

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΣΤΟΝ ΠΑΤΡΑΪΚΟ
ΚΟΛΠΟ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ GPS-on boat**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΑΝΔΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ
ΚΑΡΑΜΑΝΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
ΜΕΛΙΤΣΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ**

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία έχει εκπονηθεί από τον Σπυρίδων Ανδριανόπουλο , τον Αθανάσιο Καραμάνο και τον Παντελή Μελιτσόπουλο , αποτελεί το τελευταίο στάδιο των σπουδών μας στο τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής της σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών , του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πατρών. Η εργασία αυτή ολοκληρώθηκε υπό την συνεχή και στενή καθοδήγηση του επιβλέπον καθηγητή μας, κ Σωτήρη Λυκουργιώτη .

Βασικός στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η κατανόηση βασικών αρχών, εννοιών και μεθοδολογιών μετρήσεων και επεξεργασίας που εμπλέκονται στο πρόβλημα προσδιορισμού του γεωειδούς και τις επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας με τη μέθοδο ‘GPS on boat’. Στην περιοχή του Πατραϊκού κόλπου έγινε ο προσδιορισμός της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας με την μέθοδο GPS- on boat. Επίσης σημαντική είναι και η επιβεβαίωση της μορφής του γεωειδούς για την περιοχή μελέτης μέσω του υψομετρικού χάρτη που προέκυψε για την επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία της περιοχής. Ωστόσο ανοίγεται ένα νέο πεδίο έρευνας για το γεωειδές, κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Η ερευνά σε αυτές τις περιοχές λόγω της μικρής απόστασης που μπορούν να έχουν οι σταθεροί γεωδαιτικοί σταθμοί μπορεί να μας δώσει αποτελέσματα πολύ υψηλής ακρίβειας σε περιοχές όπου οι άλλες μέθοδοι αδυνατούν (δορυφόροι, laser profiler).

Ωστόσο γίνεται εκτενής αναφορά όσον αφορά τα συστήματα gps και την εφαρμογή που βρίσκουν σε τοπογραφικές μελέτες. Η ολοένα και αυξανόμενη τεχνολογική πρόοδος καθιστά το GPS σε ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του Μηχανικού που στα αμέσως επόμενα χρόνια και με τη βελτίωση της ακρίβειας του, αναμένεται να κυριαρχήσει στον τομέα της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας, εν μέρει αντικαθιστώντας τα παραδοσιακά όργανα που χρησιμοποιούνται.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη μελέτη έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό του γεωειδούς του πατραϊκού κόλπου με τη μέθοδο 'GPS on boat'. Η μέθοδος 'GPS on boat' είναι ένας από τους πιο σύγχρονους τρόπους προσέγγισης της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας (SST) και του γεωειδούς. Η επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία (SST) μπορεί να προσδιοριστεί με όργανα μέτρησης του ύψους-υψομετρητές (altimeter) ή με όργανα σε αεροσκάφη (Laser profiler κτλ.). Επίσης το γεωειδές προσδιορίζεται με μεθόδους όπως δορυφορική αλτιμετρία, ολοκληρωτικές, σφαιρικές αρμονικές κ.α.

Για τον προσδιορισμό τους απαραίτητη θεωρείται η χρήση συστημάτων GPS.

Το GPS είναι σχεδιασμένο να προσδιορίζει θέση σημείου στο χώρο (στατική μέθοδος, κινηματική μέθοδος). Εφαρμογές έχει στην παρακολούθηση εύκαμπτων κατασκευών, γεφυρών, ψηλών κτιρίων, πύργων και κεραιών. Στη μέθοδο 'GPS on boat' μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο σε ανοικτές θάλασσες, αλλά και σε κόλπους, κανάλια κ.τ.λ.. Αυτό αποτελεί και το πλεονέκτημα του 'GPS on boat', σε σχέση με άλλες μεθόδους προσέγγισης του γεωειδούς και της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας (SST).

Με την παρούσα εργασία καταφέραμε να έχουμε μια εκτίμηση για το γεωειδές της περιοχής μελέτης μέσω της καταγραφής της επιφανειακής θαλάσσιας στάθμης. Οι συνθήκες που επικρατούσαν καθόλη τη διάρκεια του πειράματος καθώς και η γενική συμφωνία των αποτελεσμάτων μας με παλαιότερες μελέτες μας επιτρέπουν να είμαστε αρκετά βέβαιοι για την ορθότητα της σύνδεσης που επιχειρήσαμε. . Όμως, η μη ύπαρξη «συνοριακών συνθηκών» καθιστά αδύνατη την επέκταση των συμπερασμάτων για την ακρίβεια με την οποία μετρήσαμε την επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία και στο γεωειδές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
I. ΓΕΩΕΙΔΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ	5
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.2 ΓΕΩΕΙΔΕΣ	7
II. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ	9
2.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	10
2.2 ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	12
2.3 ΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ	12
2.4 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ Stokes	13
2.5 ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ-ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	14
2.6 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΑΖΩΝ ΚΑΤΑ Helmet	15
2.7 ΜΕΘΟΔΟΣ FFT	15
2.8 ΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ FFT	17
2.9 ΔΟΡΙΦΟΡΙΚΗ ΑΛΤΙΜΕΤΡΙΑ	18
III. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ SST	19
3.1 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ-ΥΨΟΜΕΤΡΗΤΕΣ (altimeter)	20
3.2 ΟΡΓΑΝΑ ΣΕ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΙ	21
3.2.1 Υψομετρητής πίεσης	21
3.2.2 Ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων	22
3.2.2 Laser profiler	23
IV. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΣΙΘΕΣΙΑΣ (GPS)	24
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	25
4.2 ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GPS	27
4.2.1 Η κεραία του δέκτη	27
4.2.2 Ο κυρίως δέκτης	28
4.2.3 Ηλεκτρονικός υπολογισμός χειρός για την διεξαγωγή των μετρήσεων	30
4.3.1 Εφαρμογές του GPS στην παρακολούθηση εύκαμπτων κατασκευών	31
4.3.2 Εφαρμογή του GPS στην παρακολούθηση γεφυρών	31
4.3.3 Εφαρμογή του GPS στην παρακολούθηση ψηλών κτιρίων, πύργων και κεραιών	33
4.3.4 Χρήση του GPS ως σεισμογράφου	35
4.4 ΣΦΑΛΜΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GPS	36
4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ GPS	38
4.6 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ	41
4.6.1 Ιστορική αναδρομή	41

4.6.2 Τρόπος λειτουργίας δορυφόρων	42
4.6.3 Κατηγορίες δορυφόρων	43
4.6.3.1 Block I.....	43
4.6.3.2 Block II ΠΑ.....	43
4.6.3.3 Block IIR.....	43
4.6.3.4 Block IIF.....	43
4.6.3.5 Block III.....	43
4.6.4 TOPEX/Poseidon.....	44
4.6.5 JASON-1.....	45
4.7 GPS- on boat.....	46
V. ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΤΟΝ ΠΑΤΡΑΪΚΟ ΜΕ GPS	47
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	48
5.1.1 Περιγραφή του πειράματος.....	48
5.1.2 Θαλάσσιες πορείες.....	50
5.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	52
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

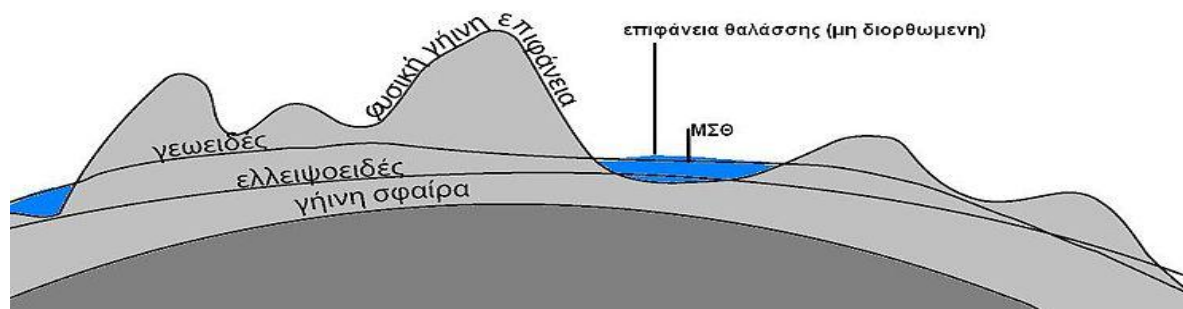
1.ΓΕΩΕΙΔΕΣ και ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Η επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία (SST) ορίζεται ως η μορφή της επιφάνειας της θάλασσας. Η επιφάνεια αυτή επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπου την κάνουν να μεταβάλλεται από την επίδραση των παλιρροιών, των ρευμάτων, της μεταβολής της πυκνότητας, του κυματισμού αλλά και οι αλλαγές του καιρού κάνουν την επιφάνεια να μεταβάλλεται συνεχώς. Ο προσδιορισμό της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας υπολογίζεται από κάθε σημείο της μέσης θαλάσσιας στάθμης όπου παίρνουμε το μέσο όρο των ωριαίων καταγραφών 19 χρόνων. Σε αυτό το διάστημα θεωρούμε πως σε αυτή την περίοδο έχει απαλειφθεί όλη η περιοδική και τυχαία κίνηση του θαλάσσιου ρεύματος έτσι βρίσκεται στην θέση ισορροπίας.

Το γεωειδές ορίζεται εκείνη η ισοδυναμική επιφάνεια της Γης η οποία ταυτίζεται (με αρκετή ακρίβεια) με τη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), αν αυτή διορθωθεί από την επίδραση των παλιρροιών, των ρευμάτων, της μεταβολής της πυκνότητας και του κυματισμού. Η επιφάνεια αυτή δεν ταυτίζεται ούτε με τη φυσική γήινη επιφάνεια (ΦΓΕ) αλλά ούτε με διάφορα μαθηματικά μοντέλα αναπαράστασής της, όπως η σφαίρα ή το ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Σύμφωνα με τον C.F. Gauss που το περιέγραψε πρώτος, είναι η μαθηματική απεικόνιση της γης, μια ομαλή αλλά ιδιαίτερα ακανόνιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί όχι στην “Φυσική Γήινη Επιφάνεια” (ΦΓΕ), αλλά σε μια επιφάνεια που μπορεί μόνο να προσεγγιστεί μέσω εκτενών βαρυντικών μετρήσεων και υπολογισμών.

Παρότι υπήρξε μία σημαντική ενασχόληση με την γεωδαισία και την γεωφυσική τα τελευταία μόλις χρόνια έχει καθοριστεί με υψηλή ακρίβεια το σχήμα της γης. Μπορεί να ορισθεί ως ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Εάν θεωρήσουμε ένα τέλειο σχήμα ελλειψοειδούς αναφοράς με $f \sim 1/300$ μας βοηθάει στον προσδιορισμό του γεωειδούς και της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας. Η επιφάνεια της ξηράς και της θάλασσας δεν ταυτίζεται με το ελλειψοειδές, σε κάποια σημεία είναι επάνω και σε άλλα κάτω από το επίπεδο.



Εικόνα 1: Μερικές επιφάνειες αναφοράς που χρησιμοποιούνται στη Γεωδαισία

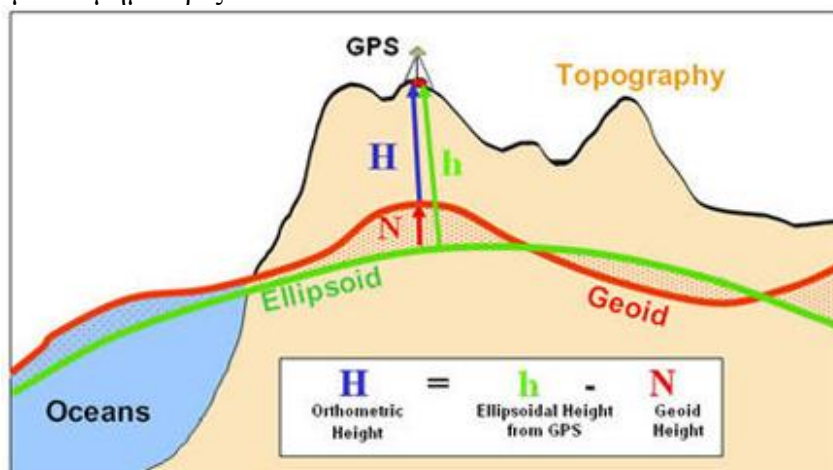
1.2 Γεωειδές

Η επιφάνεια γεωειδούς είναι ανώμαλη, αντίθετα με του ελλειψοειδούς αναφοράς που συχνά χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει τη μορφή της φυσικής γήινης επιφάνειας. Είναι όμως αρκετά ομαλότερη από τη γήινη φυσική επιφάνεια. Ενώ η ΦΓΕ έχει εξάρσεις +8.000 μ (“Everest”) και -11.000 μ (“τάφρος Mariana”), η συνολική απόκλιση Γεωειδούς - Ελλειψοειδούς είναι λιγότερο από 200 μ (-106 έως +85 μ).

Το γεωειδές θα είναι ίσο με μια διαμορφωμένη επιφάνεια αδιατάραχτη στη στάθμη της θάλασσας, επίσης με το γεωειδές θα ταυτίζονται με τη στάθμη της θάλασσας σε ένα σύνολο στενών καναλιών η' σηράγγων όπου θα διέσχιζαν της ηπειρωτικές μάζες του εδάφους.

