμός των οριζόντιων σχετικών ταχυτήτων των σταθμών ως προς σταθερή την Ευρώπη γίνεται αφαιρώντας την ταχύτητα κίνησης της Ευρώπης. Η ταχύτητα της Ευρώπης ως προς τον κόσμο, όπως αυτή έχει υπολογιστεί από το μοντέλο των Argus και Heflin, 1998, αφορά σε γωνιακή ταχύτητα $0.262^\circ/\text{Ma}$ με πόλο περιστροφής τη θέση 59.0°N και 97.1°E . Για την περιοχή της Ελλάδας οι γραμμικές συνιστώσες της ταχύτητας μετακίνησης της Ευρώπης ως προς τον κόσμο, είναι $V_{\text{North}} = 11.4 \text{ mm/year}$ και $V_{\text{East}} = 23.6 \text{ mm/year}$. [Yannick, 2000.].

Στον ακόλουθο πίνακα, συνοψίζονται οι οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας του κάθε σταθμού, όπως αυτές υπολογίστηκαν, θεωρώντας σταθερή την Ευρώπη.

Πίνακας 4.7 Ταχύτητες όλων των σταθμών ως προς την Ευρώπη
Table 4.7 Station Velocities with respect to fixed Europe

Οριζόντιες Ταχύτητες Σταθμών ως προς τον Ευρώπη (mm/year)		
Σταθμός	North	East
SELA	-37.9	-15.3
NOA1	-23.8	-15.0
SL01	-33.3	-23.8
SL02	-30.2	-26.5
SL03	-32.2	-25.2
SL04	-30.1	-26.8
SL05	-37.1	-18.4
SL06	-32.4	-27.4
SL07	-32.9	-26.9
SL08	-30.6	-26.6
SL09	-31.8	-23.9
Ταχύτητα Ευρώπης ως προς τον Κόσμο		
EUROPE	11.4	23.6

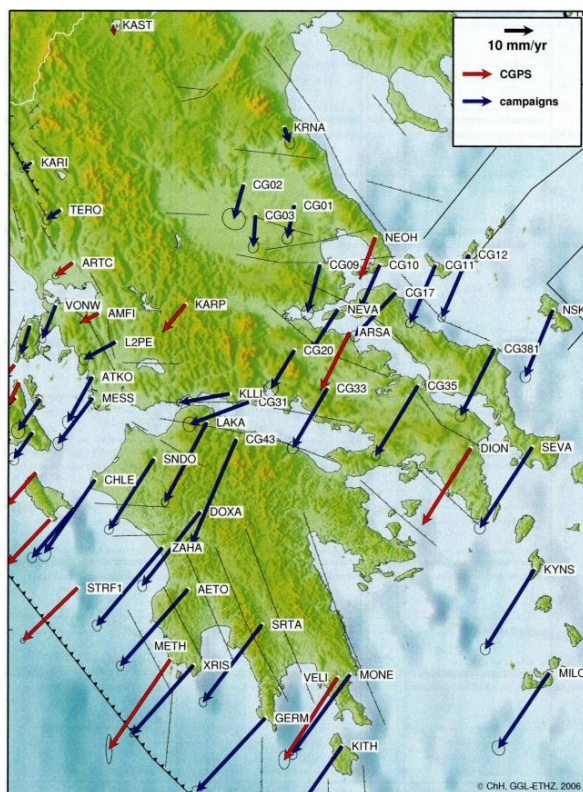


Χάρτης 4-2
Map 4-2

Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς την Ευρώπη
Horizontal velocities of stations, with respect to fixed Europe

4.3.3 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς την περιοχή Αετός Μεσσηνίας

Στην οικιστική περιοχή Αετός Μεσσηνίας, σε απόσταση περίπου 6km Βορεια και Ανατολικά από τη περιοχή μελέτης, υπάρχει εγκατεστημένος ο μόνιμος σταθμός καταγραφής δορυφορικών παρατηρήσεων, ΑΕΤΟ. Η ταχύτητα του σταθμού ως προς την Ευρώπη, υπολογίστηκε σε 26.3mm/year και 22.8mm/year προς Νότο και Δύση αντίστοιχα. [Hollenstein, 2007]. Στον Πίνακα 4-8, συνοψίζονται οι οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας του κάθε σταθμού σε σχέση με την τον σταθμό ΑΕΤΟ και στο Χάρτη 4-4 σχεδιάζεται το μέτρο και η διεύθυνσή της.

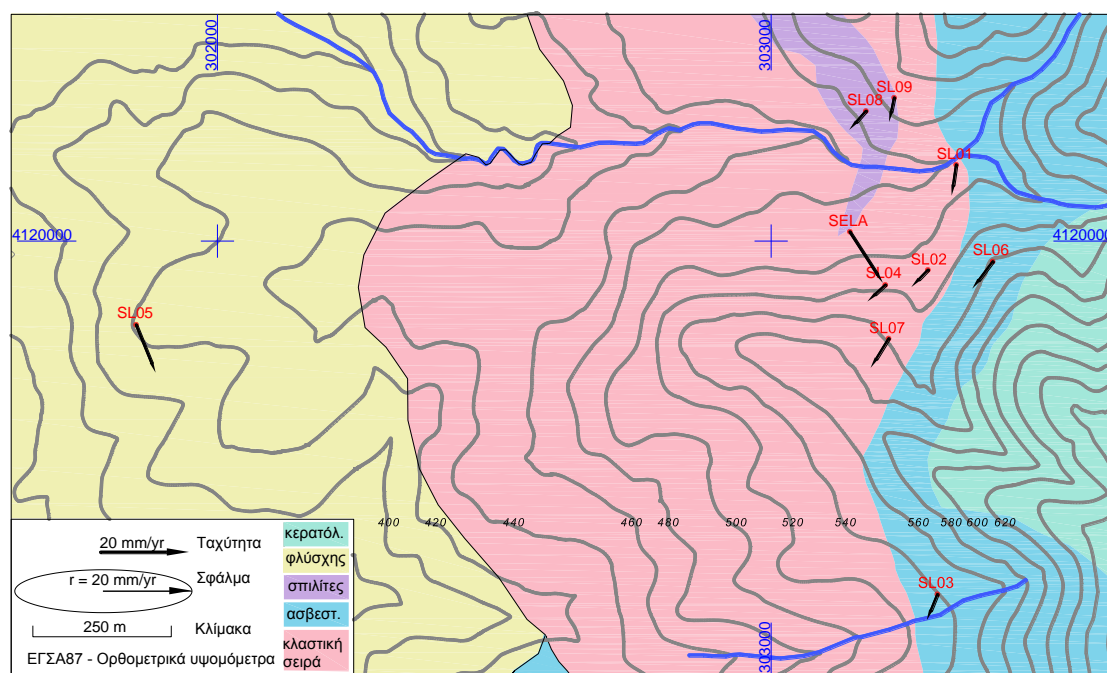


Πίνακας 4.8 Ταχύτητες ως προς ΑΕΤΟ
Table 4.8 Stat. Vel. with respect to AETO

Οριζόντιες Ταχύτητες Σταθμών ως προς τον ΑΕΤΟ (mm/year)		
Σταθμός	North	East
SELA	-11.6	7.5
NOA1	2.5	7.8
SL01	-7.0	-1.0
SL02	-3.9	-3.7
SL03	-5.9	-2.4
SL04	-3.8	-4.0
SL05	-10.8	4.4
SL06	-6.1	-4.6
SL07	-6.6	-4.1
SL08	-4.3	-3.8
SL09	-5.5	-1.1
Ταχύτητα ΑΕΤΟ ως προς Ευρώπη:		
ΑΕΤΟ	-26.3	-22.8

Αριστερά
Left

Χάρτης 4-3 Απόσπασμα χάρτη με σημειωμένη τη ταχύτητα ΑΕΤΟ. [Πηγή Hollenstein, 2007]
Map 4-3 Velocity of station AETO [source Hollenstein, 2007]



Χάρτης 4-4
Map 4-4

Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό ΑΕΤΟ
Horizontal velocities of stations, with respect to AETO station

4.3.4 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SELA

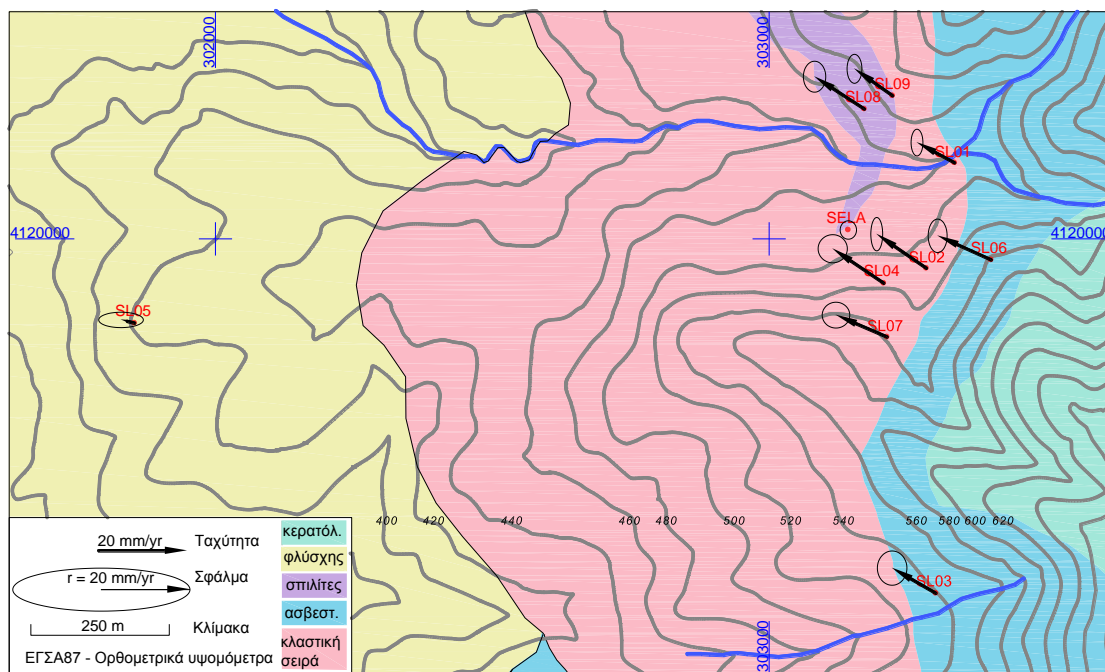
Για τη μελέτη του φαινομένου της κατολίθησης είναι σκόπιμο να εξεταστεί η κίνηση του κάθε σταθμού σε σχέση με όλους τους άλλους.

Αφαιρώντας το διάνυσμα ταχύτητας του SELA, υπολογίζονται οι συνιστώσες της ταχύτητας με τα αντίστοιχα σφάλματά τους, για όλους τους άλλους σταθμούς.

Ακολουθεί η σύνοψη των αποτελεσμάτων του υπολογισμού καθώς και η γραφική αναπαράσταση της μετακίνησης των σταθμών σε σχέση με τον σταθμό SELA

Πίνακας 4.9 Ταχύτητες ως προς SELA
Table 4.9 Station Velocities with respect to SELA

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SELA (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	0.0 ± 2.1	0.0 ± 1.8	0.0 ± 3.8
SL01	4.6 ± 3.0	-8.5 ± 1.3	-23.9 ± 9.0
SL02	7.7 ± 3.8	-11.2 ± 1.3	-22.9 ± 9.8
SL03	5.7 ± 3.9	-9.9 ± 3.3	-2.0 ± 4.7
SL04	7.8 ± 3.2	-11.5 ± 3.3	-15.4 ± 10.5
SL05	0.7 ± 1.7	-3.1 ± 5.0	4.4 ± 16.6
SL06	5.4 ± 3.8	-12.1 ± 2.1	-20.8 ± 3.8
SL07	4.9 ± 2.9	-11.5 ± 3.1	-23.1 ± 10.8
SL08	7.3 ± 3.5	-11.2 ± 2.5	-11.2 ± 17.9
SL09	6.1 ± 3.3	-8.6 ± 1.7	-18.7 ± 16.1



Χάρτης 4-5 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SELA
Map 4-5 Horizontal velocities of stations, with respect to SELA station

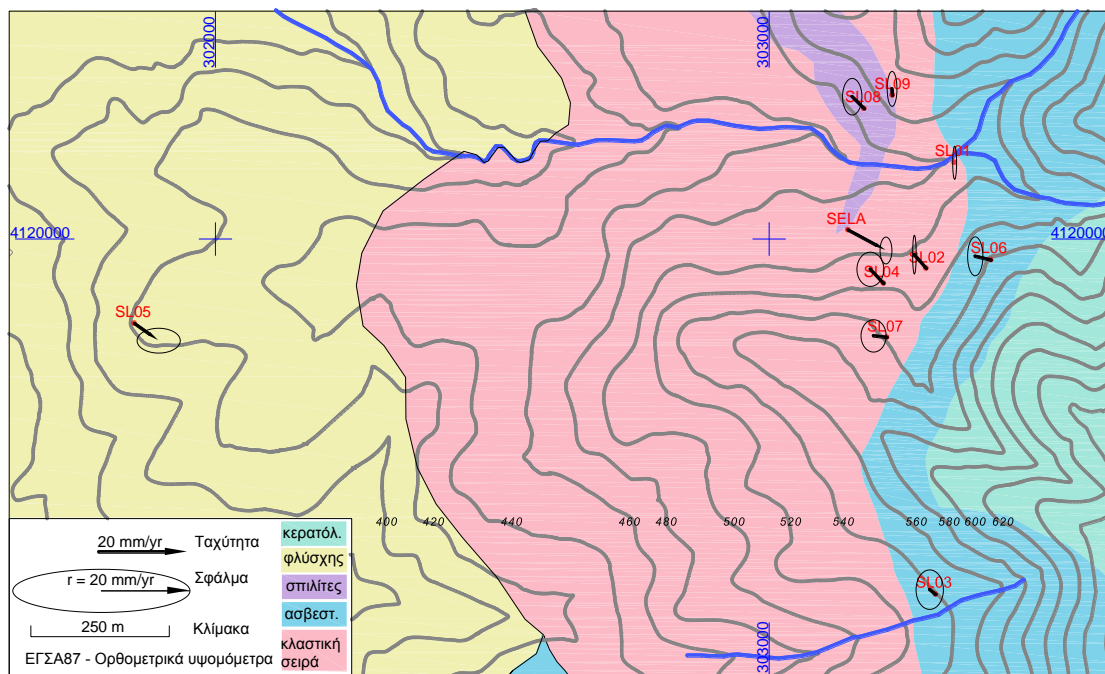
4.3.5 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL01

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL01, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.10 Ταχύτητες ως προς SL01
Table 4.10 Station Velocities with respect to SL01

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL01 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-4.6 ± 3.0	8.5 ± 1.3	23.9 ± 9.0
SL01	0.0 ± 3.7	0.0 ± 0.4	0.0 ± 12.1
SL02	3.1 ± 4.3	-2.7 ± 0.4	1.0 ± 12.7
SL03	1.1 ± 4.4	-1.4 ± 3.1	21.9 ± 9.4
SL04	3.2 ± 3.8	-3.0 ± 3.0	8.5 ± 13.3
SL05	-3.8 ± 2.8	5.4 ± 4.9	28.3 ± 18.4
SL06	0.9 ± 4.4	-3.6 ± 1.7	3.1 ± 9.0
SL07	0.4 ± 3.6	-3.0 ± 2.8	0.8 ± 13.5
SL08	2.7 ± 4.1	-2.7 ± 2.2	12.7 ± 19.6
SL09	1.5 ± 3.9	-0.1 ± 1.1	5.1 ± 18.1

Ακολουθώς σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL01.



Χάρτης 4-6 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL01
Map 4-6 Horizontal velocities of stations, with respect to SL01 station

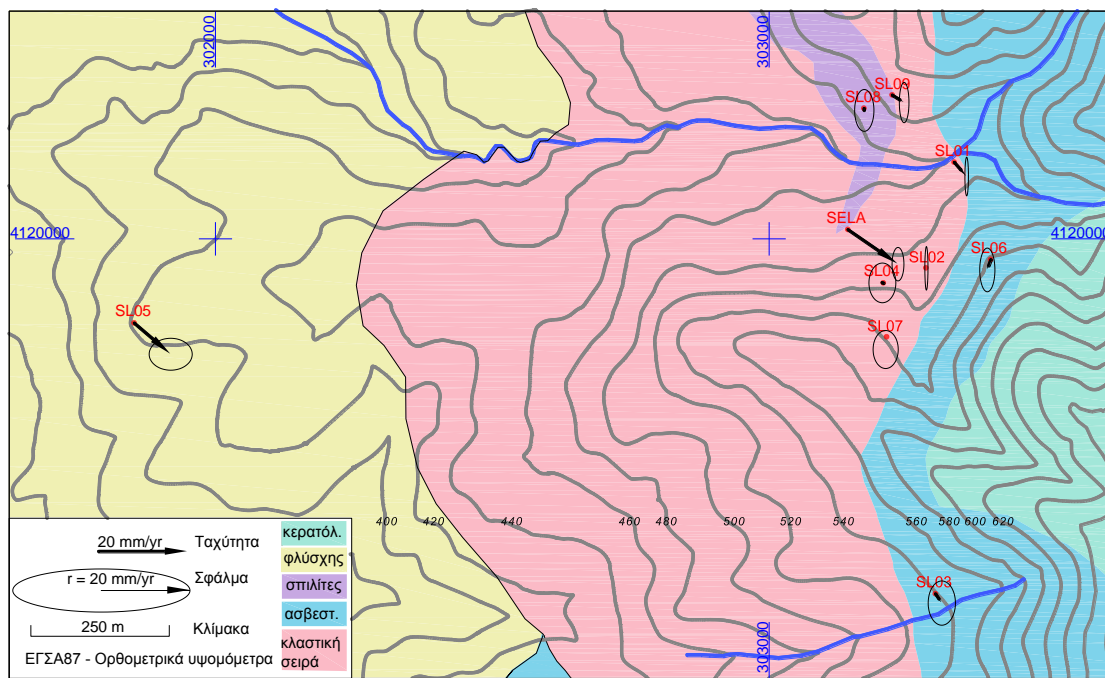
4.3.6 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL02

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL02, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.11 Ταχύτητες ως προς SL02
Table 4.11 Station Velocities with respect to SL02

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL02 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-7.7 ± 3.8	11.2 ± 1.3	22.9 ± 9.8
SL01	-3.1 ± 4.3	2.7 ± 0.4	-1.0 ± 12.7
SL02	0.0 ± 4.9	0.0 ± 0.4	0.0 ± 13.3
SL03	-2.0 ± 5.0	1.3 ± 3.1	20.9 ± 10.2
SL04	0.1 ± 4.5	-0.3 ± 3.0	7.5 ± 13.8
SL05	-6.9 ± 3.6	8.2 ± 4.9	27.3 ± 18.8
SL06	-2.2 ± 4.9	-0.9 ± 1.7	2.2 ± 9.8
SL07	-2.7 ± 4.3	-0.3 ± 2.8	-0.1 ± 14.0
SL08	-0.4 ± 4.7	0.0 ± 2.2	11.8 ± 20.0
SL09	-1.6 ± 4.5	2.6 ± 1.1	4.2 ± 18.5

Ακολούθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL02.



Χάρτης 4-7 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL02
Map 4-7 Horizontal velocities of stations, with respect to SL02 station

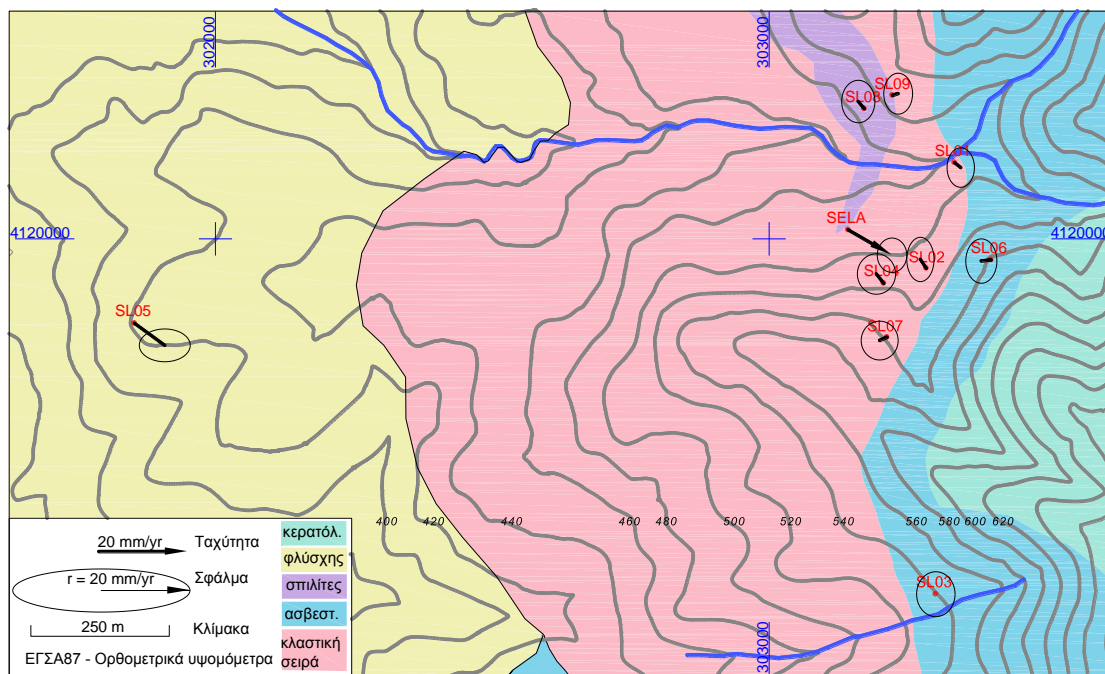
4.3.7 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL03

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL03, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.12 Ταχύτητες ως προς SL03
Table 4.12 Station Velocities with respect to SL03

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL03 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-5.7 ± 3.9	9.9 ± 3.3	2.0 ± 4.7
SL01	-1.1 ± 4.4	1.4 ± 3.1	-21.9 ± 9.4
SL02	2.0 ± 5.0	-1.3 ± 3.1	-20.9 ± 10.2
SL03	0.0 ± 5.0	0.0 ± 4.3	0.0 ± 5.5
SL04	2.1 ± 4.5	-1.7 ± 4.3	-13.4 ± 10.9
SL05	-4.9 ± 3.7	6.8 ± 5.7	6.4 ± 16.8
SL06	-0.2 ± 5.0	-2.2 ± 3.5	-18.8 ± 4.8
SL07	-0.7 ± 4.4	-1.7 ± 4.2	-21.0 ± 11.2
SL08	1.6 ± 4.8	-1.4 ± 3.8	-9.2 ± 18.1
SL09	0.4 ± 4.6	1.3 ± 3.2	-16.7 ± 16.4

Ακολούθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL03.