Οι Γεωδαίτες είναι σε θέση να προσδιορίσουν τα ύψη των ηπειρωτικών σημείων επάνω από αυτή τη φανταστική, όμως φυσικά καθορισμένη επιφάνεια, με τη τεχνική της “Χωροστάθμησης”. (spirit leveling).

Πράγματι το γεωειδές είναι εξ ορισμού μια επιφάνεια στην οποία η δύναμη της βαρύτητας είναι παντού κάθετη, δηλαδή όταν κινούμαστε με το σκάφος και δεν παρατηρούμε έντονες μεταβολές του γεωειδούς η τοπική κατακόρυφος είναι πάντα κάθετη στο γεωειδές και το τοπικό εφαπτόμενο τμήμα οριζόντων σε αυτό.

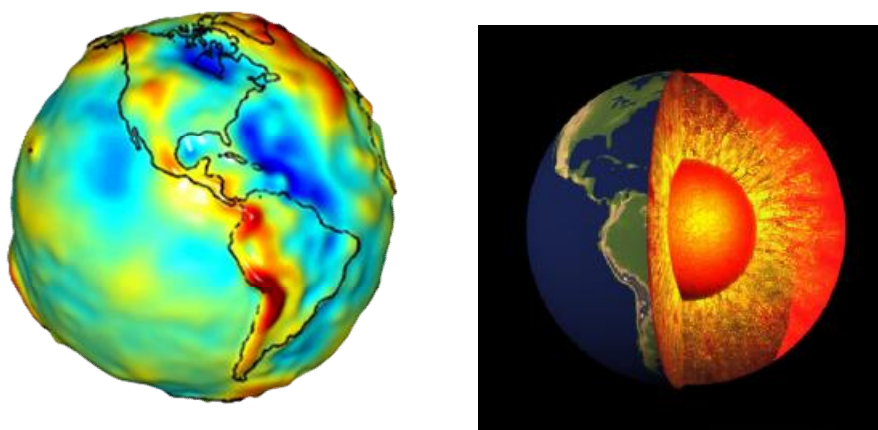


Εικόνα 2: Διάφορες προσεγγίσεις επίλυσης του γεωειδούς

Ο δέκτης GPS που φέρουμε επάνω σε ένα σκάφος μας δείχνει της μεταβολές του υψομέτρου στο γεωειδές, αυτό οφείλετε στο ότι οι δορυφόροι κινούνται σε τροχιά σε σχέση με το κέντρο βάρους της γης και μετρούν μόνο τα ύψη με αναφορά το ελλειψοειδές Αναφοράς. Σε αυτό το σύστημα GPS αναφέρεται και η εργασία μας.

Η βαρύτητα της γης δεν είναι ομοιόμορφη, το Ελλειψοειδές Αναφοράς είναι το εξιδανικευμένο μοντέλο της γης. Ακόμα και εάν η γη ήταν σφαιρικής μορφής η πυκνότητα και η μάζα θα διέφερε σε όλο τον πλανήτη λόγω της ποικιλομορφίας στην κατανομή του μάγματος, στους γήινους ορεινούς όγκους και στις τάφρους των μεγάλων θαλάσσιων βαθών.

Εάν καλύπταμε την υποτιθέμενη σφαιρική γη δεν θα είχαμε το ίδιο ύψος παντού λόγω της δύναμης της βαρύτητας η στάθμη των υδάτων θα ήταν αλλού υψηλότερη και αλλού χαμηλότερη.



Εικόνα 3: μοντέλο γεώδους και πυρήνας της γης

Το γεωειδές ταυτίζεται σε κάθε σημείο με την μέση στάθμη της θάλασσας, η οποία προκύπτει από πολυετή δεδομένα και αποκλίνει από λίγα εκατοστά έως αρκετά μέτρα από την στιγμιαία παρατήρηση της θαλάσσιας στάθμης. Η επιφάνεια της θάλασσας είναι περίπου ίση άλλο όχι ταυτιζόμενη με το γεωειδές.

2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

Το γεωειδές είναι μια έννοια γνωστή στην γεωδεσία, ο προσδιορισμός του γεωειδούς της γης γινόταν με έμμεσους τρόπους και κυρίως με μετρήσεις βαρύτητας από τόπο σε τόπο. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες εμπλούτισεις αυτής της μεθόδου ώστε να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα με δεδομένα από άλλες μετρήσεις. Με την είσοδο της αλτιμετρίας ο ακριβής προσδιορισμός του γεωειδούς, μέσω ενός μοντέλου πολύ κοντά στο πραγματικό γεωειδές, έχει γίνει αντικείμενο διεξοδικής έρευνας και μελέτης. Ο υπολογισμός του υψόμετρου σε κάθε σημείο με ακρίβεια, εξαρτάται στο πόσο κοντά βρίσκεται το μοντέλο που έχουμε ορίσει το γεωειδές με το πραγματικό. Εάν θέλουμε να βρούμε μεταξύ δύο σημείων την υψομετρική διαφορά και τα ορίσουμε βάση του μοντέλου γεωειδούς ($h_A - h_B$) τότε θα πάρουμε δύο σφάλματα με το παράδειγμα αυτό βλέπουμε την αναγκαιότητα του ακριβούς προσδιορισμού του γεωειδούς.

2.1 Ολοκληρωτικές Μέθοδοι

Ο προσδιορισμός υψομέτρων του γεωειδούς παρουσιάζει προβλήματα τόσο στις θαλάσσιες όσο και στις ηπειρωτικές εκτάσεις. Πολλαπλό πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός του αυστηρού καθορισμού της μέσης στάθμης της θάλασσας σε περιορισμένες έκτασεις είναι σχετικά εύκολος ο προσδιορισμός της επιφάνειας αυτής και να προσεγγιστεί κατά συνέπεια και το γεωειδές. Το πρόβλημα γίνεται αρκετά σύνθετο σε εφαρμογές οι οποίες αναφέρονται σε μεγαλύτερες περιοχές. Στις θαλάσσιες περιοχές ανεξάρτητα από την κλίμακα προσέγγισης του γεωειδούς πρέπει να λαμβάνονται υπόψη φαινόμενα που συνδέονται με την τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας (SST) και με τις παλίρροιες. Για ένα σημείο της επιφάνειας της θάλασσας το υψόμετρο του γεωειδούς προκύπτει κατάλληλα διορθώσεις εξαιτίας των παραπάνω φαινομένων. Τα υψόμετρα του γεωειδούς που προκύπτουν με τη μέθοδο αυτή είναι συγκρίσιμα με υψόμετρα άλλων τεχνικών όπως μετρήσεις Doppler και GPS και παρουσιάζουν διαφορές της τάξης του $\pm 1\text{m}$

Η λύσεις του προσδιορισμού ενός σύγχρονου και λεπτομερούς μοντέλου γεωειδούς διακρίνεται σε 4 γενικές κατηγορίες 1)αστροδεωδαιτικές, 2)αλτιμετρικές, 3)βαρυτημετρικές, 4)λύσεις συνδυασμού.

1. στις αστροδεωδαιτικές λύσεις η συνιστώσες τις απόκλισης της κατακόρυφου ξ είτε χρησιμοποιούνται αυτοτελώς με τις κλασικές μεθόδους υπολογισμού των υψομέτρων του γεωειδούς όπως η αστροδεωδαιτική χοροστάθμευση, είτε σε συνδυασμό με γεωδυναμικά μοντέλα με τους ίδιους ή περισσότερο προηγμένους αλγορίθμους.
2. Στις Αλτιμετρικές λύσεις ο προσδιορισμός των υψομέτρων του γεωειδούς γίνεται με βάση τα δεδομένα της δορυφορικής αλτιμετρίας. Υπολογισμοί μέχρι σήμερα έχουν γίνει με τους δορυφόρους GEOS3, SEASAT και GEOSAT.
3. Στις Βαρυτημετρικές λύσεις τα διαφορετικής ικανότητας βαρυμετρικά στοιχεία χρησιμοποιούνται είτε ανεξάρτητα, είτε σε συνδυασμό με σφαιρικές αρμονικές.
4. Στις λύσεις συνδυασμού χρησιμοποιούνται πληροφορίες από περισσότερες από μια πηγές ανεξάρτητα εάν αυτές είναι επίγειες ή δορυφορικές. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στις λύσεις αυτές είναι η σημειακή προσαρμογή λόγω της ευελιξίας της στο να συνδυάζει ετερογενή δεδομένα.

Οι αλγόριθμοι μέσω των οποίων είναι δυνατών να γίνει ο προσδιορισμός των υψομέτρων του γεωειδούς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

1. Στους αλγόριθμους που χρησιμοποιούν ολοκληρωματικές εκφράσεις.
2. Στους αλγόριθμους των διάφορων προσεγγίσεων του διαταραχτικού δυναμικού ανάμεσα στους οποίους στις περισσότερες εφαρμογές παρουσιάζει ο αλγόριθμος της σημειακής προσαρμογής

Οι ακρίβεια προσδιορισμού μίας λύσεις για το γεωειδές με τους παραπάνω αλγόριθμους είναι της τάξης ± 1 m. Οι ακρίβεια της λύσεις για το γεωειδές είναι ρεαλιστική όταν η λύση όταν αυτή συγκριθεί με άλλες ομολογουμένως ποίο αξιόπιστες και με διαφορετική τελείως προέλευση λύσεις.

Τέτοιες εξωτερικές πηγές συγκρίσεις είναι για την θάλασσα οι αλτιμετρικές λύσεις για την ξηρά τα υψόμετρα του γεωειδούς μπορεί να προκύψουν ως διαφορές ανάμεσα σε υψόμετρα από το ελλειψοειδές και αντίστοιχα ορθομετρικά υψόμετρα με σύγχρονες τεχνικές προσδιορισμού όπως GPS και τα ορθομετρικά υψόμετρα με γεωμετρική χωροστάθμηση.

2.2 Στοχαστικές Μέθοδοι

Η πιο σημαντική μέθοδος είναι της σημειακής προσαρμογής με αυτή δεν προσδιορίζουμε το ίδιο το διαταρακτικό δυναμικό αλλά διακριτές τιμές μεγεθών σχετιζόμενες με αυτό. Η μέθοδος της σημειακής προσαρμογής είναι μια μέθοδος λύσης ενός προβλήματος συννοριακών τιμών όπου το περιορισμένο πλήθος των δεδομένων θέτει το πρόβλημα της επιλογής μέσα από άπειρες δυνατές λύσεις. Όταν προσδιορίζουμε υψόμετρα του γεωειδούς με την μέθοδο σημειακής προσαρμογής τότε με αυτή προσδιορίζουμε το γεωειδές.

2.3 Σφαιρικές αρμονικές

Της χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό του γεωειδούς. Το καλύτερο σύγχρονο σύνολο σφαιρικών αρμονικών σφαιρικών συντελεστών είναι το EGM96 (πρότυπο γήινης βαρύτητας 1996). Η μαθηματική μορφή αυτού του προτύπου φαίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$V = \frac{GM}{r} \left(1 + \sum_{n=2}^{n_{max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\sin \phi) [\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda] \right)$$

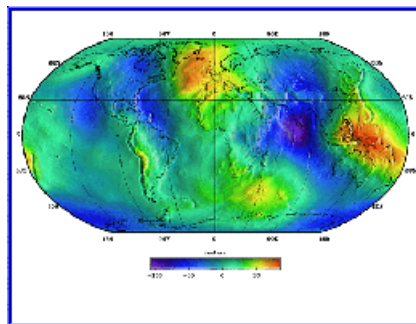
όπου: ϕ και λ είναι το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος.

\bar{P}_{nm} είναι οι πλήρως ομαλοποιημένες εξισώσεις Legendre του βαθμού n και της σειράς m .

\bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} είναι ο συντελεστής του προτύπου.

Η ανωτέρω εξίσωση υπολογίζει πιθανολογικά τη γήινη βαρύτητα V και όχι το ίδιο το γεωειδές που είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Ο βαθμός μεταβολής αυτής της πιθανότητας παρέχει και ένα πρότυπο βαρύτητας επιτάχυνσης. Το μοντέλο EGM96 περιγράφει τις λεπτομέρειες στο σφαιρικό γεωειδές ανά 55 χλμ. παρέχοντας ένα πλήρες σύνολο συντελεστών.

$$\sum_{k=2}^n 2k + 1 = n(n + 1) + n - 3 = 130,317$$



Εικόνα 4: Το μοντέλο EGM96

2.4 Ολοκληρωματική μέθοδος Stokes

Εάν θεωρήσουμε το γεωειδές μία σφαίρα μπορούμε να προσεγγίσουμε μία απλοποιημένη λύση με την βοήθεια του ολοκληρώμα του Stokes σε συνδιασμό με το θεώρημα Bruns επιτρέπει τον προσδιορισμό του γεωειδούς από μετρήσεις βαρύτητας ανοιγμένες στην επιφάνεια του και επίσης έχουμε τη συσχέτιση δυναμικών και γεωμετρικών στοιχείων του γήινου πεδίου βαρύτητας.

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} \Delta g S(\psi) d\sigma$$

όπου: N= Υψόμετρο ή αποχή του γεωειδούς, R=Μέση ακτίνα της γης, γ = Τιμή της κανονικής βαρύτητας, Δg = Ανωμαλία Βαρύτητας, S(ψ)= Η συνάρτηση Stokes.