Χάρτης 4-8 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL03
Map 4-8 Horizontal velocities of stations, with respect to SL03 station

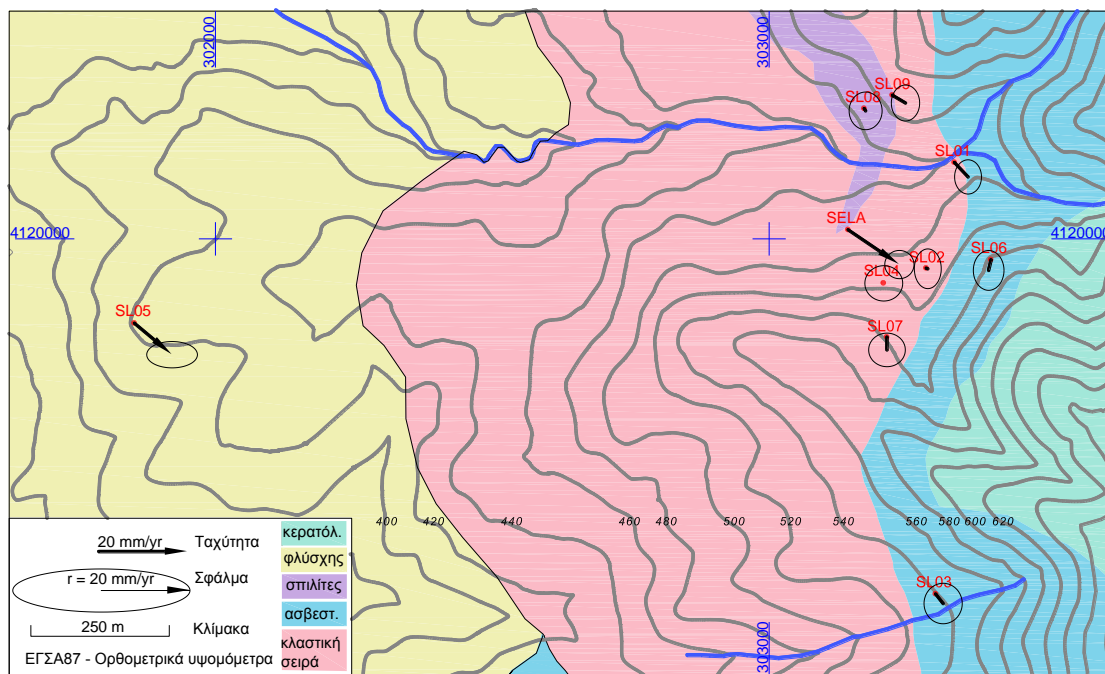
4.3.8 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL04

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL04, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.13 Ταχύτητες ως προς SL04
Table 4.13 Station Velocities with respect to SL04

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL04 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-7.8 ± 3.2	11.5 ± 3.3	15.4 ± 10.5
SL01	-3.2 ± 3.8	3.0 ± 3.0	-8.5 ± 13.3
SL02	-0.1 ± 4.5	0.3 ± 3.0	-7.5 ± 13.8
SL03	-2.1 ± 4.5	1.7 ± 4.3	13.4 ± 10.9
SL04	0.0 ± 4.0	0.0 ± 4.3	0.0 ± 14.4
SL05	-7.0 ± 3.0	8.5 ± 5.7	19.8 ± 19.2
SL06	-2.3 ± 4.5	-0.6 ± 3.5	-5.4 ± 10.5
SL07	-2.8 ± 3.8	0.0 ± 4.1	-7.7 ± 14.6
SL08	-0.5 ± 4.2	0.3 ± 3.7	4.2 ± 20.4
SL09	-1.7 ± 4.0	2.9 ± 3.2	-3.4 ± 18.9

Ακολούθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL04.



Χάρτης 4-9 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL04
Map 4-9 Horizontal velocities of stations, with respect to SL04 station

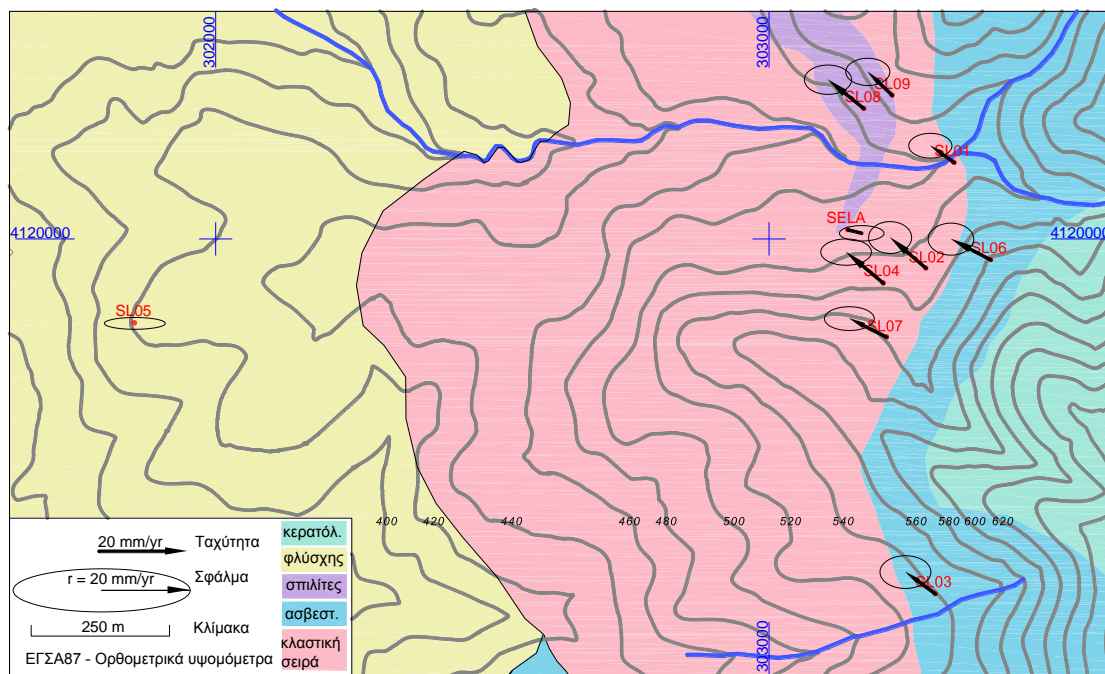
4.3.9 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL05

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL05, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.14 Ταχύτητες ως προς SL05
Table 4.14 Station Velocities with respect to SL05

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL05 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-0.7 ± 1.7	3.1 ± 5.0	-4.4 ± 16.6
SL01	3.8 ± 2.8	-5.4 ± 4.9	-28.3 ± 18.4
SL02	6.9 ± 3.6	-8.2 ± 4.9	-27.3 ± 18.8
SL03	4.9 ± 3.7	-6.8 ± 5.7	-6.4 ± 16.8
SL04	7.0 ± 3.0	-8.5 ± 5.7	-19.8 ± 19.2
SL05	0.0 ± 1.3	0.0 ± 6.9	0.0 ± 23.1
SL06	4.7 ± 3.6	-9.0 ± 5.1	-25.1 ± 16.6
SL07	4.2 ± 2.7	-8.5 ± 5.6	-27.4 ± 19.4
SL08	6.6 ± 3.3	-8.2 ± 5.3	-15.5 ± 24.1
SL09	5.3 ± 3.1	-5.6 ± 5.0	-23.1 ± 22.8

Ακολούθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL05.



Χάρτης 4-10 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL05
Map 4-10 Horizontal velocities of stations, with respect to SL05 station

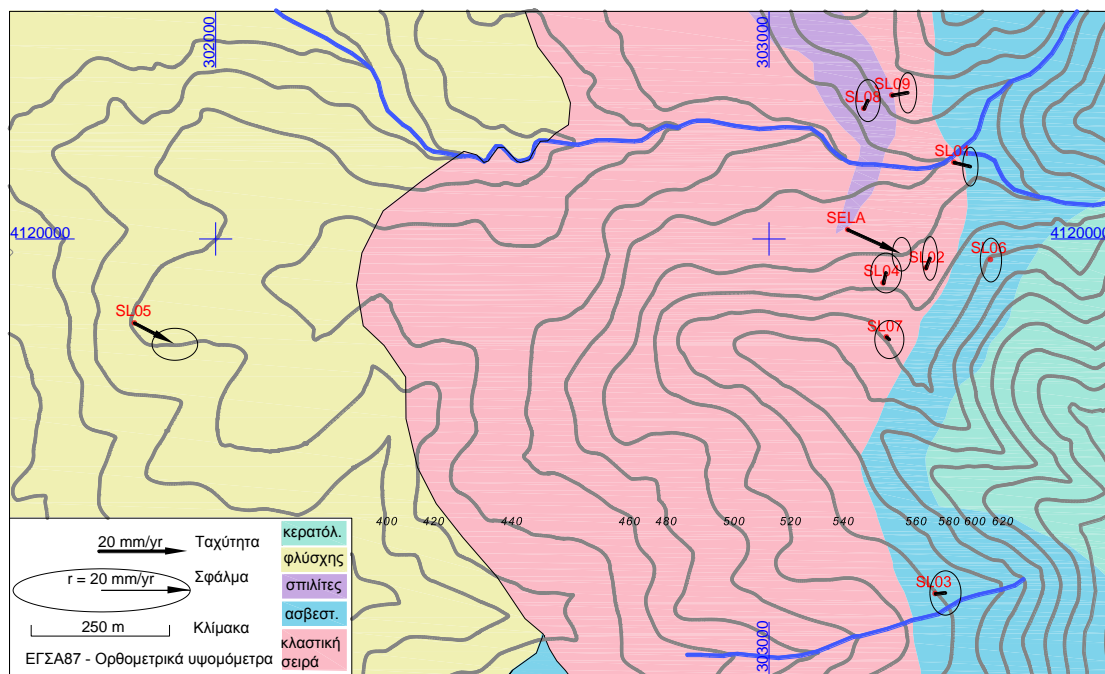
4.3.10 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL06

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL06, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.15 Ταχύτητες ως προς SL06
Table 4.15 Station Velocities with respect to SL06

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL06 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-5.4 ± 3.8	12.1 ± 2.1	20.8 ± 3.8
SL01	-0.9 ± 4.4	3.6 ± 1.7	-3.1 ± 9.0
SL02	2.2 ± 4.9	0.9 ± 1.7	-2.2 ± 9.8
SL03	0.2 ± 5.0	2.2 ± 3.5	18.8 ± 4.8
SL04	2.3 ± 4.5	0.6 ± 3.5	5.4 ± 10.5
SL05	-4.7 ± 3.6	9.0 ± 5.1	25.1 ± 16.6
SL06	0.0 ± 4.9	0.0 ± 2.4	0.0 ± 3.8
SL07	-0.5 ± 4.3	0.5 ± 3.3	-2.3 ± 10.8
SL08	1.9 ± 4.7	0.8 ± 2.7	9.6 ± 17.9
SL09	0.6 ± 4.5	3.5 ± 2.0	2.0 ± 16.1

Ακολουθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL06.