Για να ισχύει το ολοκλήρωμα του Stokes παίρνουμε ορισμένες παραδοχές:

1. Το γεωειδές είναι μία ισοδυναμική επιφάνεια και το ελλειψοειδές μία σφαιροδυναμική επιφάνεια στην οποία $W_0 = U_0$.
2. Η ανωμαλίες βαρύτητας σε πρώτη φάση θεωρούνται ανοιγμένα στην επιφάνεια ενός σφαιρικού γεωειδούς, του οποίου ο προσδιορισμός επιτυγχάνεται σε δεύτερη φάση από το ολοκλήρωμα του Stokes.
3. η μάζα του ΕΕΠ είναι ίση με την γήινη μάζα.
4. Το κέντρο του ΕΕΠ συμπίπτει με το κέντρο μάζας της γης.
5. δεν υπάρχουν μάζες έξω από το γεωειδές. Η αφαίρεση τους έχει προηγηθεί αναλυτικά με την διαδικασία αναγωγής των επιφανειακών δεδομένων της βαρύτητας στην επιφάνεια του γεωειδούς.
6. Γη και ΕΕΠ περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα W. Η αποχή (υψόμετρο) του γεωειδούς δίνεται σε σχέση με ένα ΕΕΠ, του οποίου η επιπλάτιση είναι ίδια με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε για της ανάγωγες των ανωμαλιών της βαρύτητας.

Ο υπολογισμός υψομέτρων του γεωειδούς με την ολοκληρωματική μέθοδο και την χρησιμοποίηση γεωδυναμικών μοντέλων και μέσω των τιμών της ανωμαλίας της βαρύτητας επηρεάζεται από μία σειρά σφαλμάτων όπως είναι:

1. Σφάλμα λόγο του μαθηματικού μοντέλου (λόγο σφαιρικής προσέγγισης).
2. Επίδραση της συνιστώσας μηδενικής τάξης.
3. Σφάλμα λόγο της αριθμητικής ολοκλήρωσης.
4. Σφάλματα των συντελεστών των διάφορων γεωδυναμικών μοντέλων.
5. Σφάλματα των τιμών της ανωμαλίας της βαρύτητας.

2.5 Τεχνική αφαίρεσης-επαναφοράς

Η τεχνική αφαίρεσης-επαναφοράς ‘remove-restore’ βασίζεται στην αφαίρεση της συνεισφοράς του γεωδυναμικού μοντέλου από τα βαρυμετρικά δεδομένα και την επαναφορά της στον υπολογισμό των υψομέτρων του γεωειδούς. Οι βασικές σχέσεις συνδυασμού του γεωδαιτικού μοντέλου, των βαρυμετρικών δεδομένων και των υψομετρικών δεδομένων σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους Digital Terrain Model (DTM) είναι:

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_H$$

$$\Delta g = \Delta g_{FA} - \Delta g_{GM} + \Delta g_H$$

όπου: N_{GM} = Υψόμετρο του γεωειδούς από γεωδυναμικό μοντέλο.

$N_{\Delta g}$ = Υψόμετρο του γεωειδούς από ανωμαλίες βαρύτητας.

N_H = Έμμεση επίδραση στα υψόμετρα του γεωειδούς.

Δg_{FA} = Ανωμαλία βαρύτητας ελευθέρου αέρα.

Δg_{GM} = Ανωμαλία βαρύτητας από γεωδυναμικό μοντέλο.

Δg_H = Διόρθωση λόγω αναγλύψου.

Όσον αφορά το μέρος του γεωδυναμικού μοντέλου, δηλαδή τα N_{GM} και Δg_{GM} , αυτά υπολογίζονται από αναπτύγματα σφαιρικών αρμονικών του πεδίου βαρύτητας. Οι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται είναι:

$$N_{GM}(R, \theta, \lambda) = R \left[\sum_{n=2}^{360} \sum_{m=0}^n \left(\bar{C}_{nm}^* \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda \right) \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \right]$$

$$\Delta g_{GM}(R, \theta, \lambda) = G \left[\sum_{n=2}^{360} (n-1) \sum_{m=0}^n \left(\bar{C}_{nm}^* \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda \right) \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \right]$$

Όπου \bar{C}_{nm}^* , \bar{S}_{nm} είναι οι πλήρως κανονικοποιημένοι συντελεστές του διαταρακτικού δυναμικού, \bar{P}_{nm} είναι οι πλήρως κανονικοποιημένες συναρτήσεις του Legendre, 360 είναι ο μέγιστος βαθμός ανάπτυξης του γεωδυναμικού μοντέλου, R η μέση ακτίνα της Γης ($R=6378136.3m$), $\theta=90-\varphi$ και λ είναι οι γεωκεντρικές συντεταγμένες και G μία μέση τιμή της κανονικής βαρύτητας.

Από τη στιγμή που, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο τύπος του Stokes ισχύει, όταν οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας είναι ανοιγμένες στο γεωειδές, όλες οι προεξέχουσες γήινες μάζες πρέπει να συμπειστούν με μαθηματικές μεθόδους και τα αποτελέσματα από την παραπάνω διαδικασία να εισαχθούν στους τύπους μέσω διορθωτικών τοπογραφικών όρων.

2.6 Μέθοδος μαζών κατά Helmet

Ο παράγοντας Δg_H ονομάζεται ‘Διόρθωση λόγω Ανάγλυφου’ με την χρήση καρτεσιανών πρισμάτων έχουμε τον τύπο:

$$\Delta g_H = \frac{1}{2} k r \iint_E \frac{(H - H_p)^2}{l^3} dx dy$$

Η διόρθωση λόγω ανάγλυφου μας δίνει πληροφορίες για της υψηλές συχνότητες του πεδίου βαρύτητας και εξετάζει τις τοπογραφικές ιδιαιτερότητες της περιοχής. Ο όρος N_H είναι η έμμεση επίδραση της βαρύτητας στα υψόμετρα N του γεωειδούς και δίνεται από τον τύπο:

$$N_H = -\frac{p k r}{G} H_p^2 - \frac{k r}{6G} \iint_E \frac{H^3 - H_p^3}{l^3} dx dy$$

2.7 Μέθοδος FFT

Ο αλγόριθμος FFT χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του γεωειδούς σε τοπική κλίμακα και είναι σημαντικός για την επιτάχυνση των εξαιρετικά περίπλοκων υπολογισμών. Η χρήση του FFT θεωρείται απαραίτητη για τον ταχύ υπολογισμό των διορθώσεων Δg_H λόγω ανάγλυφου (terrain correction), της έμμεσης επίδρασης της βαρύτητας στο γεωειδές και τον προσδιορισμό του ολοκληρωματικού τύπου του Stokes.

Η διόρθωση λόγω του ανάγλυφου για τον προσδιορισμό του γεωειδούς δίνεται από τον ολοκληρωματικό τύπο :

$$\Delta g(X_p, Y_p) = K r \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} a_n \iint_s \frac{(H - H_p)^{2n}}{l^{2n+1}} dS$$

Ο υπολογισμός των διορθώσεων λόγω ανάγλυφου Δg_H γίνονται σε ένα πυκνό πλέγμα (1 km*1km), με τεχνικές παρεμβολής υπολογίζεται οι διορθώσεις του ανάγλυφου στα σημεία του πλέγματος. Βάζοντας στον παραπάνω τύπο $n=3$ παίρνουμε τους όρους τρίτης τάξης των διορθώσεων λόγω ανάγλυφου

$$\Delta g = \frac{1}{2} k r \iint_s \frac{(\Delta H)^2}{l^3} dx dy - \frac{3}{8} k r \iint_s \frac{(\Delta H)^4}{l^5} dx dy + \frac{15}{16} k r \iint_s \frac{(\Delta H)^6}{l^7} dx dy$$

Εάν θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνική των πρισμάτων (mass- prism representation) για τον υπολογισμό των διορθώσεων ανάγλυφου.

Οι τύποι αυτής της μεθόδου είναι:

$$\Delta g_{H1}(i, j) = \frac{k r}{2} \left[(H_{ij}^2 - a^2)(H_{nm}^0 * r_1) - 2H_{ij}(H_{nm} * r_1) + (H_{nm}^2 * r_1) \right]$$

$$\Delta g_{H_2}(i, j) = \frac{kr}{8} \left[(H_{ij}^2 - a^2)^2 (H_{nm}^0 * r_2) - 4H_{ij} (H_{nm}^2 - a^2) (H_{nm} * r_2) + (6H_{ij}^2 - 2a^2) (H_{nm}^2 * r_2) - 4H_{ij} (H_{nm}^3 * r_2) + (H_{nm}^4 * r_2) \right]$$

$$\Delta g_B(i, j) = \frac{kr}{48} \left[(H_{ij}^2 - a^2)^3 (H_{nm}^0 * r_3) - 6H_{ij} (H_{nm}^2 - a^2) (H_{nm} * r_3) + 3(H_{ij}^2 - a^2) (5H_{ij}^2 - a^2) (H_{nm}^2 * r_3) - (20H_{ij}^2 - 12a^2) H_{ij} (H_{nm}^3 * r_3) + (15H_{ij}^2 - 3a^2) (H_{nm}^4 * r_3) - 6H_{ij} (H_{nm}^5 * r_3) + (H_{nm}^6 * r_3) \right]$$

όπου: i, j είναι τα σημεία υπολογισμού, n, m τα σημεία «εισαγωγής» δεδομένων και a η τιμή συνήθως ίση με την τυπική απόκλιση των υψομέτρων διαιρεμένη με το $1,412=2^{1/2}$. Η τιμή αυτή εξασφαλίζει και τη μέγιστη ταχύτητα συγκλίσης των σειρών. Με την παραδοχή της σταθερής πυκνότητας θα έχουμε για τη τελική διόρθωση λόγω ανάγλυφου:

$$\Delta g_H = \Delta g_{H_1} + \Delta g_{H_2} + \Delta g_{H_3}$$

Όταν η πυκνότητα θεωρείται μεταβλητή και χρησιμοποιούνται ορθά πρίσματα οι τύποι της διορθωσής λόγω ανάγλυφου γίνονται:

$$\Delta g'_{H_1}(i, j) = \frac{k}{2} \left[(H_{ij}^2 - a^2) (\{rH_{nm}^0\} * r_1) - 2H_{ij} (\{rH_{nm}\} * r_1) + (\{rH_{nm}^2\} * r_1) \right]$$

$$\Delta g'_{H_2}(i, j) = -\frac{k}{8} \left[(H_{ij}^2 - a^2)^2 (\{rH_{nm}^0\} * r_2) - 4H_{ij} (\{rH_{ij}^2\} - a^2) (\{rH_{nm}\} * r) + (6H_{ij}^2 - 2a^2) (\{rH_{nm}^2\} * r_2) - 4H_{ij} (\{rH_{nm}^3\} * r_2) + (\{rH_{nm}^4\} * r_2) \right]$$

$$\Delta g'_{H_3}(i, j) = -\frac{k}{8} \left[(H_{ij}^2 - a^2)^3 (\{rH_{nm}^0\} * r_3) - 4H_{ij} (\{rH_{ij}^2\} - a^2) (\{rH_{nm}\} * r) + (6H_{ij}^2 - 2a^2) (\{rH_{nm}^2\} * r_2) - 4H_{ij} (\{rH_{nm}^3\} * r_2) + (\{rH_{nm}^4\} * r_2) \right]$$

Η τελική διόρθωση θα είναι:

$$\Delta g'_H = \Delta g'_{H_1} + \Delta g'_{H_2} + \Delta g'_{H_3}$$

2.8 Σφαιρικός αλγόριθμος FFT

Η απαίτηση για ακριβή προσδιορισμό του γεωειδούς για μεγάλης και μικρής κλίμακας εφαρμογές παρουσιάστηκε η ανάγκη τροποποίησης των αλγορίθμων της επίπεδης προσέγγισης ώστε να ληφθεί υπόψη και η σφαιρικότητα της πραγματικής επιφάνειας της Γης. Με την βοήθεια του σφαιρικού αλγορίθμου μπορεί να υπολογιστεί το γεωειδές σε μεγαλύτερες εκτάσεις, χωρίς την ανάγκη παραδοχών και σφαλμάτων που εισάγει η προσέγγιση. Ο ολοκληρωματικός τύπος του Stokes στην σφαίρα μετασχηματίζεται πρώτα σε συνελκτική μορφή και στη συνέχεια, επιλύεται μέσω FFT χρησιμοποιώντας το γεωδαιτικό γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Ο τύπος του Stokes γίνεται:

$$N(\varphi_p, \lambda_p) = \frac{R}{4\pi\gamma} \int \int_{\lambda_Q, \varphi_Q} \Delta g(\varphi_Q, \lambda_Q) S(\psi_{PQ}) \cos \varphi_Q d\varphi_Q d\lambda_Q$$

όπου γ η κανονική βαρύτητα και $S(\psi)$ η συνάρτηση του Stokes. Η σφαιρική απόσταση δίνεται από τον τύπο της σφαιρικής τριγωνομετρίας:

$$\sin^2 \frac{\psi_{PQ}}{2} = \sin^2 \frac{\Delta\varphi_{PQ}}{2} + \sin^2 \frac{\Delta\lambda_{PQ}}{2} \cos \varphi_P \cos \varphi_Q$$

Προσεγγίζοντας τον τελευταίο παράγοντα της σχέσης:

$$\cos \varphi_P \cos \varphi_Q \approx \cos^2 \varphi_m - \sin^2 \frac{\Delta\varphi_{PQ}}{2}$$

Η αποχή του γεωειδούς δίνεται τώρα από μία εξίσωση της μορφής:

$$N = (\Delta g \cos \varphi) * S = F^{-1} \{ F(\Delta g \cos \varphi) F(S) \}$$

2.9 Δορυφορική Αλτιμετρία

Η δορυφορική αλτιμετρία αφορά την μέτρηση της απόστασης ενός δορυφόρου από την στάθμη της θάλασσας με χρήση ενός RADAR ή LASER αλτιμέτρου .Η απόσταση αυτή συνδυασμένη με τον προσδιορισμό της θέσης του δορυφόρου με μεγάλη ακρίβεια (GPS,DORIS,SLR) . Με τα δεδομένα της δορυφορικής αλτιμετρίας είναι εφικτή η μελέτη , παρακολούθηση και μέτρηση:

1. της κίνησης των πάγων
2. των μεταβολών της Μέσης Στάθμης θάλασσας (ΜΣΘ)
3. της ταχύτητας ανέμων
4. των υψών των κυμάτων
5. των μεταβολών της θερμοκρασίας
6. της ωκεάνιας κυκλοφορίας.