Χάρτης 4-11 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL06
Map 4-11 Horizontal velocities of stations, with respect to SL06 station

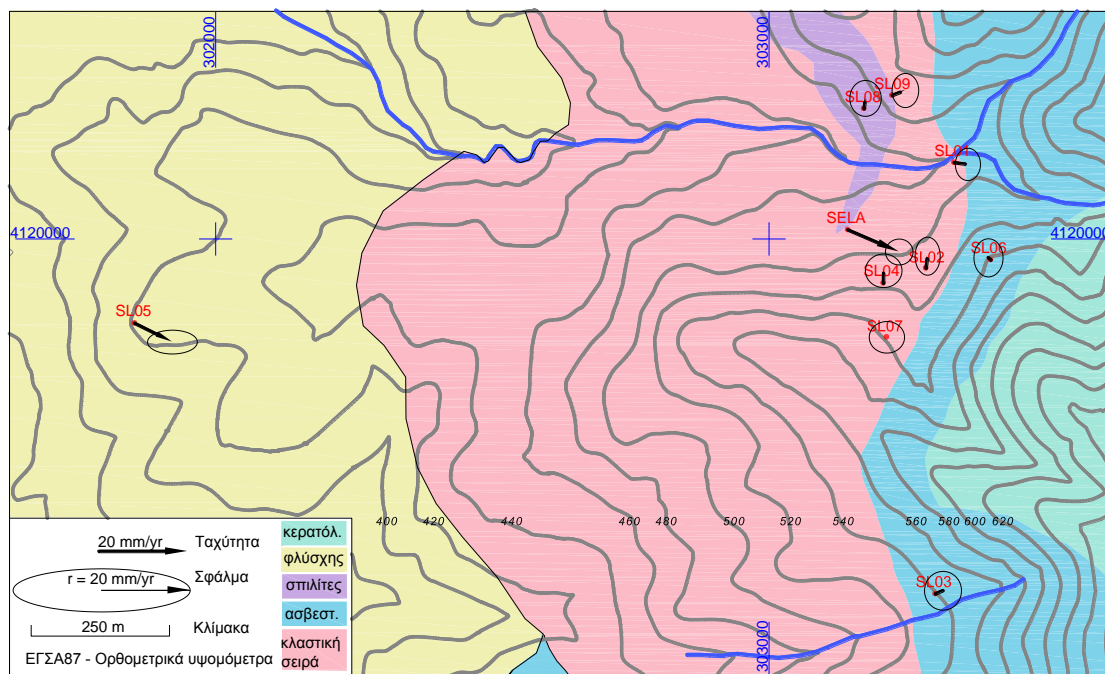
4.3.11 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL07

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL07, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.16 Ταχύτητες ως προς SL07
Table 4.16 Station Velocities with respect to SL07

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL07 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-4.9 ± 2.9	11.5 ± 3.1	23.1 ± 10.8
SL01	-0.4 ± 3.6	3.0 ± 2.8	-0.8 ± 13.5
SL02	2.7 ± 4.3	0.3 ± 2.8	0.1 ± 14.0
SL03	0.7 ± 4.4	1.7 ± 4.2	21.0 ± 11.2
SL04	2.8 ± 3.8	0.0 ± 4.1	7.7 ± 14.6
SL05	-4.2 ± 2.7	8.5 ± 5.6	27.4 ± 19.4
SL06	0.5 ± 4.3	-0.5 ± 3.3	2.3 ± 10.8
SL07	0.0 ± 3.6	0.0 ± 4.0	0.0 ± 14.8
SL08	2.4 ± 4.0	0.3 ± 3.6	11.9 ± 20.5
SL09	1.1 ± 3.8	2.9 ± 3.0	4.3 ± 19.0

Ακολούθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL07.



Χάρτης 4-12 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL07
Map 4-12 Horizontal velocities of stations, with respect to SL07 station

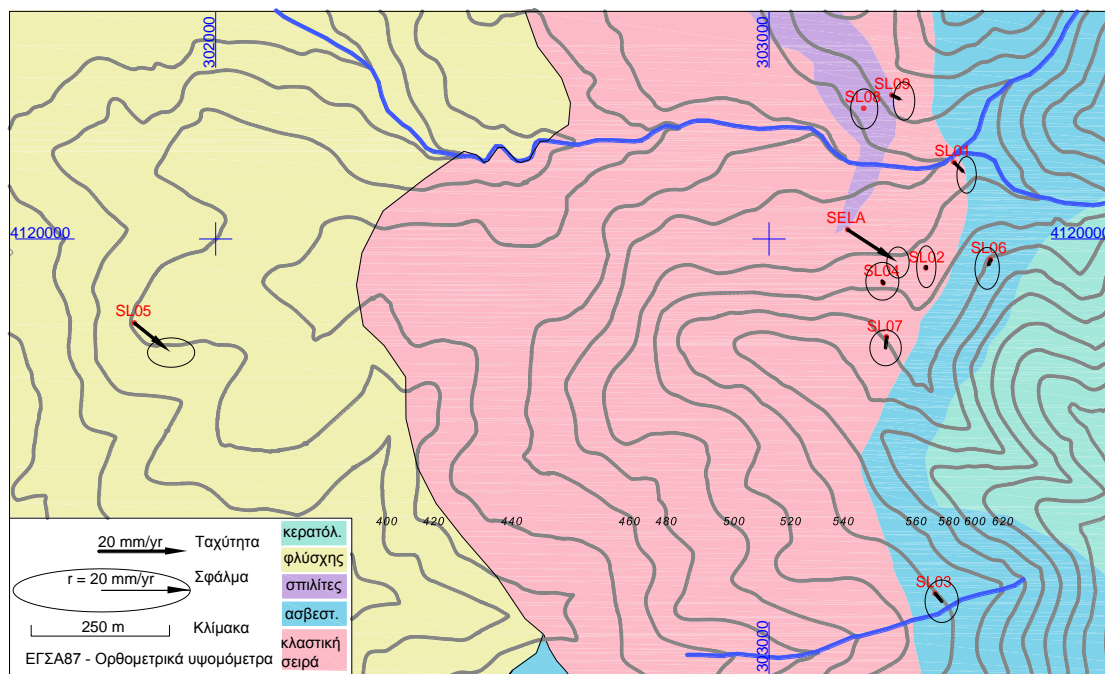
4.3.12 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL08

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL08, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.17 Ταχύτητες ως προς SL08
Table 4.17 Station Velocities with respect to SL08

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL08 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-7.3 ± 3.5	11.2 ± 2.5	11.2 ± 17.9
SL01	-2.7 ± 4.1	2.7 ± 2.2	-12.7 ± 19.6
SL02	0.4 ± 4.7	0.0 ± 2.2	-11.8 ± 20.0
SL03	-1.6 ± 4.8	1.4 ± 3.8	9.2 ± 18.1
SL04	0.5 ± 4.2	-0.3 ± 3.7	-4.2 ± 20.4
SL05	-6.6 ± 3.3	8.2 ± 5.3	15.5 ± 24.1
SL06	-1.9 ± 4.7	-0.8 ± 2.7	-9.6 ± 17.9
SL07	-2.4 ± 4.0	-0.3 ± 3.6	-11.9 ± 20.5
SL08	0.0 ± 4.5	0.0 ± 3.1	0.0 ± 25.0
SL09	-1.2 ± 4.3	2.6 ± 2.4	-7.6 ± 23.8

Ακολουθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL08.



Χάρτης 4-13 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL08
Map 4-13 Horizontal velocities of stations, with respect to SL08 station

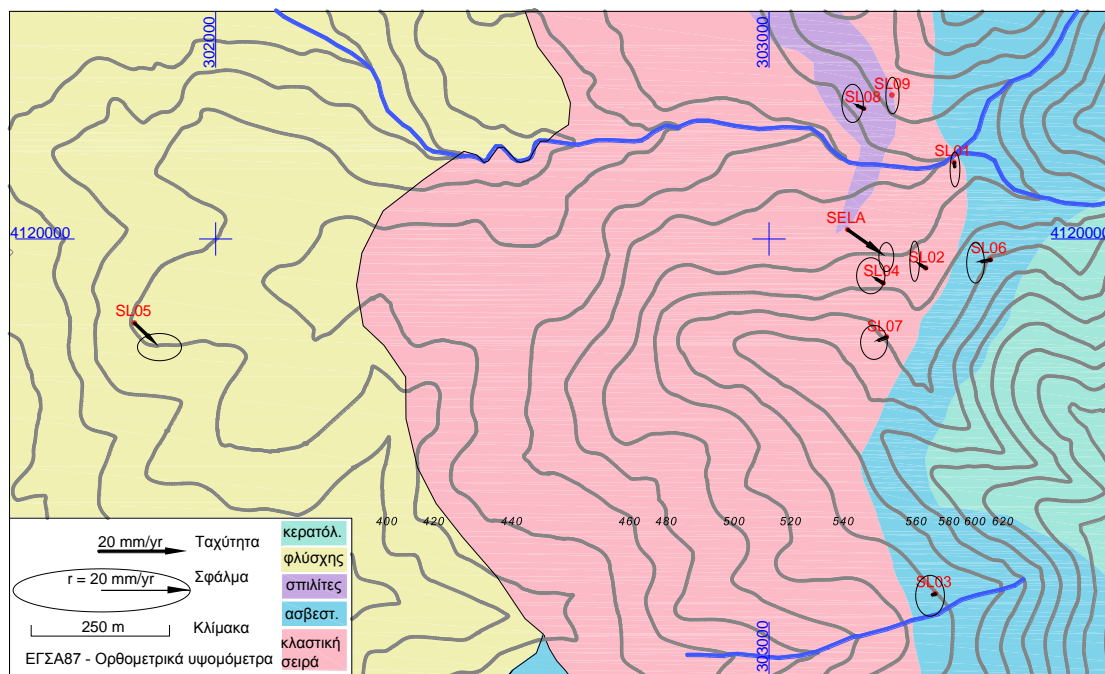
4.3.13 Σχετικές ταχύτητες σταθμών ως προς SL09

Οι συνιστώσες της σχετικής μετακίνησης των σταθμών του δικτύου σε σχέση με τον σταθμό SL09, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.18 Ταχύτητες ως προς SL09
Table 4.18 Station Velocities with respect to SL09

Ταχύτητες ως προς τον σταθμό SL09 (mm/year)			
Σταθμός	North	East	Up
SELA	-6.1 ± 3.3	8.6 ± 1.7	18.7 ± 16.1
SL01	-1.5 ± 3.9	0.1 ± 1.1	-5.1 ± 18.1
SL02	1.6 ± 4.5	-2.6 ± 1.1	-4.2 ± 18.5
SL03	-0.4 ± 4.6	-1.3 ± 3.2	16.7 ± 16.4
SL04	1.7 ± 4.0	-2.9 ± 3.2	3.4 ± 18.9
SL05	-5.3 ± 3.1	5.6 ± 5.0	23.1 ± 22.8
SL06	-0.6 ± 4.5	-3.5 ± 2.0	-2.0 ± 16.1
SL07	-1.1 ± 3.8	-2.9 ± 3.0	-4.3 ± 19.0
SL08	1.2 ± 4.3	-2.6 ± 2.4	7.6 ± 23.8
SL09	0.0 ± 4.1	0.0 ± 1.5	0.0 ± 22.5

Ακολουθως σχεδιάζεται το μέτρο, η διεύθυνση της και η έλλειψη σφάλματος της σχετικής ταχύτητας κάθε σταθμού ως προς τον σταθμό SL09.



Χάρτης 4-14 Οριζόντιες ταχύτητες σταθμών, ως προς τον σταθμό SL09
Map 4-14 Horizontal velocities of stations, with respect to SL09 station

Κεφάλαιο 5ο Ανάλυση αποτελεσμάτων

5.1 Ποιότητα επίλυσης

Ο προσδιορισμός τεκτονικών μετατοπίσεων με τη χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων αφορά σε μια πολυσύνθετη διαδικασία κατά την οποία η εισαγωγή σφαλμάτων μπορεί να συμβεί με πολλούς τρόπους και σε όλα τα στάδιά της, όπως κατά την εκτέλεση εργασιών πεδίου, κατά την είσοδο των πρωτογενών δεδομένων στο λογισμικό επεξεργασίας αλλά και κατά την επεξεργασία με το λογισμικό.

Ένα σύνηθες χονδροειδές σφάλμα αφορά στην λανθασμένη είσοδο του ύψους κεραίας ενός μη μόνιμου σταθμού, είτε λόγω λάθους κατά την αναγωγή του από κεκλιμένο σε κατακόρυφο, είτε λόγω λανθασμένης αντιγραφής του στο αρχείο Rinex. Τέτοια λάθη αποκαλύπτονται συνήθως μετά από εντοπισμό πολύ μεγάλων καθ' ύψος μετακινήσεων.

Ειδικά η επίλυση με το λογισμικό πακέτο Bernese GPS Software, ως διαδικασία, είναι πολύπλοκη και περιλαμβάνει την ρύθμιση πάρα πολλών παραμέτρων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει πολύ εύκολα, ειδικά έναν άπειρο χρήστη, στη εξαγωγή λανθασμένων αποτελεσμάτων. Λόγω των παραπάνω, είναι απολύτως απαραίτητη μια διαδικασία ελέγχου της ποιότητας επίλυσης και ο συνήθης τρόπος ελέγχου αφορά στον ταυτόχρονο προσδιορισμό της θέσης και της ταχύτητας ενός μόνιμου σταθμού, του οποίου τα στοιχεία είναι γνωστά.

5.1.1 Προσδιορισμός ταχύτητας μόνιμου σταθμού NOA1

Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε να προσδιοριστεί η θέση και η ταχύτητα του μόνιμου σταθμού NOA1, σταθμού που συμμετέχει στο δίκτυο μόνιμων σταθμών της επιτροπής EUREF. Τα στοιχεία αυτά, όπως δίνονται από τη EUREF, αφορούν στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ITRF2005 έτσι δεν είναι δυνατό να συγκριθούν άμεσα, αφού διαφέρει το σύστημα αναφοράς.

Παραταύτα, από τη σύγκριση όλων των συνιστωσών της ταχύτητας μετακίνησης του σταθμού, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ποιότητα επίλυσης είναι καλή. Οι μικρές διαφορές στα μέτρα των συνιστωσών ταχύτητας οφείλονται αφενός στο διαφορετικό σύστημα αναφοράς και αφετέρου στο γεγονός ότι ο υπολογισμός της ταχύτητας γίνεται συνορθώνοντας δεδομένα διαφορετικού πλήθους και μάλιστα πλήθους δεδομένων που ελήφθησαν σε διαφορετική χρονική περίοδο.

Συγκεκριμένα, η ταχύτητα του σταθμού υπολογίζεται από τη EUREF συνορθώνοντας 309 θέσεις του σταθμού στο έτος 2006, ενώ η ταχύτητα του σταθμού στην παρούσα εργασία, υπολογίστηκε συνορθώνοντας μόλις 35 θέσεις του σταθμού σε διάστημα 18 μηνών, αρχής γενομένης από τις 17-1-2011.

Πίνακας 5.1 Σύγκριση ταχυτήτων σταθμού NOA1
Table 5.1 NOA1 Station Velocities comparison

Επίλυση εργασίας	ITRF2008	Συνόρθωση 35 θέσεων περιόδου 2011.047 έως 2012.466	-12.4 ± 1.5	8.6 ± 0.9	-2.8 ± 2.5	mm/year
Επίλυση Euref	ITRF2005	Συνόρθωση 309 θέσεων στο 2006	-11.42 ± 0.01	7.28 ± 0.02	1.07 ± 0.22	

5.1.2 Σύγκριση με αποτελέσματα Προγράμματος Περιφέρειας

Τα αποτελέσματα της επίλυσης που έγινε από το πρόγραμμα της Περιφέρειας δίνονται στο Παράρτημα. Η επίλυση έγινε στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ITRF2005, γεγονός που συνεπάγεται μια αναμενόμενη διαφορά στο προσδιορισμό της θέσης του κάθε σημείου, έτσι είναι πιο σκόπιμο να ελεγχθούν οι διαφορές μεταξύ γεωδαιτικών και καρτεσιανών συντεταγμένων. Στο ακόλουθο πίνακα δίνονται οι διαφορές τους σε mm για κάθε μια από τις συγκρινόμενες επιλύσεις.

Πίνακας 5.2 Σύγκριση υπολογισμένων μετατοπίσεων μεταξύ 1ης και 2ης περιόδου
Table 5.2 Comparison of computed displacements between 1st and 2nd period

ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ σε mm μεταξύ 1ης κ 2ης περιόδου							
Σταθμός	dφ	dλ	dh	ΔX	ΔY	ΔZ	Επίλυση
SL01	-4.0	0.9	-1.8	0.6	1.2	-4.3	Περιφέρειας
	-2.1	-0.4	-10.1	-6.1	-2.9	-7.8	Παρούσας Εργασίας
SL02	-2.4	-1.5	-4.8	-1.6	-2.3	-4.8	Περιφέρειας
	-0.9	-0.6	11.0	8.9	2.9	5.9	Παρούσας Εργασίας
SL03	-10.0	1.8	4.4	8.2	5.2	-5.3	Περιφέρειας
	-9.2	3.8	-5.1	0.0	4.1	-10.4	Παρούσας Εργασίας
SL04	-7.5	0.7	1.9	5.4	2.9	-4.8	Περιφέρειας
	-5.5	1.0	10.8	10.7	5.4	2.1	Παρούσας Εργασίας
SL05	-8.4	7.3	5.0	5.7	10.1	-3.7	Περιφέρειας
	-6.2	4.9	-2.5	-0.2	5.2	-6.5	Παρούσας Εργασίας
SL06	1.3	0.6	-0.9	-1.6	0.0	0.5	Περιφέρειας
	-0.9	1.2	-5.9	-4.3	-0.4	-4.3	Παρούσας Εργασίας
SL07	-6.6	3.9	-14.8	-8.7	0.7	-14.2	Περιφέρειας
	-5.8	1.9	-10.9	-5.5	-0.2	-11.2	Παρούσας Εργασίας
SL08	-5.8	3.2	-4.8	-1.5	2.9	-7.5	Περιφέρειας
	-5.5	2.0	-1.2	1.5	2.7	-5.1	Παρούσας Εργασίας
SL09	-9.2	-2.6	12.1	15.1	3.2	0.0	Περιφέρειας
	-5.4	0.7	10.1	10.2	4.8	1.8	Παρούσας Εργασίας
SELA	85.9	-4.7	-9.2	-53.3	-26.4	62.8	Περιφέρειας
	87.2	-3.7	-11.8	-56.3	-26.5	62.3	Παρούσας Εργασίας

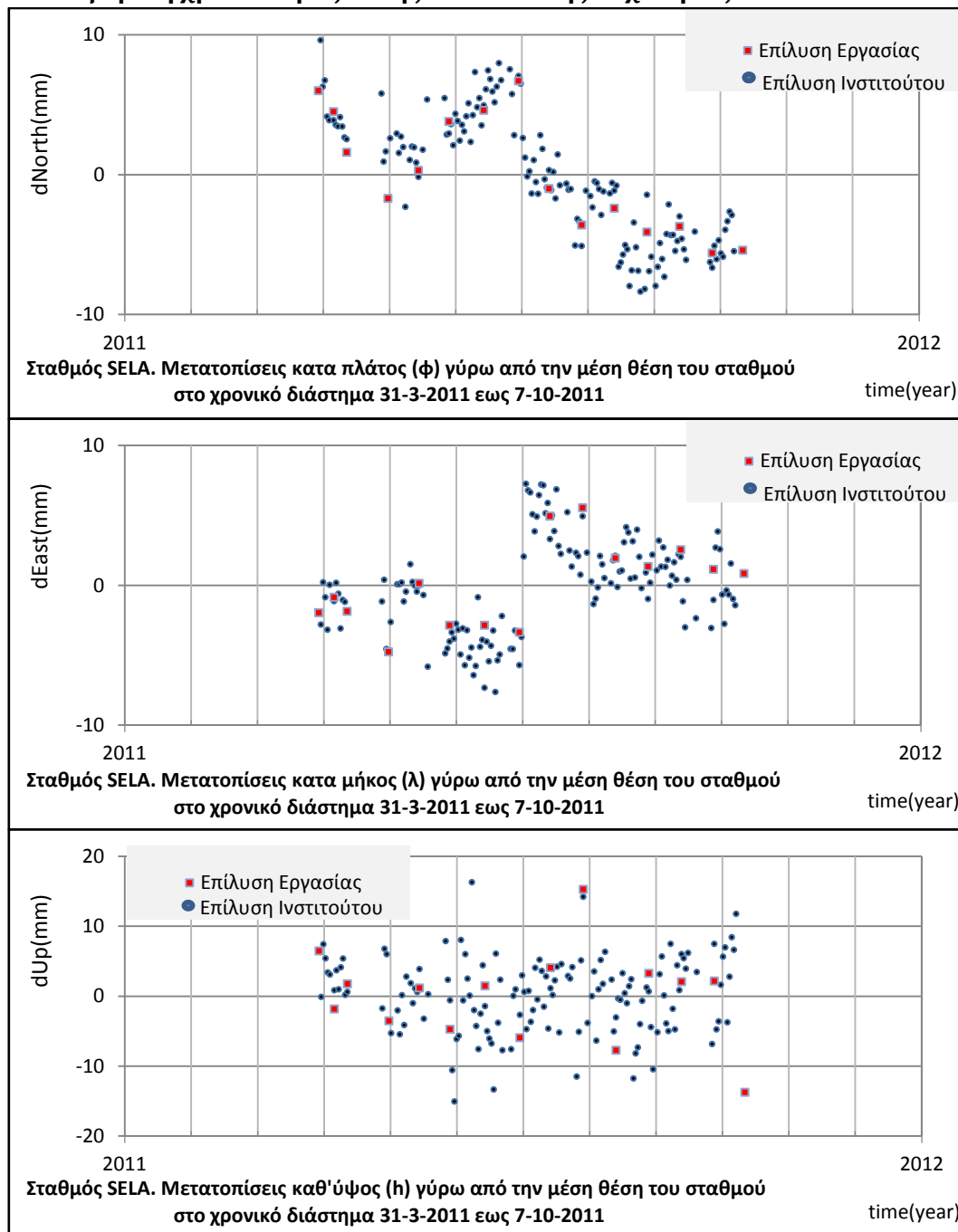
Από τη μελέτη του πίνακα σύγκρισης των δυο διαφορετικών επιλύσεων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η επίλυση της παρούσας εργασίας, είναι αποδεκτή αφού οι διαφορές στις συγκρινόμενες μετατοπίσεις αφενός αναφέρονται σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα 79 ημερών και αφετέρου είναι πολύ μικρές και παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά μετατόπισης των σημείων.