Το αλτίμετρο του δορυφόρου εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς σε πολύ μεγάλη συχνότητα οι οποίοι ανακλώνται στην επιφάνεια της θάλασσας και μέρος της ισχύς τους επιστρέφει στο δορυφόρο.

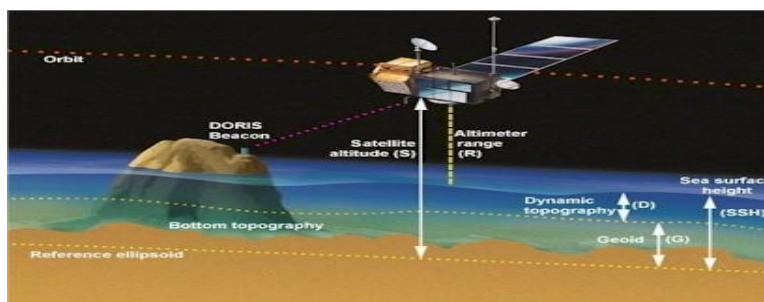
Οι αλτιμετρικές παρατηρήσεις επηρεάζονται από μια σειρά σφαλμάτων και φαινομένων:

1. σφάλματα γεωμετρίας εκπομπής / στοχεύσεις παλμού
2. ατμοσφαιρικές διορθώσεις (τροποσφαιρικές ιονοσφαιρικές)
3. δυναμικά φαινόμενα που επηρεάζουν την στάθμη της θάλασσας (παλίρροια ,ατμοσφαιρική πίεση).

Το γεωειδές όπως έχουμε πει παραπάνω προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό από τη Μέση στάθμη της θάλασσας άρα προκύπτει ο τύπος :

$$N = \text{ΜΣΘ} - S_c$$

Όπου S_c η αποχή αυτή αντιστοιχεί στη μέση δυναμική θαλάσσια τοπογραφία.



Εικόνα 5: Διαταξη συστηματος δορυφορικης αλτιμετριας

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ SST

Τα παλαιότερα χρόνια όλοι οι άνθρωποι γνώριζαν πως η στάθμη της θάλασσας δεν είναι σε όλα τα μέρη η ίδια,χωρίς όμως να έχει γίνει εφικτός ο προσδιορισμός αυτής της μεταβολής. Μόλις την τελευταία δεκαετία η επιστήμη έχει καταφέρει να προσδιορίσει την επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία.Αυτό επετεύχθη χάρη στην ανακάλυψη συσκευών όπως το GPS, TOPEX/Poseidon κ.τ.λ.Βέβαια,ακριβή αποτελέσματα έχουμε μόνο στις μεγάλες θάλασσες.Σε μικρές θάλασσες και παράκτιες περιοχές,οι μελέτες δεν βρίσκονται σε τόσο πρώιμο στάδιο.Η μέτρηση της SST,γίνεται από αέρος,με κυριότερα όργανα μέτρησης τους ύψομετρητες.

3.1 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ - ΥΨΟΜΕΤΡΗΤΕΣ (altimeter)

Οι υψομετρητές είναι διάφορα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ύψους ενός αντικειμένου,πάνω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο.Η μέτρηση του ύψους σχετίζεται με τον όρο βαθυμετρία,δηλαδή τη μέτρηση του υποβρύχιου βάθους.Παραδοσιακά η μέτρηση του υψομέτρου βρίσκεται με τη χρήση ειδικών αεροσκαφών,τα οποία μετρούν την πίεση του αέρα. Η πίεση του αέρα μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου - περίπου ένα millibar (0,03 ίντσες του υδραργύρου) ανά 27 πόδια (8,23 μ) κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας.Έτσι καταφέρνουν να προσδιορίσουν και το υψόμετρο.Οι δύο βασικοί τύποι υψομετρητών είναι ο υψομετρητής πίεσης ή βαρομετρικός υψομετρητής ο οποίος προσεγγίζει το υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας μέσω της μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης,και ο υψομετρητής ραντάρ ο οποίος μετρά το απόλυτο υψόμετρο (απόσταση πάνω από ξηρά ή θάλασσα) με βάση τον χρόνο που απαιτείται για ένα σήμα ραδιοκυμάτων να ταξιδέψει από ένα αεροπλάνο, ένα μετεωρολογικό μπαλόνι ή ένα διαστημόπλοιο,στο έδαφος και πάλι πίσω.

3.2 ΟΡΓΑΝΑ ΣΕ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

3.2.1 Υψομετρητής πίεσης

Όταν ένα βαρόμετρο είναι εφοδιασμένο με γραμμική βαθμονόμηση, έτσι ώστε να δείχνει το υψόμετρο, το όργανο ονομάζεται υψομετρητής πίεσης, ή βαρομετρικός υψομετρητής. Το όργανο αυτό χρησιμοποιείται από αεροσκάφη και παρέχει την απόσταση του αεροσκάφους επάνω από ένα προκαθορισμένο στοιχείο, το οποίο συνήθως είναι η στάθμη της θάλασσας. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη λειτουργία του υψομετρητή πίεσης είναι η παρακάτω

$$z = c T \log(P_0/P),$$

Όπου c είναι μια σταθερά, T η απόλυτη θερμοκρασία, P είναι η πίεση στο υψόμετρο z , και P_0 είναι η πίεση στο επίπεδο της θάλασσας. Η σταθερά c εξαρτάται από την επιτάχυνση της βαρύτητας και τη μοριακή μάζα του αέρα.

Ο πρώτος βαρομετρικός υψομετρητής σχεδιάστηκε από τον Paul Kollsman και δοκιμάστηκε για πρώτη φορά το 1929. Ο Kollsman ήταν αποφασισμένος να βρει έναν τρόπο για να πετούν τα αεροπλάνα τη νύχτα ή σε χαμηλή ορατότητα. Ο βαρομετρικός υψομετρητής το κατέστη δυνατό.



Εικόνα 6: Αλτίμετρο αεροσκαφους και ενδιξεις του

Η λειτουργία του έχει ως βάση τη μέτρηση της πίεσης του αέρα συσχετίζοντάς τη με ένα συγκεκριμένο υψόμετρο. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, η πίεση του αέρα μειώνεται -περίπου 100 millibars ανά 800 μέτρα ή μία ίντσα στήλης υδραργύρου ανά 1000 μέτρα κοντά στο επίπεδο της θάλασσας, ενώ σε χαμηλά αυξάνεται. Ένας βαρομετρικός υψομετρητής μέτρα την πίεση του αέρα σαν ένα μετεωρολογικό βαρόμετρο και μεταφράζει στη συνέχεια την ανάγνωση σε μια μέτρηση του υψομέτρου. Ουσιαστικά αυτό που κάνει, είναι να αφαιρεί την πραγματική βαρομετρική πίεση στη θέση του από την τρέχουσα πίεση της στάθμης της θάλασσας και να εκφράζει τη διαφορά αυτή ως υψόμετρο. Ο παρακάτω τύπος απεικονίζει έναν υπολογισμό, ο οποίος ενσωματώνεται στο μηχανικό μηχανισμό προσδιορισμού του υψομέτρου.

Υψόμετρο = (1.000 πόδια / σε Hg) x (Kollsman - Πραγματικό Βαρομετρικό) ή
 $A = 1.000 \times (K - B)$

Ο τύπος αυτός δεν είναι εξαιρετικά ακριβής, επειδή ο πολλαπλασιαστής- (1.000 πόδια ανά ίντσα του υδραργύρου)-είναι κατά προσέγγιση.

Ωστόσο ο τύπος υπολογισμού που χρησιμοποιεί ένας υψομετρητής για ύψη έως 11.000 μ είναι:

$$h = \frac{(1 - (P/P_{ref})^{0.19026}) \times 288.15}{0.00198122}$$

,όπου h είναι το ύψος σε πόδια, P η στατική πίεση και P_{ref} η πίεση αναφοράς.

Επειδή η ατμοσφαιρική πίεση μετράται σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας, ένας υψομετρητής πίεσης, πρέπει να ρυθμίζεται με ένα ειδικό κουμπί, προκειμένου να αντισταθμίσει τις μικρές διακυμάνσεις στη βαρομετρική πίεση που προκαλείται από τις αλλαγές στις τοπικές καιρικές συνθήκες. Επίσης πρέπει να βαθμονομείται για να προσαρμόζεται σε τυχόν πιέσεις από τοπικούς ανέμους για να λάβει την πιο ακριβή ανάγνωση.

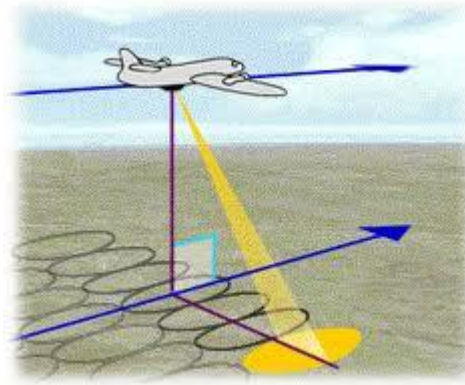
Οι μετρήσεις της πίεσης στα αεροσκάφη λαμβάνονται από μια «στατική θύρα», η οποία βρίσκεται σε μια διέξοδο στην άτρακτο και προστατεύεται από την παρέμβαση της ταχύτητας και του ανέμου.

Παλαιότερα τα αεροσκάφη χρησιμοποιούσαν ένα απλό μεταλλικό βαρόμετρο στο οποίο η βελόνα πραγματοποιούσε λιγότερο από μια περιστροφή γύρω από το μηδέν. Αντιθέτως, τα σύγχρονα αεροσκάφη χρησιμοποιούν ευαίσθητους υψομετρητές, στους οποίους η βελόνα διαγράφει πολύ περισσότερες περιστροφές. Επίσης διαθέτουν και δευτερεύουσες βελόνες οι οποίες καταγράφουν τον αριθμό των περιστροφών.

Στην ορολογία της αεροπορείας, η περιφερειακή ή η τοπική πίεση του αέρα στο μέσο επίπεδο της θάλασσας (MSL), καλείται QNH ή «υψομέτρηση υποβάθρου». Η πίεση που θα λάβει ο υψομετρητής για τον υπολογισμό του ύψους ενός δεδομένου σημείου επάνω από το έδαφος, ονομάζεται QFE.

3.2.2 Ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων

Το Ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων μετρά το υψόμετρο πιο άμεσα σε σχέση με άλλες συσκευές. Αυτό που κάνει είναι να χρησιμοποιεί το χρόνο που απαιτείται για την αντανάκλαση ενός ραδιοσήματος από την επιφάνεια πίσω στο αεροσκάφος. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται από τα εμπορικά και τα στρατιωτικά αεροσκάφη, ειδικά σε συνθήκες μικρής ορατότητας, για να μετράει το ύψος από το έδαφος κατά την προσγείωση. Μια άλλη χρήση του Ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων είναι να προειδοποιεί τον πιλότο όταν το αεροσκάφος πετάει πολύ χαμηλά ή όταν υπάρχει αυξημένη διόγκωση του εδάφους μπροστά. Εξάλλου η συγκεκριμένη τεχνολογία βοηθάει τα μαχητικά αεροσκάφη να πετούν σε πολύ χαμηλό ύψος, ώστε να αποφεύγουν τον εντοπισμό τους από εχθρικά ραντάρ και τη στόχευσή τους από αντιαεροπορικά πυροβόλα. Τα ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την ηλικία του συστήματος.



Εικόνα 7.Ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων

3.2.3 laser profiler

Μια ακόμα,αλλά πιο σύγχρονη μέθοδος για τον προσδιορισμό της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας,είναι το laser profiler το οποίο τοποθετείται σε αεροσκάφη και σε συνδιασμό με τη συλλογή και άλλων αποτελεσμάτων (π.χ. από παλιρροιογράφους) ,παρέχει ακρίβεια 3-5 cm. Το σύστημα διαθέτει έναν επιταχυντή τριών (3) βαθμών ελευθερίας και ένα σύστημα GPS που προσδιορίζει ακριβώς τη θέση του αεροσκάφους. Ωστόσο πολλοί είναι οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ακρίβεια αυτή του laser profiler.

4. Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας (GPS)

4.1 Εισαγωγή

Το NAVSTAR/G.P.S. (Navigation Satellite Timing And Ranging – Global Positioning System) ή απλά GPS είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (συντεταγμένες), χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης ή και κάτω από αυτήν, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες . Το σύστημα σχεδιάστηκε στη δεκαετία του 1970, αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1980 και βρίσκεται συνεχώς υπό τον έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ (Department of Defence). Αρχικά σχεδιάστηκε για την κάλυψη των αναγκών της ναυσιπλοΐας και για στρατιωτικούς σκοπούς με στόχο να είναι δυνατός ο προσδιορισμός θέσης ενός αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια $\pm 10 - 15$ m. Γρήγορα έγινε αντιληπτή η δυνατότητα χρήσης του συστήματος και για την κάλυψη πολιτικών αναγκών πλοήγησης. Η πολιτική χρήση του GPS, όπως είναι οι τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας ή οι χαμηλότερης ακρίβειας εφαρμογές GIS, οι εφαρμογές πλοήγησης και διαχείρισης στόλου οχημάτων, έγινε δυνατή ύστερα από απόφαση των ΗΠΑ (1983, με αφορμή κάποιο αεροπορικό δυστύχημα), σχεδόν από τα πρώτα βήματα, με πρόβλεψη για περαιτέρω βελτίωση.

Το GPS ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων GNSS (Global Navigation Satellite Systems), δηλαδή των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, όπως είναι το παρόμοιο Ρωσικό σύστημα GLONASS (Global Navigation Satellite Systems) και το πολλά υποσχόμενο καθαρά πολιτικό Ευρωπαϊκό σύστημα GALILEO. Μέχρι το 2010, το Glonass είχε επιτύχει το 100% της κάλυψης του Ρωσικού εδάφους. Τον Φεβρουάριο του 2011, ο αστερισμός αποτελείται από 22 επιχειρησιακούς δορυφόρους, μικρότερη από τους 24 δορυφόρους που απαιτούνται για να παρέχουν συνεχή παγκόσμια κάλυψη, και αναμένεται να ολοκληρωθεί κατά τη διάρκεια του 2011. Οι δορυφόροι GLONASS έχουν υποστεί αρκετές αναβαθμίσεις, με την τελευταία έκδοση του GLONASS-K. Σήμερα η Ευρωπαϊκή Ένωση προχωρεί στην ανάπτυξη του πρώτου πολιτικού συστήματος προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης, του GALILEO που αναμένεται να αλλάξει σημαντικά την υπάρχουσα κατάσταση και να άρει τις όποιες "στρατιωτικές δεσμεύσεις" των άλλων συστημάτων.

Η εποχή της δορυφορικής και διαστημικής γεωδαισίας αρχίζει ουσιαστικά στη δεκαετία του 1960. Τα τελευταία 15 περίπου χρόνια, το GPS φαίνεται να έχει επικρατήσει στο μεγαλύτερο μέρος των γεωδαιτικών και τοπογραφικών εφαρμογών και όχι μόνο.

Οι τοπογραφικές και υδρογραφικές αποτυπώσεις, οι απλοί τριγωνισμοί και τα δίκτυα πύκνωσης, τα εθνικά, ηπειρωτικά και παγκόσμια γεωδαιτικά δίκτυα, οι συνδέσεις διαφορετικών συστημάτων αναφοράς και γεωδαιτικών datum, οι φωτογραμμετρικές και κτηματογραφικές αποτυπώσεις, οι χαράξεις στην οδοποιία και τα τεχνικά έργα, η μελέτη μικρομετακινήσεων κρίσιμων τεχνικών έργων καθώς επίσης και οι γεωδυναμικές εφαρμογές , όπως είναι η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων του φλοιού της γης, αποτελούν μερικές χαρακτηριστικές εφαρμογές του GPS στα αντικείμενα κυρίως των επιστημών του Τοπογράφου Μηχανικού και άλλων Μηχανικών που σχετίζονται με αυτά ή παρόμοια αντικείμενα.

Εκτός από τις παραπάνω εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, όπου η απαίτηση σε ακρίβεια κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά του μέτρου έως μερικά εκατοστά, αρκετές ακόμα εφαρμογές με απαιτήσεις χαμηλότερης ακρίβειας, από μερικές δεκάδες εκατοστά έως και μερικά μέτρα,

καλύπτονται από τις δυνατότητες του GPS, π.χ. η ενημέρωση χαρτών, οι εφαρμογές GIS, η πλοήγηση, ο εντοπισμός προεπιλεγμένων θέσεων.

Στην παρούσα εργασία εφαρμόσαμε την τεχνική GPS –on boat για τη μελέτη της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας στην περιοχή του κεντρικού και νότιου Ιονίου πελάγους αλλά και του Πατραϊκού κόλπου. Το GPS μας προσφέρει την δυνατότητα άμεσου υπολογισμού της απόστασης N, δηλαδή της απόκλισης της SST από το ελλειψοειδές αναφοράς, σε διάφορες περιοχές. Έτσι δίνει την δυνατότητα, εκτός από τον υπολογισμό της SST με μεγάλη ακρίβεια, ελέγχου και βελτίωσης των δεδομένων από τους δορυφόρους ειδικά σε παράκτιες περιοχές όπου η ακρίβεια που οι τελευταίοι επιτυγχάνουν δεν είναι καθόλου ικανοποιητική. Η τεχνική αυτή, που είναι ακόμα πολύ καινούργια καθώς έχει εφαρμοστεί ελάχιστες φορές στο πρόσφατο παρελθόν σε πολύ μικρής έκτασης παράκτιες περιοχές, μας έδωσε αποτελέσματα ικανοποιητικής ακρίβειας που συμφωνούσαν με παλαιότερες προσεγγίσεις που είχαν γίνει με άλλες μεθόδους. Στην παρούσα έρευνα καταφέραμε να υπολογίσουμε τον υψομετρικό χάρτη με ακρίβεια έως και 4,5 εκατοστά. Παρατηρήσεις που έγιναν πάνω στην ακρίβεια της μεθόδου, στις πηγές των σφαλμάτων αλλά και η εμπειρία που αποκτήθηκε και καταγράφεται στην εργασία μας κάνουν να προσδοκούμε ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση της ακρίβειας στο μέλλον.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του GPS έναντι των άλλων παλαιότερων επίγειων και δορυφορικών μεθόδων είναι:

1. Δίνει απευθείας τη θέση ενός σημείου στην επιφάνεια της γης, συνεπώς γνωρίζουμε κάθε στιγμή τη θέση μας σε καρτεσιανές συντεταγμένες X,Y,Z.
2. Είναι ένα σύστημα "παντός καιρού", δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.
3. Για τον προσδιορισμό θέσης δεν απαιτεί αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων της παρατήρησης. Απαιτείται μόνο ορατότητα προς ικανοποιητικό αριθμό δορυφόρων (ανοιχτός ορίζοντας στα σημεία στάσης).
4. Μπορεί να συνεργαστεί με άλλα συστήματα προσδιορισμού θέσης (LORAN-C, Αδρανειακά συστήματα, κ.α.) καθώς και με άλλες σύγχρονες εφαρμογές και συστήματα (GIS, Φωτογραμμετρία, κ.α.).
5. Η διαδικασία των μετρήσεων είναι αρκετά απλή και απαιτείται μικρός χρόνος μέτρησης. Η εκτέλεση των μετρήσεων είναι δυνατή όλο το 24ωρο με μικρό αριθμό προσωπικού (ένα άτομο ανά σημείο παρατήρησης ή και ένα άτομο σε πολλά σημεία παρατήρησης μιας και ο δέκτης αφού ξεκινήσει τις μετρήσεις δεν χρειάζεται επιπλέον επίβλεψη ή χειρισμό).
6. Δίνει καλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με πολύ μικρότερο χρόνο μέτρησης σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Αντίθετα τα μόνο μειονεκτήματα του GPS έναντι των άλλων μεθόδων είναι ότι:

1. Απαιτεί ανοιχτό ορίζοντα για να έχει οπτική επαφή με δορυφόρους, γεγονός που κάνει δύσκολη τη χρήση του μέσα σε πόλεις και πυκνοκατοικημένες περιοχές

2. Η μείωση της ακρίβειας του συστήματος και η εισαγωγή σφαλμάτων από πλευρά των ΗΠΑ κατά χρονικά διαστήματα λόγω του στρατιωτικού χαρακτήρα του συστήματος δεν εγγυώνται την απρόσκοπτη λειτουργία του.

4.2 Τα μέρη του συστήματος GPS

4.2.1 Η κεραία του δέκτη

Η κεραία λαμβάνει το αρκετά εξασθενημένο δορυφορικό σήμα από όλους τους ορατούς δορυφόρους, το ενισχύει με τον προενισχυτή και το διοχετεύει εσωτερικά στο δέκτη για περαιτέρω επεξεργασία. Η κεραία μετατρέπει στην ουσία την ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή μετατρέπει τα δορυφορικά ηλεκτρομαγνητικά σήματα σε ηλεκτρικά σήματα. Αν η κεραία είναι εξωτερική συνδέεται με ένα ειδικό καλώδιο με τον κυρίως δέκτη ή χωρίς καλώδιο με ασύρματη επικοινωνία (π.χ. Bluetooth).

Οι κεραίες είναι μικρών διαστάσεων, μικρού βάρους και συνήθως πολυκατευθυντήριες για λήψη σημάτων από όλες τις διευθύνσεις. Διακρίνονται σε διάφορους τύπους με πιο διαδεδομένο για τις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές τον τύπο των 'μικρολωρίδων' (microstrip), που έχουν και το πλεονέκτημα καλής λήψης σημάτων από δορυφόρους χαμηλά στον ορίζοντα. Σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να λαμβάνουν είτε το σήμα στην L1 (δέκτες μιας συχνότητας) είτε στην L1 και στην L2 (δέκτες δυο συχνοτήτων). Οι γεωδαιτικοί δέκτες έχουν τη δυνατότητα λήψης και στις δυο συχνοτήτες.



Εικόνα 9. Ένα είδος κεραίας δέκτη GPS

Για τη σωστή λήψη των δορυφορικών σημάτων οι κεραίες δεν πρέπει να επισκιάζονται από γειτονικά αντικείμενα, όπως μεγάλα κτίρια, δέντρα κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές δημιουργούνται πολλαπλές διαδρομές του σήματος εξαιτίας της ανάκλασης του στις γειτονικές επιφάνειες με αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικών σφαλμάτων στις

παρατηρήσεις (σφάλμα πολυανάκλασης, multipath error). Παρόμοια επίδραση δημιουργεί και η επιφάνεια του εδάφους κάτω από την κεραία. _στόσο το σφάλμα αυτό είναι δύσκολο να απαλειφθεί. Για την περίπτωση των ανακλάσεων του σήματος κάτω από το έδαφος οι κεραίες ανθίστανται ικανοποιητικά.

Ιδιαίτερα ανθεκτικές στις πολυανακλάσεις είναι οι κεραίες που συνδυάζονται με μια διάταξη βάσης σπειροειδών δακτυλίων (choke ring), διαθέτουν προστατευτικό θόλο (dome, radome), στοιχίζουν πολλαπλάσια από μια κοινή κεραία και χρησιμοποιούνται κυρίως στους μόνιμους σταθμούς.

Άλλα βασικά χαρακτηριστικά μιας κεραίας είναι η ευαισθησία στη λήψη σημάτων διαφορετικής διεύθυνσης (gain pattern) και διαφορετικής γωνίας ύψους, καθώς και η σταθερότητα του κέντρου φάσης, δηλαδή του ηλεκτρικού κέντρου αναφοράς των μετρήσεων, τόσο για την L1 όσο και για την L2 συχνότητα. Το ηλεκτρικό με το μηχανικό μέρος μιας κεραίας δεν ταυτίζονται. Οι πιθανές συστηματικές αποκλίσεις του κέντρου φάσης από το 28 γεωμετρικό ή μηχανικό κέντρο της κεραίας πρέπει να είναι γνωστές στις γεωδαιτικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας. Στην πράξη έχουν παρατηρηθεί αποκλίσεις μέχρι και ένα εκατοστό.

Κεραίες του ίδιου κατασκευαστή έχουν την ίδια συμπεριφορά στη μεταβολή του κέντρου φάσης και έτσι οι επιδράσεις ελαχιστοποιούνται εάν οι κεραίες προσανατολίζονται στην ίδια περίπου κατεύθυνση, π.χ. πάντα προς το βορρά. Απαιτείται, λοιπόν, προσοχή όταν σε μια εργασία υψηλής ακρίβειας χρησιμοποιούνται δέκτες διαφορετικών εταιριών.

4.2.2 Ο κυρίως δέκτης

Το πρώτο τμήμα του δέκτη που αναλαμβάνει την επεξεργασία του εισερχόμενου δορυφορικού σήματος, μετά την προενίσχυση, είναι το τμήμα των ραδιοσυχνοτήτων (RF section), το οποίο περιλαμβάνει διάφορες διατάξεις όπως είναι οι ταλαντωτές ή ρολόγια χαλαζιακού τύπου για την παραγωγή των ημιτονοειδών σημάτων αναφοράς, οι πολλαπλασιαστές για τη δημιουργία μεγαλύτερων συχνοτήτων, τα φίλτρα για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συχνοτήτων και οι μίκτες για τον πολλαπλασιασμό δυο διαφορετικών σημάτων και οι βρόγχοι παρακολούθησης και εξαγωγής μετρήσεων.