Οι διαφορές σχετίζονται με τη μεθοδολογία επίλυσης που ακολουθήθηκε και αναμένεται να αφορούν πρώτον στην επιλογή των σταθμών της IGS και συνεπαγόμενα στην επιλογή των βάσεων GPS και δεύτερον στην επιλογή μεθόδου επίλυσης των ασαφειών φάσης. Πράγματι, οι σταθμοί της IGS που επιλέχθηκαν δεν ήταν ακριβώς οι ίδιοι ενώ επιπρόσθετα στην επίλυση του δικτύου από την Περιφέρεια χρησιμοποιήθηκε και ο σταθμός VASS (θέση Ναού Επικούρειου Απόλλωνα). Όσον αφορά την μεθοδολογία επίλυσης ασαφειών φάσης για το τοπικό δίκτυο όπου επιλέχθηκε η μέθοδος SIGMA, η διαφορά εντοπίζεται στην επιλογή διαφορετικών συχνοτήτων. Συγκεκριμένα,

στην επίλυση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις μόνο στη συχνότητα L1, ενώ από για επίλυση που έγινε στα πλαίσια του Προγράμματος της Περιφέρειας, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο φέρουσες συχνότητες.

Το παραπάνω γεγονός του διαφορετικού προσδιορισμού μιας μετατόπισης με τη χρήση ίδιων παρατηρήσεων, καταδεικνύει πόσο σημαντική για την ποιότητα λύσης είναι η γεωμετρία των επιλεγμένων βάσεων GPS, η επιλογή μεθόδου και η επιλογή συχνότητας επίλυσης.

5.1.3 Σύγκριση χρονοσειράς θέσης SELA και της ταχύτητάς του



Διάγραμμα 5-1 Κίνηση σταθμού SELA κατα πλάτος, κατα μήκος και καθ' ύψος. Επίλυση εργασίας και επίλυση Ινστιτούτου Γεωδυναμικής
Diagram 5-1 Latitude, Longitude and Height displacements of SELA station. Thesis and Institute of Geodynamics solutions

Ένα άλλο μέτρο ελέγχου της ποιότητας επίλυσης είναι η σύγκριση με την επίλυση που έγινε από το Ινστιτούτο Γεωδυναμικής Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στα πλαίσια της δημοσίευσης με τίτλο «Monitoring slope instability using a combined GPS and InSAR approach».

Η επίλυση όπως παρουσιάζεται στην εργασία Drakatos et al., 2012 που έγινε στο σύστημα ITRF2005 με το λογισμικό GAMIT-GLOBK v10.4, αφορά σχεδόν καθημερινές επιλύσεις σε μια περίοδο 5 μηνών. Οι συντεταγμένες δίνονται σε διαφορετικό σύστημα αναφοράς και έτσι δεν είναι δυνατό να συγκριθούν άμεσα. Για τον ποιοτικό έλεγχο, συγκρίνονται οι υπολογισμένες τεκτονικές ταχύτητες και επιπλέον επιλέχθηκε να συγκριθούν οι σχετικές μετατοπίσεις γύρω από την υπολογισμένη μέση κατα πλάτος, μήκος και καθ' ύψος θέση του σταθμού στο κοινό χρονικό διάστημα επίλυσης. Αυτή η σύγκριση αποδίδεται γραφικά στο Διάγραμμα 5-1.

Πίνακας 5.3 Σύγκριση ταχυτήτων σταθμού SELA
Table 5.3 SELA Station Velocities comparison

Επίλυση εργασίας	Συνόρθωση 35 θέσεων περιόδου 2011.047 έως 2012.466	-26.5 ± 1.5	8.3 ± 1.3	-1.8 ± 2.7	mm/year
Επίλυση Ινστιτούτου Γεωδυναμικής	Συνόρθωση 140 θέσεων περιόδου 2011.247 έως 2011.767	-24.17 ± 1.62	8.41 ± 1.94	-0.12 ± 4.94	

Από τη σύγκριση όλων των συνιστωσών της ταχύτητας μετακίνησης του σταθμού, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι δυο επιλύσεις δίνουν σχεδόν το ίδιο αποτέλεσμα. Οι αμελητέες διαφορές στα μέτρα των συνιστωσών ταχύτητας οφείλονται αφενός στο διαφορετικό σύστημα αναφοράς και αφετέρου στο γεγονός ότι ο υπολογισμός της ταχύτητας γίνεται συνορθώνοντας δεδομένα διαφορετικού πλήθους και μάλιστα πλήθους δεδομένων που ελήφθησαν σε διαφορετική χρονική περίοδο.

Η καλή ποιότητα επίλυσης επαληθεύεται με τη σύγκριση που γίνεται στο Διάγραμμα 5-3. Η μελέτη αυτού του διαγράμματος καταδεικνύει πόσο σημαντικός για την μελέτη φαινομένων κατολίσθησης είναι ο προσδιορισμός της θέσης ενός σταθμού που κατολισθαίνει ανα μικρά χρονικά διαστήματα. Από τα πυκνά δεδομένα είναι άμεσα ορατή μια έντονη μετατόπιση του σταθμού στο τέλος Ιουνίου με αρχές Ιουλίου, πληροφορία που δεν είναι αντιληπτή με την επίλυση που γίνεται στην παρούσα εργασία με τη χρήση δεδομένων θέσης του ανα 15 περίπου ημέρες.

5.1.4 Ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης

Το ποσοστό επίλυσης των ασαφειών φάσης, αποτελεί μέτρο ελέγχου ποιότητας επίλυσης. Από τη μελέτη των πινάκων 3.2 και 3.3, φαίνεται ότι η ποιότητα επίλυσης με τη μέθοδο QIF είναι πολύ καλή, αφού, το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, είναι κατα κανόνα υψηλό και γύρω στο 90%. Επίσης προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο προσδιορισμός της θέσης του SELA γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι ο προσδιορισμός της θέσης του NOA1, αφού το ποσοστό επίλυσης ασαφειών είναι μεγαλύτερο. Το παραπάνω μπορεί να σχετίζεται με την ποιότητα του συστήματος δέκτη κεραίας, ή με μια μη ικανοποιητική απαλοιφή του τροποσφαιρικού σφάλματος λόγω των ιδιαίτερων κλιματολογικών συνθηκών που αφορούν το λεκανοπέδιο Αττικής.

Από την επισκόπηση των ποσοστών επίλυσης της μεθόδου SIGMA που δίνονται στον Πίνακα 3.4 (σελ.30), παρατηρείται μια χαμηλότερη ποιότητα επίλυσης της 3ης και 4ης περιόδου μετρήσεων, γεγονός που μπορεί να οφείλεται είτε στην χρήση των μονόσυχνων δεκτών, είτε σε άλλο σφάλμα.

Όσον αφορά τη χρήση των συγκεκριμένων μονόσυχνων δεκτών, είναι εκ των προτέρων αναμενόμενη μια χαμηλότερη ποιότητα επίλυσης αφού το συγκριμένο σύστημα δέκτη κεραίας σχεδιάστηκε για τοπογραφικές εργασίες και όχι για τόσο υψηλής ακρίβειας γεωδαιτικές. Όμως τα χαμηλά ποσοστά επίλυσης ασαφειών που εντοπίζονται ακόμη και στους ποιοτικότερους διπλόσυχνους δέκτες, αποδεικνύει ότι υπάρχουν και άλλοι λόγοι που σχετίζονται με το μειωμένο

ποσοστό επίλυσης ασαφειών, όπως λόγοι που σχετίζονται με την γεωμετρία του συστήματος (DOPs) ειδικά όταν πρόκειται για ολιγώρες παρατηρήσεις. Στην προκειμένη περίπτωση όμως, η ύπαρξη εμποδίων στη λήψη του σήματος είναι ο κυριότερος παράγοντας εισαγωγής σφαλμάτων, άποψη που ενισχύεται λόγω των επανειλημμένα μειωμένων ποσοστών επίλυσης ασαφειών φάσης στις θέσεις SL07 και SL08, θέσεις γύρω από τις οποίες αναπτύσσονται φυλλοβόλα δέντρα.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, από τη μελέτη των ποσοστών επίλυσης ασαφειών φάσης και των δύο μεθόδων προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι βάσεις gps έχουν επιλυθεί σε ικανοποιητικό βαθμό.

5.2 Μετατοπίσεις σταθμών

Από μια πρώτη ανάγνωση των πινάκων και των διαγραμμάτων μετατοπίσεων όλων των σταθμών, παρατηρείται μια αναμενόμενη μεγαλύτερη διακύμανση στην καθ' ύψος μετατόπιση, γεγονός που σχετίζεται με την μειωμένη ακρίβεια προσδιορισμού των υψομέτρων με αυτή τη δορυφορική τεχνική. Αντίθετα οριζοντιογραφικά, οι μετατοπίσεις δεν έχουν τόσο μεγάλη διακύμανση και η ακρίβεια υπολογισμού των οριζόντιων ταχυτήτων αναμένεται να είναι μεγαλύτερη.

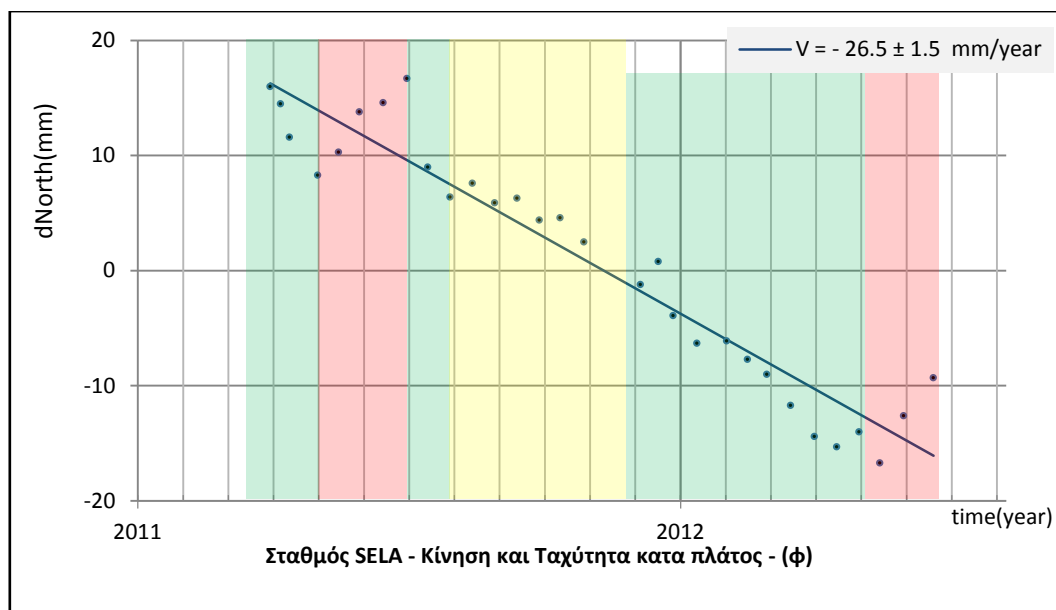
Οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις των μετατοπίσεων γύρω από μια θέση ενός σταθμού, οφείλονται εν μέρει στην ακρίβεια προσδιορισμού των θέσεων και εν μέρει στο ίδιο το φαινόμενο της κατολίθησης. Ο μόνος τρόπος να ελεγχθεί η ακρίβεια μιας υπολογισμένης θέσης ώστε να μπορεί να συσχετιστεί η μετατόπιση αυτή με το ίδιο το φαινόμενο, επιτυγχάνεται με την πύκνωση των υπολογισμών θέσης στην εκάστοτε χρονική περίοδο. Το παραπάνω είναι εφικτό για τους μόνιμους σταθμούς, των οποίων η θέση μπορεί να υπολογίζεται καθημερινά. Αντιθέτως η ακρίβεια των υπολογισμένων θέσεων σε ένα δίκτυο μη μόνιμων σταθμών δεν μπορεί να ελεγχθεί με αυτό το τρόπο και έτσι τα αποτελέσματα της μελέτης εξέλιξης ενός φαινομένου κατολίθησης σε τέτοιες θέσεις εμπεριέχουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα, ειδικά όταν το χρονικό διάστημα μελέτης είναι μικρό.

5.2.1 Μετατοπίσεις μόνιμου σταθμού SELA

Η μελέτη του Διαγράμματος 4-1, (σελ. 44) αποκαλύπτει άμεσα τη νέα υλοποίηση του σταθμού που έγινε μεταξύ της 75ης και 89ης ημέρας του 2011, γεγονός που κατέστησε αδύνατη την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων θέσης μέχρι τη νέα σταθεροποίηση του σταθμού.

Οριζοντιογραφικά, ο σταθμός παρουσιάζει μια ομαλή εν γένει συμπεριφορά, με κίνηση $26.5 \pm 1.5 \text{ mm/year}$ προς το Νότο και $8.3 \pm 1.3 \text{ mm/year}$ προς την Ανατολή (ως προς τον Κόσμο). Υψομετρικά παρατηρείται μια αυξημένη διακύμανση μετατοπίσεων γύρω από μια θέση που μάλλον σχετίζεται με την μειωμένη ακρίβεια υπολογισμού. Γενικά ο σταθμός παρουσιάζει μια πολύ μικρή κίνηση προς τα κάτω, όμως η υπολογισμένη ταχύτητά του είναι πολύ μικρή με σχετικά μεγάλο σφάλμα ($-1.8 \pm 2.7 \text{ mm/year}$) ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί με ασφάλεια η κίνηση στην κατακόρυφο.

Η περαιτέρω μελέτη του διαγράμματος αποκαλύπτει σημαντικά στοιχεία για τη μελέτη του φαινομένου. Αφενός παρατηρείται ότι η ταχύτητα κίνησης αυξομειώνεται διαρκώς και αφετέρου ότι αυτές οι αυξομειώσεις εμφανίζουν μια περιοδικότητα στο έτος.



Διάγραμμα 5-2 Χρονικές περιόδους ομοιογενούς κατά πλάτος ταχύτητας σταθμού SELA
 Diagram 5-2 Periods of time that show same latitude behavior of SELA station

Στο Διάγραμμα 5-2 που αφορά στην κατα πλάτος μετατόπιση του σταθμού, έχουν χρωματιστεί διάφορες χρονικές περιόδους που το φαινόμενο παρουσιάζει μια όμοια συμπεριφορά. Οι πράσινες περιοχές αφορούν χρονικές περιόδους που το φαινόμενο έχει ταχύτητα προς το Νότο μεγαλύτερη από τη μέση ετήσια, οι κόκκινες περιοχές αφορούν χρονικές περιόδους με κίνηση προς το Βορρά και τέλος η κίτρινη περιοχή, αφορά μια χρονική περίοδο που το φαινόμενο έχει περίπου την ίδια ταχύτητα με τη μέση ετήσια ταχύτητα.

Παρατηρείται αφενός λοιπόν μια συνεχής αυξομείωση της έντασης του φαινομένου, αλλά αφετέρου και μια περιοδικότητα στο έτος αφού ειδικά η περίοδος της κίνησης προς το Βορρά, (κόκκινη) εμφανίζεται ακριβώς την ίδια χρονική περίοδο του έτους, στο διάστημα Μαΐου – Ιουνίου και για τα δυο έτη.

Αν αναλύσει κανείς περαιτέρω την κίνηση αυτή στο πρώτο χρονικό διάστημα, διαπιστώνει ότι η μετατόπιση προς Βορρά είναι ίση με 8.4mm. Στο ίδιο χρονικό διάστημα, η Ευρώπη θεωρητικά μετατοπίζεται προς το Βορρά κατά 1.9mm, συνεπώς η μετατόπιση προς Βορρά σε σχέση ακόμη και με σταθερή την Ευρώπη υπολογίζεται σε 6.5mm.

Αυτή η περιοδική προς τα πίσω κίνηση του σταθμού που παρατηρείται και τις δυο χρονιές και μάλιστα τους ίδιους μήνες, είναι φαινόμενο που υποδηλώνει μια ενεργή κατολίσθηση και η περιοδικότητά της αναμένεται να σχετίζεται με τον κύκλο του νερού στην περιοχή αλλά και την γεωλογική σύσταση του εδάφους.

Ως πιθανή εκτίμηση του φαινομένου αναφέρονται τα ακόλουθα: Τα πετρώματα της περιοχής μελέτης περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό άργιλο, υλικό με πολύ μεγάλη υδατοχωρητικότητα. Επίσης, το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα αναμένεται να κορυφώνεται το μήνα Απρίλιο. Αυτό συνεπάγεται ότι όταν παύουν οι βροχοπτώσεις και το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα αρχίζει να χαμηλώνει, ο όγκος του εδάφους αρχίζει απότομα να μειώνεται γεγονός που μάλλον προξενεί αυτές τις μετατοπίσεις σε αυτές τις περιόδους τους έτους.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, η εξαγωγή ασφαλούς συμπεράσματος για τη μελέτη ενός κατολισθητικού φαινομένου απαιτεί αφενός την πύκνωση των υπολογισμών θέσης του σταθμού

και αφετέρου τον παράλληλο έλεγχο μετεωρολογικών δεδομένων ώστε να καταστεί δυνατό να γίνει ο έλεγχος συσχέτισης του φαινομένου με τον υδρολογικό κύκλο.

5.2.2 Μετατοπίσεις μη μόνιμων σταθμών

Η μελέτη των αντίστοιχων διαγραμμάτων και πινάκων που αφορούν τους μη μόνιμους σταθμούς, δεν μπορεί να δείξει αντίστοιχες πιθανές μετατοπίσεις αφού οι μόλις 4 μετρήσεις απέχουν μεγάλο χρονικό διάστημα η μια από την άλλη.

Έτσι, το φαινόμενο της μετατόπισης του κάθε σταθμού, εμφανίζεται να είναι ομαλό, ειδικά ως προς τις οριζόντιες μετατοπίσεις. Αυτό αφορά όλους τους σταθμούς.

Υψομετρικά, οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις είναι αρκετά μεγάλες. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται πολύ έντονα στους σταθμούς SL05, SL08, SL09 όπου ειδικά μεταξύ των τελευταίων μετρήσεων εμφανίζεται μια ανύψωση 3 με 4 πόντους σε χρονικό διάστημα 7 μηνών.

Από την προηγούμενη μελέτη του μόνιμου σταθμού SELA, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι μεγάλες καθ' ύψος διακυμάνσεις μπορεί να συμβαίνουν ακόμη και στη περίπτωση που ο σταθμός ουσιαστικά παραμένει στο ίδιο υψόμετρο. Οι διακυμάνσεις σχετίζονται αφενός με το ίδιο το φαινόμενο της κατολίθωσης και αφετέρου με την μειωμένη ακρίβεια προσδιορισμού υψομέτρων με αυτή τη δορυφορική τεχνική.

Λόγω των παραπάνω, δεν μπορεί να εξαχθεί με βεβαιότητα συμπέρασμα σχετικά με την κίνηση των μη μόνιμων σταθμών στην κατακόρυφο. Παραταύτα, η παρατηρούμενη γενική καθίζηση όλων των σταθμών εκτός του σταθμού SL05, μπορεί πράγματι να οφείλεται στην κατολίθωση.

5.3 Υπολογισμός τεκτονικών ταχυτήτων

5.3.1 Στο γεωδαιτικό σύστημα ITRF2008

Ο υπολογισμός των τεκτονικών ταχυτήτων στο επιλεγμένο σύστημα αναφοράς προέκυψε από την ανισοβαρή συνόρθωση των μετατοπίσεων των σταθμών. Οριζοντιογραφικά, σε όλους τους σταθμούς, το σφάλμα υπολογισμού της ταχύτητας είναι σχετικά μικρό, αλλά υψομετρικά υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα ως προς την κίνηση των σταθμών. Έτσι οι αντίστοιχοι χάρτες ταχυτήτων που δημιουργήθηκαν επικεντρώθηκαν μόνο στην οριζοντιογραφική κίνηση και η περαιτέρω ανάλυση επικεντρώνεται μόνο στην οριζόντια μετατόπιση των σταθμών.

5.3.2 Ως προς την Ευρώπη

Από την μελέτη του πίνακα και του χάρτη που παρουσιάζει τις υπολογισμένες ταχύτητες ως προς σταθερή την Ευρώπη (§4.3.2, σελ 55), παρατηρείται μια ομοιογενής συμπεριφορά όλων των σταθμών. Η Νοτιοδυτική κατεύθυνση της μετατόπισής τους ως προς σταθερή την Ευρώπη, είναι τυπική για την ευρύτερη περιοχή της Πελοποννήσου και η μέση ταχύτητα των σταθμών υπολογίζεται σε 41mm/year.

Το παραπάνω καταδεικνύει ότι το υπο εξέταση φαινόμενο είναι μικρής έντασης αφού το διάνυσμα που εκφράζει την κατολισθητική κίνηση δεν είναι αρκετά μεγάλο ώστε να διαμορφώσει μια εικόνα κίνησης διάφορη ως προς την γενικώς παρατηρούμενη κίνηση στη περιοχή. Είναι σημαντικό λοιπόν να συσχετιστεί η κίνηση των σταθμών με την κίνηση κάποιου σταθμού που θα μπορούσε να εκφράζει την κίνηση στην εγγύτερη περιοχή.

5.3.3 Ως προς τον σταθμό ΑΕΤΟ

Για την καλύτερη ανάλυση του τοπικού φαινομένου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα μετατόπισης του κοντινότερου μόνιμου σταθμού που αφορά στον σταθμό ΑΕΤΟ, σταθμό που βρίσκεται σχετικά κοντά στη περιοχή μελέτης, σε απόσταση 6km Βορεια και Ανατολικά.

Δυστυχώς, η σύνταξη των σχετικού πίνακα και διαγράμματος (§4.3.3, σελ 56), δεν είναι ολοκληρωμένη καθώς δεν κατέστη δυνατό να υπολογιστούν οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος λόγω απουσίας σχετικών δεδομένων. Παραταύτα, είναι ορατή η σχετικά έντονη κίνηση των σταθμών SELA και SL05 σε σχέση με τον σταθμό ΑΕΤΟ. Οι κινήσεις των υπόλοιπων σταθμών σε σχέση με τον σταθμό ΑΕΤΟ, είναι μικρότερες από 1 εκατοστό το έτος, και δεν λαμβάνονται υπόψιν αφού λογικά βρίσκονται μέσα στα όρια του σφάλματος υπολογισμού.

5.3.4 Σχετική κίνηση σταθμών

Σε επόμενο στάδιο και για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της κατολίσθησης κατασκευάστηκαν οι πίνακες και τα διαγράμματα της σχετικής κίνησης μεταξύ των σταθμών (§4.3.4 έως §4.3.13, σελ.57 έως 66). Σε αυτή τη φάση, είναι δυνατό να υπολογιστούν οι ελλείψεις σφάλματος και αυτό μας επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων με μεγαλύτερη βεβαιότητα.