Η βασική παρέμβαση του τμήματος των ραδιοσυχνοτήτων είναι η μετατροπή της συχνότητας του εισερχόμενου σήματος σε μικρότερη συχνότητα για να είναι εύκολα διαχειρίσιμο από το δέκτη. Η διαδικασία αυτή, που ολοκληρώνεται σε βήματα, γίνεται μέσω της συμβολής (πολλαπλασιασμός, mixing) του εισερχόμενου σήματος με ένα ημιτονοειδές σημείο αναφοράς που παράγεται από τον ταλαντωτή του δέκτη. Από τη συμβολή αυτή προκύπτει ένα σήμα για κάθε δορυφόρο με δυο συνιστώσες που έχουν συχνότητα το άθροισμα και τη διαφορά των συμβαλλόμενων συχνοτήτων αντιστοίχως. Με κατάλληλα ηλεκτρονικά φίλτρα διατηρείται μόνο η συνιστώσα της διαφοράς των συχνοτήτων ή ισοδύναμα της διαφοράς φάσεων, η οποία ονομάζεται συχνότητα κτύπων (beat frequency) ή ενδιάμεση συχνότητα (Intermediate Frequency). Το IF σήμα, που έχει συχνότητα τη διαφορά των συχνοτήτων μεταξύ του μεταβλητής συχνότητας λόγω φαινομένου Doppler εισερχομένου και του αντιγράφου, διατηρεί την αρχική διαμόρφωση του δορυφορικού σήματος. Το σήμα IF είναι το παρατηρούμενο σήμα στο δέκτη. Στη συνέχεια το IF σήμα μεταβιβάζεται σε όλους τους διαύλους. Οι γεωδαιτικοί δέκτες διαθέτουν αρκετούς διαύλους,

έναν αποκλειστικά για κάθε δορυφόρο, οι οποίοι λειτουργούν ταυτόχρονα (παράλληλοι δίαυλοι, parallel tracking architecture). Ο αριθμός των καναλιών σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των δορυφόρων που μπορεί ο δέκτης να παρακολουθεί ταυτόχρονα. Οι σύγχρονοι δέκτες λαμβάνουν θεωρητικά όλους σχεδόν τους δορυφόρους πάνω από τον ορίζοντα (all in view). Σε κάθε δίαυλο, με τη βοήθεια των βρόγχων παρακολούθησης, γίνεται η ανάκτηση των συνιστωσών του σήματος του κάθε δορυφόρου (αποδιαμόρφωση) και εξάγονται οι μετρήσεις μέσω τεχνικών συσχέτισης του εισερχόμενου σήματος με ένα σήμα αντίγραφο που παράγει ο δέκτης. Οι βρόγχοι παρακολούθησης αναλαμβάνουν τη διεξαγωγή των μετρήσεων των κωδικών και των φάσεων. _ιακρίνουμε τους βρόγχους προσδιορισμού καθυστέρησης (DLL: Delay Lock Loop) όπου γίνονται οι συσχετίσεις με τους κώδικες και συνεπώς εξάγονται οι μετρήσεις των ψευδοαποστάσεων και στους βρόγχους προσδιορισμού φάσης (PLL: Phase Lock Loop) όπου γίνονται οι μετρήσεις φάσεων. Οι βρόγχοι DLL και PLL συνεργάζονται μεταξύ τους σε μια αμφίδρομη επικοινωνία. Αρκετοί δέκτες διαθέτουν και βρόγχους μέτρησης της συχνότητας των φορέων (FLL: Frequency Lock Loop) είτε ως βοηθητικούς είτε αντί των βρόγχων PLL, οπότε μετρούν το ρυθμό μεταβολής της απόστασης δορυφόρου-δέκτη με σκοπό τον υπολογισμό ταχυτήτων σε οχήματα που υπόκεινται σε έντονες επιταχύνσεις όπως τα αεροπλάνα.

Η σειρά των συσχετίσεων αρχίζει συνήθως με τον κώδικα C/A για τη συνιστώσα (L1, C/A, P) στους βρόγχους DLL (code correlation). Μόλις επιτευχθεί η συσχέτιση για τον κώδικα το σήμα εγκλωβίζεται και εξάγεται η μέτρηση της ψευδοαπόστασης. Στη συνέχεια, απομακρύνεται ο κώδικας (πολλαπλασιασμός με το αντίγραφο του) και το σήμα που απομένει οδηγείται στους βρόγχους PLL. Εκεί ένα τοπικό αντίγραφο συσχετίζεται με το εισερχόμενο σήμα, διαβάζεται το μήνυμα πλοήγησης το οποίο αμέσως μετά απομακρύνεται και ο εναπομένον καθαρός ημιτονοειδής φορέας IF χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ αυτού και του αντίστοιχου τοπικού αντιγράφου.

Επειδή ο γνωστός κώδικας C/A δεν μεταδίδεται με τη συχνότητα L2 παρά μόνο ο κώδικας P ως κρυπτογραφημένος κώδικας Y, για την ανάκτηση της συνιστώσας L2 χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές από την ανάκτηση για την ανάκτηση της L1 π.χ. τεχνικές τετραγωνισμού. Η σειρά των δορυφόρων Block IIR-M θα εκπέμπει τον κώδικα C/A και στη συχνότητα L2.

Ο μικροεπεξεργαστής του δέκτη ελέγχει όλες τις λειτουργίες του, από τον εγκλωβισμό των δορυφόρων και την επεξεργασία του σήματος μέχρι τον υπολογισμό της θέσης σε πραγματικό χρόνο και την επικοινωνία με το χρήστη. Εκτελείται κάθε φορά που ο δέκτης τίθεται σε λειτουργία. Είναι σαφές ότι ένας καλός και ταχύς μικροεπεξεργαστής, εγγυάται την καλή λειτουργία του δέκτη και προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Η πηγή τροφοδοσίας του δέκτη είναι πάντοτε κάποιου είδους μπαταρίες (συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, DC) και κατά περίπτωση και μετασχηματιστής για τροφοδοσία από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Πολλές εταιρίες δεκτών προσφέρουν δικές τους μπαταρίες και ειδικά καλώδια συνδέσεων. Η διάρκεια των παρατηρήσεων με μπαταρίες είναι των μερικών ωρών. Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων είναι δυνατή η αλλαγή ή προσθήκη επιπλέον μπαταριών χωρίς να διακόπτονται οι παρατηρήσεις. Η μονάδα αποθήκευσης δεδομένων (παρατηρήσεις και άλλα δεδομένα ή πληροφορίες που εισάγονται από τον χρήστη όπως ύψος κεραίας) είναι στην ουσία μνήμη κάποιου τύπου, π.χ. συμβατή PCMCIA, εσωτερική μνήμη τυχαίας προσπέλασης (internal memory), εξωτερική μνήμη (data collectors, controllers) και ο σκληρός δίσκος ενός υπολογιστή όταν υπάρχει σύνδεση. Η χωρητικότητα της μνήμης αρκεί για πολλές ώρες παρατηρήσεων έως και μερικούς μήνες ανάλογα με τον

τύπο μνήμης και την εφαρμογή του GPS. Το κατέβασμα των δεδομένων σε ένα PC είναι μια απλή διαδικασία (μέσω ειδικού ή όχι προγράμματος και σύνδεση με θύρες επικοινωνίας τύπου COM, USB).

4.2.3 Ηλεκτρονικός υπολογιστής χειρός για την διεξαγωγή των μετρήσεων

Η μονάδα επικοινωνίας με τον χρήστη, που είναι συνήθως ένα χειριστήριο ή και καταγραφικό (user interface, Keyboard and Display Unit), είναι ένας μηχανισμός μέσω του οποίου ο δέκτης GPS επικοινωνεί και συνεργάζεται με τον χρήστη. Σχεδόν όλοι οι δέκτες διαθέτουν ενσωματωμένα πλήκτρα και φωτοδιόδους (led) για τις βασικές λειτουργίες του δέκτη και την πληροφόρηση των χρηστών για το τι συμβαίνει στη διάρκεια των μετρήσεων π.χ. πόσοι δορυφόροι λαμβάνονται Άλλοι δέκτες, συνεργάζονται με εξωτερική μονάδα, συνδεδεμένη με καλώδιο ή ασύρματα, η οποία είναι στην ουσία ένας υπολογιστής χειρός που φέρει οθόνη LCD και αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο. Στην περίπτωση αυτή η επικοινωνία με τον δέκτη διευκολύνεται σημαντικά (user friendly), ιδιαίτερα ο έλεγχος και η προετοιμασία του δέκτη για την διεξαγωγή των μετρήσεων με την εισαγωγή κατάλληλων παραμέτρων για την διεξαγωγή τους (mission planning) π.χ. εισαγωγή γωνίας αποκοπής, είδος προσδιορισμού. Σύγχρονα καταγραφικά έχουν τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέσω π.χ. Bluetooth. Εκτός από τους γεωδαιτικούς ή τοπογραφικούς δέκτες, υπάρχουν και οι λεγόμενοι δέκτες χειρός ή καλύτερα δέκτες κώδικα C/A. Σε αντίθεση με τους γεωδαιτικούς δέκτες, οι οποίοι μετρούν και καταγράφουν οπωσδήποτε παρατηρήσεις φάσης (L1/L2) και οι οποίοι χρησιμοποιούνται για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας π.χ. ίδρυση δικτύων ή και μελέτες τοπογραφικών αποτυπώσεων και χαρτογραφήσεων, οι δέκτες κώδικα χρησιμοποιούνται κυρίως για τις εφαρμογές πλοήγησης και γενικότερα για εφαρμογές περιορισμένης ακρίβειας 32 της τάξης των μερικών μέτρων ανάλογα με τη δυνατότητα του δέκτη. Οι εφαρμογές χαμηλής ακρίβειας αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία χρήσης του συστήματος GPS σε παγκόσμια κλίμακα με συνεχή αυξητική τάση.

4.3.1 Εφαρμογές του GPS στην παρακολούθηση εύκαμπτων κατασκευών και δυναμικών κινήσεων

Λόγω του σχεδιασμού του, το GPS βρίσκει πολλές εφαρμογές σε πολιτικές εφαρμογές όπως είναι η ναυσιπλοΐα (πλοήγηση πλοίων, αεροπλάνων, αυτοκινήτων, κλπ), διάφορες τοπογραφικές εφαρμογές κλπ. Τα τελευταία χρόνια εκτός από την οδοποιία, βρίσκει εφαρμογή και σε πολλές ειδικές εργασίες του πολιτικού μηχανικού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τοποθέτηση των πυλώνων της γέφυρας Ρίου- Αντιρίου, το οποίο έγινε με την χρήση του GPS (Marchetti et al., 2004).

Μία άλλη από τις νέες εφαρμογές του GPS στην επιστήμη του Πολιτικού Μηχανικού είναι η παρακολούθηση ταλαντώσεων των εύκαμπτων κατασκευών όπως οι γέφυρες (Roberts et al., 2004; Wong et al., 2001), τα ψηλά κτίρια (Brownjohn, 2004; Ogaja et al., 2003) και οι κεραιές (Wasilewski et al., 1999). Πρώτες προσπάθειες εφαρμογής του στην παρακολούθηση εύκαμπτων κατασκευών άρχισαν περίπου πριν μία δεκαετία (Lovse et al, 1995) παρόλο που υπήρχαν αρκετοί περιορισμοί, όπως η μία μόνο διαθέσιμη (L2 signal) από τις δύο συχνότητες εκπομπής του σήματος του γεωδαιτικών δορυφόρων λόγω δέσμευσης από τον αμερικανικό στρατό (Fontana et al., 2001) ενώ η μεγαλύτερη συχνότητα καταγραφής ήταν μόλις 1 Hz. Τα τελευταία χρόνια όμως, με την αποδέσμευση της συχνότητας L2, την αύξηση της συχνότητας καταγραφής σε 20 Hz και με την γενική βελτίωση της τεχνολογίας των GPS είναι δυνατή η παρακολούθηση ταλαντώσεων κατασκευών με μεγάλη ακρίβεια. Δύο είναι οι κύριοι λόγοι που κάνουν τόσο σημαντική την παρακολούθηση των ταλαντώσεων των κατασκευών:

1. είναι δυνατή η μέτρηση των δυναμικών χαρακτηριστικών μίας κατασκευής και πιο συγκεκριμένα της συχνότητας και το εύρος ταλάντωσης.
2. είναι δυνατή η χρήση του ως σύστημα συναγερμού, στην περίπτωση που η μετακίνηση που θα προκύψει θα υπερβαίνει κάποιο όριο ασφαλείας.

4.3.2 Εφαρμογή του GPS στην παρακολούθηση γεφυρών

Με αφορμή αστοχίες γεφυρών κυρίως λόγω κακού σχεδιασμού (Tacoma, Millennium Bridge) έχει καθιερωθεί η συστηματική παρακολούθηση της κινηματικής των μεγάλων γεφυρών τόσο για την σωστή λειτουργία τους όσο και για την ασφάλειά τους. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες χρήσης του GPS για την παρακολούθηση των ταλαντώσεων γεφυρών που προέρχεται από δυναμικά φορτία (σεισμός, άνεμος, κυκλοφοριακός φόρτος, κλπ)

Η παρακολούθηση της Humber Bridge στην Αγγλία αποτελεί μία κλασική εφαρμογή του GPS στην παρακολούθηση της ταλάντωσης γέφυρας. Πρόκειται για μία εύκαμπτη κρεμαστή γέφυρα, με το μεγαλύτερο κεντρικό άνοιγμα μεταξύ όλων των κρεμαστών γεφυρών στο κόσμο. Για την παρακολούθηση της Humber Bridge έχουν δοκιμαστεί διάφορες εφαρμογές του GPS (π.χ. με την χρήση pseudolites, Meng et al, 2004). Η πιο ολοκληρωμένη εφαρμογή ήταν με ένα υβριδικό σύστημα παρακολούθησης αποτελούμενο από επιταχυνσιογράφους

Kistler με δυνατότητα καταγραφής των επιταχύνσεων στους τρεις άξονες και συστήματα GPS.



Εικόνα 10. Humber Bridge

Με την χρήση κατάλληλης συσκευής τοποθετήθηκε η κεραία του GPS πάνω από τον επιταχυνσιογράφο ώστε να έχουν κοινό κατακόρυφο άξονα. Στην συνέχεια, οι καταγραφές του επιταχυνσιογράφου και του συστήματος GPS μετασχηματίστηκαν με κατάλληλο τρόπο και ανάχθηκαν σε κοινό σύστημα αναφοράς για να είναι οι μετρήσεις συγκρίσιμες. Επόμενο βήμα ήταν να αφαιρεθούν συστηματικά σφάλματα από τις μετρήσεις των επιταχυνσιογράφων με την χρήση φίλτρου φασματικής ανάλυσης (low-pass filter), το οποίο είχε προκύψει από πειράματα κι ενώ οι επιταχυνσιογράφοι ήταν ακίνητοι. Επίσης, ειδικά φίλτρα χρησιμοποιήθηκαν για την απαλοιφή σφαλμάτων (multipath effect) των μετρήσεων του GPS. Τέλος, προσδιορίστηκε η ταχύτητα και η μετακίνηση από τις μετρήσεις των επιταχυνσιογράφων με αριθμητική ολοκλήρωση. Κατά την διαδικασία αυτή χρησιμοποιόταν ειδικός αλγόριθμος για την αφαίρεση της τάσης απόκλισης της ταχύτητας και της μετακίνησης από την πραγματική τιμή που παρουσιάζαν εξαιτίας του σημαντικού αθροιστικού σφάλματος. Στην διόρθωση αυτή συνέβαλαν και οι μετρήσεις του GPS ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Άλλες εφαρμογές

Εκτός από την παρακολούθηση της Humber Bridge η οποία είναι ιδιαίτερα γνωστή στη βιβλιογραφία, υπάρχουν και άλλες εφαρμογές παρακολούθησης γεφυρών με σύστημα GPS ιδιαίτερα στην ανατολική Ασία. Μία τέτοια εφαρμογή είναι αυτή των Wong et al. (2001) για την παρακολούθηση της γέφυρας Tsing Ma στη Κορέα. Το σύστημα παρακολούθησης της γέφυρας βασίζεται σε σύστημα GPS το οποίο παρακολουθεί τις κινήσεις κομβικών σημείων της γέφυρας σε πραγματικό χρόνο (realtime monitoring) και σε συνδυασμό με μετρήσεις από άλλα συστήματα παρακολούθησης (μηκυνσιόμετρα κ.λ.π.) δίνουν με ακρίβεια και αξιοπιστία την κινηματική κατάσταση της γέφυρας, για διάφορες καιρικές αλλά και κυκλοφοριακές συνθήκες.

Εκτός όμως από την απλή παρακολούθηση των μετακινήσεων γεφυρών έχουν γίνει και προσπάθειες για τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών (ιδιοσυχνότητες των κύριων ιδιόμορφων) των γεφυρών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εργασία του Nakamura (2000) για μία γέφυρα της Ιαπωνίας όπου προσδιορίστηκαν οι κύριες ιδιοσυχνότητες της με βάση τις μετρήσεις GPS, επιταχυνσιογράφων, ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία (FEM) και πειραματικές διατάξεις. Από την εργασία αυτή συνάγεται ότι οι ιδιοσυχνότητες της γέφυρας προσδιορίζονται από τις μετρήσεις του GPS με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Παρακολούθηση και πρόβλεψη μετακινήσεων με την χρήση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και GPS

Τέλος μία διαφορετική εφαρμογή του GPS στην παρακολούθηση των γεφυρών αποτελεί η εργασία των Alkymaz et al. (2004). Στην εργασία αυτή συνδυάστηκαν οι μετακινήσεις της γέφυρας Fatih Sultan Mehmet της Κωνσταντινούπολης που προέκυψαν από τις καταγραφές GPS, με μετρήσεις των καιρικών συνθηκών (άνεμος, υγρασία, θερμοκρασία και πίεση) και με μετρήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου. Με βάση τα στοιχεία αυτά προγραμματίστηκε ένα νευρωνικό δίκτυο, το οποίο έπαιρνε σαν δεδομένα τις καιρικές-ατμοσφαιρικές συνθήκες και τον κυκλοφοριακό φόρτο και σαν αποτέλεσμα προέκυπταν οι μετακινήσεις της γέφυρας. Συνεπώς, το νευρωνικό δίκτυο θα μπορούσε με γνωστές τις καιρικές συνθήκες και τον κυκλοφοριακό φόρτο να προβλέπει την μετακίνηση της γέφυρας.

4.3.3 Εφαρμογή του GPS στην παρακολούθηση ψηλών κτιρίων, πύργων και κεραίων

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν ορισμένες αναφορές για τις μέχρι τώρα εφαρμογές του GPS για την παρακολούθηση και άλλων εύκαμπτων κατασκευών όπως είναι τα ψηλά κτίρια, οι πύργοι και οι κεραίες, καθώς σημαντικές είναι οι μετακινήσεις που οφείλονται σε δυναμικές φορτίσεις και κυρίως στον άνεμο.

Μία αρχική εφαρμογή αποτελεί αυτή των Lovse et al. (1995) στην οποία με την χρήση GPS παρακολουθήθηκαν οι μετακινήσεις του Calgary Tower, εξαιτίας ισχυρού ανέμου. Το αξιοσημείωτο συμπέρασμα που προέκυψε από τις καταγραφές του GPS είναι ότι ενώ ο άνεμος ήταν δυτικός, παρουσιάστηκε μεγαλύτερη μετακίνηση κατά την διεύθυνση βορρά-νότου. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως Karman-Vortex, δεν είναι ευρέως γνωστό και οφείλεται στο ότι γύρω από τον πύργο δημιουργήθηκαν στρόβιλοι στη νότια και την βόρεια πλευρά του πύργου, οι οποίοι προκάλεσαν ζώνες χαμηλής και υψηλής πίεσης. Λόγω της διαφοράς πίεσης εμφανίστηκε τάση για ώθηση της κατασκευής από την πλευρά που η πίεση ήταν υψηλή, ενώ εμφανίστηκε τάση για έλξη από την πλευρά που η πίεση ήταν χαμηλή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί κατά την διεύθυνση βορρά-νότου ισχυρότερη πίεση από αυτή της διεύθυνσης ανατολής-δύσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι ίσως είναι η πρώτη φορά που το φαινόμενο αυτό καταγράφεται σε κατασκευές του πολιτικού μηχανικού (Nickitopoulou et al., 2005).

Μία ακόμα γνωστή εργασία στη βιβλιογραφία αποτελεί η παρακολούθηση με GPS των μετακινήσεων του Republic Plaza στην Σιγκαπούρη (Li et al., 2004). Πρόκειται, για το ψηλότερο κτίριο (280m) μίας περιοχής η οποία δοκιμάζεται από τυφώνες και μακρινούς σεισμούς. Το σύστημα παρακολούθησης αποτελείται από σύστημα GPS, επιταχυνσιογράφο και ανεμόμετρο, τα οποία λειτουργούν συνεχώς, έτσι ώστε να υπάρχει μία συνολική εικόνα για τις φορτίσεις και την κινηματική κατάσταση του κτιρίου.

Το 2000 κατά την διάρκεια καταγραφών συνέβησαν ένας σεισμός μεγέθους 8.0 της κλίμακας Ρίχτερ και μία καταιγίδα κατά την διάρκεια της οποίας ο άνεμος είχε ταχύτητα 21 m/sec. Από την καταγραφή του GPS προσδιορίστηκαν οι μετακινήσεις της κορυφής του κτιρίου, ενώ στην συνέχεια με την χρήση της μεθόδου Wavelet Transform έγινε φασματική ανάλυση των μετακινήσεων. Από την φασματική ανάλυση παρατηρήθηκε ότι κατά την διάρκεια του σεισμού το κτίριο ταλαντώθηκε με την πρώτη (0.1 Hz) και την δεύτερη ιδιοσυχνότητα (0.7 Hz), ενώ κατά την διάρκεια της καταιγίδας κατά την ταλάντωση συμμετείχε μόνο η πρώτη ιδιομορφή (0.1 Hz). Συνεπώς, παρατηρούμε ότι το σύστημα παρακολούθησης GPS λειτούργησε με ακρίβεια καθώς τα αποτελέσματα ήταν σύμφωνα με αυτά που προέβλεπε ο δυναμικός σχεδιασμός του κτιρίου.



Εικόνα 11. Το Republic Plaza στην Σιγκαπούρη

4.3.4 Χρήση του GPS ως σειсмоγράφου

Τέλος, μία ακόμα χρήση του GPS είναι για την καταγραφή σεισμών, ιδιαίτερα σεισμογενείς περιοχές (Ιαπωνία, Καλιφόρνια). Ειδικότερα στην Ιαπωνία έχει εγκατασταθεί ένα ολόκληρο δίκτυο GPS, αποτελούμενο από περισσότερα από 1000 GPS, το οποίο λειτουργεί συνεχώς για την καταγραφή των παραμορφώσεων του στερεού φλοιού της γης λόγω των σεισμών, καθώς και άλλες λειτουργίες, πχ. πλοήγηση σκαφών, αυτοκινήτων, κλπ. (Miyazaki, et al, 2004).

Με τις καταγραφές των GPS όμως γίνεται και η προσομοίωση των ρηγμάτων και των σεισμών. Μία τέτοια προσπάθεια παρουσιάστηκε και στην εργασία των Miyazaki et. al. (2004) για τον σεισμό Tokachi-Okii που συνέβη το Σεπτέμβριο του 2003 και είχε μέγεθος περίπου 8 Ρίχτερ. Η εργασία τους βασίστηκε στις καταγραφές 37 δεκτών GPS με συχνότητα καταγραφής 1 Hz. Με βάση την ήδη γνωστή γεωμετρία και διάταξη του ρήγματος στο χώρο και με την βοήθεια των συναρτήσεων Green προσδιόρισαν την κίνηση του ρήγματος κατά την διάρκεια του σεισμού και γενικότερα την εξέλιξη της σεισμικής δραστηριότητας. Αξιοσημείωτο είναι ότι το μοντέλο για την σεισμική δράση του ρήγματος που προέκυψε συμφωνούσε με τα συμπεράσματα ανεξάρτητων παρατηρήσεων. Συνεπώς, συνάγεται ότι ένα καλά οργανωμένο δίκτυο GPS μπορεί να επιτρέψει τη λεπτομερή γνώση της σεισμικής δραστηριότητας. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να έχει πολύ καλά αποτελέσματα αν κανείς αναλογιστεί οι δέκτες μπορούν πλέον να καταγράφουν και σε υψηλές συχνότητες (20 Hz).

4.4 Σφάλματα του συστήματος GPS

Για τον προσδιορισμό ενός σημείου στο χώρο απαιτούνται 4 δορυφόροι. Λόγο όμως των σφαλμάτων που εμπεριέχουν οι μετρήσεις του GPS συνήθως απαιτούνται τουλάχιστον 6 με 7 δορυφόροι για ακριβέστερες μετρήσεις. Διακρίνουμε μια σειρά σφαλμάτων, συστηματικού χαρακτήρα (systematic errors), που επηρεάζουν τον προσδιορισμό θέσης. Τα τυχαία σφάλματα (random errors), που είναι αναπόφευκτα, κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, ονομάζονται συνήθως ως θόρυβος (noise, white noise).

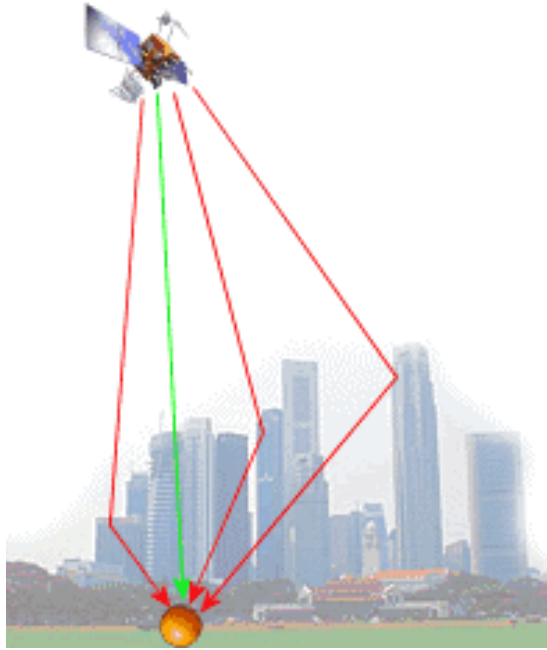
Τα σφάλματα του συστήματος GPS μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Στα σφάλματα που σχετίζονται με τους δορυφόρους: το σφάλμα της δορυφορικής τροχιάς, το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου και το σφάλμα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας.
2. Στα σφάλματα που σχετίζονται με τους δέκτες: το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη, ο θόρυβος, το σφάλμα εξαιτίας της αβεβαιότητας του γνωστού σημείου.
3. Στα σφάλματα που σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος: τα ατμοσφαιρικά σφάλματα (τροποσφαιρικό και ιονοσφαιρικό σφάλμα), το σφάλμα πολυανάκλασης, Το σφάλμα λόγω των «εποχιακών» επιδράσεων.