Από τη μελέτη όλων των χαρτών που παρουσιάζουν τις σχετικές μετατοπίσεις των σταθμών ως προς κάποιον από αυτούς, ενισχύεται η άποψη πως οι σταθμοί SELA και SL05 κινούνται με τον ίδιο τρόπο. Αντίστοιχα, όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί, φαίνεται να συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο. Δίδεται λοιπόν η εικόνα ότι στη περιοχή μελέτης εντοπίζονται δυο περιοχές με παρόμοια κίνηση.

Η εικόνα της παρατηρούμενης παρόμοιας κίνησης των σταθμών SELA και SL05, έρχεται σε αντίθεση με το γεγονός ότι ανήκουν σε δυο εντελώς διαφορετικές γεωτεκτονικές ενότητες (§1.3.2) και έτσι μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι αυτή η κίνηση των σταθμών οφείλεται σε μετατοπίσεις πετρωμάτων που βρίσκονται βαθύτερα.

Ενα ίσως σημαντικό στοιχείο για την κατανόηση του φαινομένου σχετίζεται με την μελέτη της θέσης των σταθμών σε σχέση με τις σχεδιασμένες ισοϋψείς καμπύλες. Παρατηρείται πως οι παραπάνω δυο σταθμοί βρίσκονται σε θέσεις με σχετικά πιο ήπιες κλίσεις εδάφους. Επίσης παρατηρείται ότι οι σχετικές κινήσεις των υπόλοιπων σταθμών ως προς τον SELA ή τον SL05, φαίνονται ανεπηρέαστες από τις κλίσεις του εδάφους όσον αφορά στην διεύθυνση της μετατόπισης. Δηλαδή, οι παρατηρούμενες μετατοπίσεις δεν γίνονται κατά μήκος της τοπικά μέγιστης κλίσης πρηνούς.

Κεφάλαιο 6ο Συμπεράσματα και προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Η ταξινόμηση και ο προσδιορισμός τόσο πολύπλοκων φαινομένων όπως είναι οι κατολισθήσεις απαιτεί αφενός τη συνεργασία επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων και αφετέρου την συνεκτίμηση διαφόρων στοιχείων, όπως αυτά που αφορούν τη γεωλογική σύσταση και δομή των πετρωμάτων, την ταχύτητα του φαινομένου, μετεωρολογικών και σεισμολογικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής κ.α.

Η παρούσα εργασία περιορίζεται στον γεωδαιτικό προσδιορισμό των μετατοπίσεων του δικτύου παρακολούθησης μιας φαινόμενης κατολίθησης με τη χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων σε χρονικό διάστημα 18 μηνών, δηλαδή εστιάζει στη μελέτη μιας μόνο παραμέτρου ελέγχου ενός τόσο πολύπλοκου φαινομένου όπως οι κατολισθήσεις.

Η ανάλυση που έγινε σχετικά με την ποιότητα επίλυσης, έδειξε ότι οι προσδιορισμοί των τεκτονικών μετατοπίσεων είναι αποδεκτοί. Οι οριζοντιογραφικές ταχύτητες υπολογίζονται από δεδομένα μετατοπίσεων που παρουσιάζουν μεγάλη συσχέτιση και έτσι το τελικό σφάλμα υπολογισμού της είναι σχετικά μικρό. Αντίθετα, υψομετρικά παρατηρείται πολύ μικρή συσχέτιση των δεδομένων, έτσι δεν μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με την κίνηση στην κατακόρυφο.

Στην περιοχή μελέτης φαίνεται να διακρίνονται δυο κύριες ζώνες όπου το φαινόμενο αναπτύσσεται με διαφορετική διεύθυνση κίνησης. Λόγω δε της παρόμοιας συμπεριφοράς των σταθμών SELA και SL05 που ανήκουν σε εντελώς διαφορετικές γεωτεκτονικές ενότητες, ενότητες που δημιουργούν έντονη τεκτονική καταπόνηση στην ευρύτερη περιοχή, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η κύρια μετακίνηση μπορεί να λαμβάνει χώρα σε μεγαλύτερα βάθη. Αυτό σαν γεγονός θα μπορούσε να δικαιολογήσει την ανάπτυξη ήπιων κατολισθητικών φαινομένων σε πιο επιφανειακά στρώματα, ειδικά σε περιοχές που υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη τέτοιων φαινομένων, όπως δηλαδή την οικιστική περιοχή του Σελλά. Τέλος, παρατηρείται μια περιοδικότητα στο φαινόμενο που πιθανά να σχετίζεται με τον υδρολογικό κύκλο του νερού.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, τα παραπάνω συμπεράσματα ενέχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας και θα πρέπει να επαληθευθούν σε βάθος χρόνου, καθώς προέκυψαν από παρατηρήσεις που έγιναν σε πολύ μικρό για την ταχύτητα του φαινομένου χρονικό διάστημα.

Ως εκ τούτου, περιοριζόμαστε στην εκτίμηση ότι πρόκειται για μια ενεργή «πολύ αργή» κατολίθηση με «κατηγορία ταχύτητας 2» ως προς Cruden & Varnes (5×10^{-7} έως 5×10^{-5} mm/sec).

Τέλος όσον αφορά τις επιλεγμένες θέσεις στο δίκτυο παρακολούθησης, προκύπτει το συμπέρασμα ότι γενικά εξυπηρετούν τη μελέτη του φαινομένου, όμως κάποιες παρουσιάζουν το μη επιθυμητό χαρακτηριστικό να βρίσκονται πολύ κοντά σε δέντρα ή κτίρια με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η λήψη του δορυφορικού σήματος ή να δημιουργούνται σφάλματα πολυανάκλασης.

6.2 Προτάσεις

Για την πλήρη κατανόηση του φαινομένου της κατολίσθησης που λαμβάνει χώρα στη περιοχή, προτείνονται οι ακόλουθες ενέργειες:

- Επέκταση μετρήσεων στο μέλλον ώστε να καταστεί δυνατό να υπολογιστούν μετατοπίσεις και τεκτονικές ταχύτητες με μεγαλύτερη βεβαιότητα,
- Πύκνωση των επιλύσεων προσδιορισμού θέσης του μόνιμου σταθμού SELA,
- Πύκνωση και επιλογή σταθερών χρονικών περιόδων μέτρησης στο δίκτυο των μη μόνιμων σταθμών όπως ανα 3μηνο,
- Να γίνονται έκτακτες μετρήσεις μετά από κάποιο έντονο καιρικό φαινόμενο που θα μπορούσε να σχετίζεται με το βαθμό εκδήλωσης της κατολίσθησης, όπως έντονη βροχόπτωση,
- Ίδρυση και συνεχή λειτουργία μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή μελέτης ώστε να καταστεί δυνατό να συσχετιστεί το φαινόμενο με τον υδρολογικό κύκλο και με θερμοκρασιακές μεταβολές,
- Συμπληρωματική ίδρυση νέων θέσεων μη μόνιμων σταθμών μετρήσεων σε θέσεις που το φαινόμενο εξελίσσεται πιο δυναμικά.
- Άμεση ίδρυση νέας θέσης μη μόνιμου σταθμού, σε περιοχή που αναμένεται να μην επηρεάζεται από το φαινόμενο ώστε να ελεγχθεί η συσχετισμένη κίνηση των σταθμών SLO5 και SELA.

Βιβλιογραφία

- Τσότσος Στεφ., 1991, Εδαφομηχανική Θεωρία Μέθοδοι Εφαρμογές.
- Παπανικολάου Δ., 1986, Η γεωλογία της Ελλάδας
- Παραδείσης Δ., 2000, Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας.
- Αναστασίου Δ., 2009, Μελέτη τεκτονικών μετατοπίσεων στο Ιόνιο με ανάλυση χρονοσειρών GPS, Διπλωματική εργασία, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου Τομέα Τοπογραφίας ΕΜΠ
- Παπανικολάου Ξ., Διερεύνηση μεθόδων συνόρθωσης μεγάλων δικτύων GPS για την παρακολούθηση μετακινήσεων – εφαρμογή στην Εύβοια, 2009, Διπλωματική εργασία, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου Τομέα Τοπογραφίας ΕΜΠ
- Φωτίου Α.- Πικριδάς Χ., 2006, GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές, εκδόσεις Ζήτη
- Varnes D. – International Association of Engineering Geology, 1984, Landslide Hazard Zonation: A Review Of Principles and Practice
- Αγατζά Μπαλοδήμου Α., 2007, Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις I
- Φωτίου Α.- Λιβιεράτος Ε., 2000, Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα
- WP/WLI, 1993, A Suggested Method For Describing The Activity Of A Landslide
- Christine Hollenstein, 2007, GPS Deformation Field and Geodynamic Implications for the Hellenic Plate Boundary Region, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich
- Drakatos G., Paradisis D., Anastasiou D., Elias P., Marinou A., Chousianitis K., Papanikolaou X., Zacharis V., Argyrakis P., Papazissi K., Makropoulos K., 2012, Monitoring slope instability using a combined GPS and InSAR approach, European Seismological Commission, 33rd General Assembly, August 19-24, Moscow, Russia.
- Yannick, FP, 2000. Present-day crustal dynamics in the Adriatic and Aegean plate boundary zone inferred from continuous GPS-measurements. PhD thesis, no. 13700, ETH, Zurich.
- Yannick, P., Kahle, H., Cocard, M., Veis, G., Felekis, S., Paradisis, D., 1998. Establishment of a continuous GPS network across the Kefhalonia Fault Zone, Ionian Islands, Greece. Tectonophysics 294, 253–260.

Παράρτημα

Πίνακας 6.1 Καρτεσιανές συντεταγμένες (ITRF2005) 1ης και 2ης περιόδου. Επίλυση Προγράμματος Περιφέρειας

Table 6.1 Cartesian Coordinates (ITRF2005) 1st and 2nd period. Municipality Solution

doy	Station	X (m)	Y (m)	Z (m)
17 of 2011	SL01	4723098.7719	1887711.5159	3836257.6481
	SL02	4723246.0822	1887719.6892	3836122.7681
	SL03	4723580.6117	1887886.5030	3835671.0061
	SL04	4723290.7371	1887655.7652	3836100.1711
	SL05	4723779.9906	1886396.1701	3835960.2577
	SL06	4723209.6846	1887831.0384	3836150.9373
	SL07	4723357.5566	1887691.0889	3836036.5912
	SL08	4723112.9458	1887539.4091	3836335.0342
	SL09	4723092.6378	1887585.2560	3836365.6032
	SELA	4723249.8554	1887568.3878	3836165.8327
	NOA1	4599641.9545	2034827.3737	3909890.5977
96 of 2011	SL01	4723098.7725	1887711.5171	3836257.6438
	SL02	4723246.0806	1887719.6869	3836122.7633
	SL03	4723580.6199	1887886.5082	3835671.0008
	SL04	4723290.7425	1887655.7681	3836100.1663
	SL05	4723779.9963	1886396.1802	3835960.2540
	SL06	4723209.6830	1887831.0384	3836150.9378
	SL07	4723357.5479	1887691.0896	3836036.5770
	SL08	4723112.9443	1887539.4120	3836335.0267
	SL09	4723092.6529	1887585.2592	3836365.6032
	SELA	4723249.8021	1887568.3614	3836165.8955
	NOA1	4599641.9554	2034827.3768	3909890.5899