Το σφάλμα της δορυφορικής τροχιάς είναι η συστηματική παρέκκλιση της θέσης και της ταχύτητας του δορυφόρου από την πραγματική θέση. Το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου οφείλεται στο μη συγχρονισμό του ατομικού ρολογιού του κάθε δορυφόρου ως προς το χρόνο GPS που αποτελεί την κλίμακα χρόνου του συστήματος.

Το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη είναι συνάρτηση του χρόνου, μπορεί να υπολογίζεται σε κάθε εποχή παρατήρησης και σχεδόν απαλείφεται από τις παρατηρήσεις στο σχετικό προσδιορισμό θέσης. Ο θόρυβος είναι αναπόφευκτο σε κάθε παρατήρηση GPS όπως άλλωστε και σε κάθε παρατήρηση κλασσικού τύπου, όπου χρησιμοποιούνται όργανα μετρήσεων. Το σφάλμα εξαιτίας της αβεβαιότητας του γνωστού σημείου είναι οποιοδήποτε σφάλμα στη θέση του σημείου που διατηρείται σταθερό κατά την επίλυση μίας βάσης επηρεάζει συστηματικά τις εκτιμήσεις των συνιστωσών ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$).

Τα σφάλματα λόγω επίδρασης των στρωμάτων της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας καθώς το σήμα του GPS διέρχεται μέσα από αυτά τα στρώματα και διαθλάται εισάγοντας σφάλματα στα μήκη. Το σφάλμα πολυανάκλασης είναι το φαινόμενο όπου το δορυφορικό σήμα λαμβάνεται και από άλλη ή άλλες έμμεσες διαδρομές εκτός από την κανονική του πορεία εξαιτίας της ανάκλασής του σε γειτονικές επιφάνειες όπως η επιφάνειες κτιρίων, με αυτό τον τρόπο το σήμα ακολουθεί μεγαλύτερη διαδρομή από την κανονική και η άφιξη του σήματος στην κεραία του δέκτη γίνεται ύστερα από ανακλάσεις. Τα σφάλματα λόγω των «εποχιακών» επιδράσεων είναι συστηματικά σφάλματα τα οποία υπεισέρχονται στις μετρήσεις λόγω των μεγάλων μεταβολών της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 12:Ανάκλαση δορυφορικού σήματος σε επιφάνειες γύρω από την κεραία (κόκκινο)

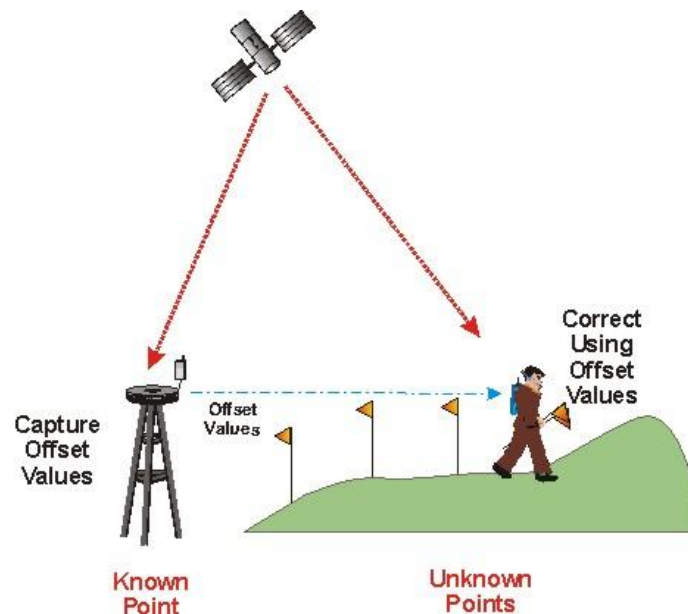
4.5 Μέθοδοι μετρήσεων με GPS

Το GPS είναι σχεδιασμένο να προσδιορίζει θέση σημείου στο χώρο, οι μεθοδολογίες προσδιορισμού θέσης με χρήση GPS γίνεται συνήθως με δύο τρόπους:

1. Στατική μέθοδος
2. Κινηματική μέθοδος

Στη στατική μέθοδος (static) έχουμε έναν δέκτη GPS στημένο σε ένα συγκεκριμένο σημείο όπου παίρνουμε της μέτρησης, από μερικά λεπτά μέχρι μερικές ώρες. Η στατική μέθοδος μας δίνει αποτελέσματα ακρίβειας 5m και η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στην ναυσιπλοΐα κλπ.

Στην κινηματική μέθοδο (kinematic) γνωστή και ως DGPS έχουμε δύο δέκτες GPS όπου θεωρείται ότι λαμβάνουν σήματα που ακολουθούν κοινή διαδρομή, αντιστοιχούν σε κοινή γεωμετρική διάταξη και πλήθος κοινών ορατών δορυφόρων και έτσι απαλείφονται σε μεγάλο βαθμό σφάλματα που εμφανίζονται επιτυγχάνοντας ακρίβεια, έως μερικών χιλιοστών.



Εικόνα 13: Τυπική διάταξη συστήματος κινηματικής μεθόδου

Η πρώτη μέθοδος επιτρέπει να έχουμε έναν δέκτη σταθερό (base receiver) και έναν δέκτη κινούμενο (rover receiver). Οι συνεχείς μεταβολές του δέκτη αναφοράς εξαφανίζουν μεταβολή των συντεταγμένων του που οφείλεται σε σφάλματα. Εκτιμώντας μία μέση τιμή της πραγματικής θέσης του μπορούμε να εκτιμήσουμε τα σφάλματα και να διορθώσουμε την θέση ενός κοντινού κινούμενου δέκτη κάθε στιγμή. Έτσι έχουμε τον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο (real-time positioning) παράλληλα με την εκτέλεση των μετρήσεων στο πεδίο (ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα) και τον προσδιορισμό εκ των υστερών (post processing), δηλαδή μετά το πέρας των μετρήσεων. Οι προσδιορισμοί σε πραγματικό χρόνο αφορούν κυρίως τις κινηματικές και κάποιες υβριδικές εφαρμογές ενώ οι προσδιορισμοί εκ των υστερών αφορούν κυρίως τις στατικές εφαρμογές.

Η μέθοδος DGPS επιτρέπει να προσδιορίσουμε με ακρίβεια συντεταγμένες σημείων που είναι είτε ακίνητα είτε κινούνται. Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόζουμε την στατική μέθοδο εκτιμώντας μια μέση τιμή των αποτελεσμάτων. Η εφαρμογή αυτή έχει βρει χρήση και σε μελέτη πού αργών, ημιστατικών κινήσεων.

Η κινηματική μέθοδος οι συντεταγμένες του σταθερού σημείου υπολογίζεται ως η μέση τιμή όλων των διαθέσιμων τιμών και οι διαφορές τις κάθε τιμής συντεταγμένων από την μέση τιμή εισάγονται ως διορθώσεις στις αντίστοιχες τιμές των μετρήσεων του κινούμενου σημείου σε σχετικά μικρή απόσταση δέκτη (μικρότερη 1-5 km). Μία παραλλαγή αυτής της μεθόδου είναι η RTK (real-time Kinematic) όπου κάθε στιγμή οι διορθώσεις από τον base receiver εισάγονται στον rover με ραδιοζεύξη, καλώδιακη σύνδεση.

Άλλες υβριδικές μέθοδοι προσδιορισμού θέσης με χρήση GPS είναι:

1. ψευδοκινηματική μέθοδος
2. Γρήγορη στατική (rapid static)
3. Μέθοδος ημικινηματική (stop and go)

Η ψευδοκινηματική μέθοδος (reoccupation) η διαδικασία αυτή που στην ουσία είναι στατική διαφοροποιείται από την προηγούμενη στο ότι ο κινητός δέκτης επισκέπτεται τα άγνωστα σημεία δύο φορές, χωρίς να χρειάζεται συνεχής λήψη κατά τη μετάβαση από σημείο σε σημείο. Μεταξύ της πρώτης και δεύτερης έχει μεσολαβήσει χρονικό διάστημα από μερικά λεπτά έως και μερικές ώρες, ώστε η γεωμετρία των δορυφόρων να έχει αλλάξει και να είναι πιο εύκολη η επίλυση των ασαφειών. Επίσης, ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι ότι το κάθε σημείο προσδιορίζεται από το σύνολο των μετρήσεων των δύο επισκέψεων, ως εάν είχε γίνει μόνο μία και με το σύνολο των δορυφόρων, που πιθανόν να είναι τελείως διαφορετικοί. Έτσι η μέθοδος αυτή προσφέρεται και στις περιπτώσεις που θα χρειαστεί να επαναμετρήσουμε ορισμένα σημεία, έστω και άλλη μέρα, για τα οποία δεν επιτύχαμε ικανοποιητική λύση (οι νέες μετρήσεις θα «αθροιστούν» με τις παλιές). Η σχετική ακρίβεια είναι ίδια σχεδόν με αυτήν της ημικινηματικής μεθόδου. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για προσδιορισμούς θέσεων όπως είναι τα πολυγωνικά σημεία. Για να είναι δε παραγωγική η μέθοδος πρέπει η απόσταση από τον ακίνητο δέκτη να μην υπερβαίνει τα 10 περίπου km.

Η γρήγορη στατική (rapid static) η φιλοσοφία βρίσκει στο γεγονός ότι αρκούν μετρήσεις λίγων λεπτών για κάθε βάση, ώστε να επιλύεται το πρόβλημα της ασάφειας ικανοποιητικά, χωρίς να χρειάζεται η συνεχής λήψη σήματος καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Ο ένας δέκτης παραμένει στο γνωστό σημείο (σταθμός αναφοράς) και ο άλλος (ή άλλοι) περιφέρεται στα υπόλοιπα άγνωστα σημεία παραμένοντας σ' αυτά λίγα μόνο λεπτά π.χ. 5 έως 20 ανάλογα με το μήκος της βάσης (γενικά μικρότερο από 15 km). Οι δέκτες πρέπει να είναι διπλής συχνότητας, με δυνατότητα μέτρησης κωδικών και επίσης, οι μέτρησεις να γίνονται ταυτόχρονα προς 4 και κατά προτίμηση περισσότερους δορυφόρους. Κατά τη μετακίνηση των δεκτών από σημείο σε σημείο, δε χρειάζεται η λήψη του δορυφορικού σήματος και οι δέκτες μπορεί να είναι «κλειστοί». Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται εδώ είναι της τάξης του 5-10mm +1 ppm. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα κατώτερης τάξης, πυκνώσεων δικτύων, τομές, φωτοσταθερά και πολυγωνομετρία.

Η ημικινηματική μέθοδος (stop and go) η μέθοδος αυτή μοιάζει περισσότερο με την κινηματική. Ο ένας δέκτης παραμένει ακίνητος σε ένα σημείο ενώ ο άλλος περιφέρεται σε άλλα σημεία, με την απαίτηση της συνεχούς λήψης του σήματος από 4 τουλάχιστον δορυφόρους. Ο χρόνος παραμονής του κινούμενου δέκτη σε κάθε σημείο είναι της τάξης των

μερικών δευτερολέπτων (10-30 sec) έτσι ώστε να λαμβάνονται μετρήσεις μερικών εποχών. Οι παρατηρήσεις καταγράφονται συνήθως ανά 5 sec, συνεχώς για τον ακίνητο δέκτη και μόνο για το χρόνο παραμονής του κινούμενου δέκτη στα σημεία. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία κίνησης πρέπει να επιλυθεί το πρόβλημα των ασαφειών με διάφορες γνωστές τεχνικές. Αν κατά την κίνηση από σημείο σε σημείο, υπάρξει απώλεια σήματος και ο αριθμός των δορυφόρων είναι μικρότερος από 4, επαναλαμβάνεται η τεχνική επίλυσης των ασαφειών. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά αποτελεσματική για αποτυπώσεις σε ανοιχτές εκτάσεις και δίνει μια ακρίβεια της τάξης του 1-3 cm+ 1 ppm.

Σε όλες τις εφαρμογές που ο χρόνος μέτρησης είναι μικρός (μικρότερος από μερικά λεπτά) απαιτείται καλή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού. Ένας δείκτης αυτής της ακρίβειας είναι ο αριθμός GDOP (Geometric Dilution Of Precision) που θα πρέπει να έχει μία τιμή μικρότερη ή ίση με οκτώ. Ο αριθμός αυτός αντιπροσωπεύει την ακρίβεια θέσης στις τρεις διαστάσεις και αυτήν της χρονικής παραμέτρου του ρολογιού του δέκτη, για συγκεκριμένη γεωμετρία των δορυφόρων.

4.6 Δορυφόροι

4.6.1 Ιστορική ανάδρομη

Μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα ο προσδιορισμός θέσης (απόλυτος και σχετικός) βασιζόταν κυρίως σε επίγειες μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων προς διάφορα ουράνια σώματα (σελήνη, πλανήτες, αστέρες) και μεταξύ σημείων της γήινης επιφάνειας.

Στο πρώτο μισό του 20ου αιώνα η χρήση ραδιοκυμάτων από επίγειους σταθμούς εκπομπής ανοίγει νέους ορίζοντες στην πλοήγηση με τα επίγεια συστήματα όπως τα LORAN-A και LORAN-C. Τα κυρίως προβλήματα των συστημάτων αυτών είναι τόσο η χαμηλή ακρίβεια που φτάνει μόλις τις μερικές εκατοντάδες μέτρα, όσο και η περιορισμένη εμβέλειά τους.

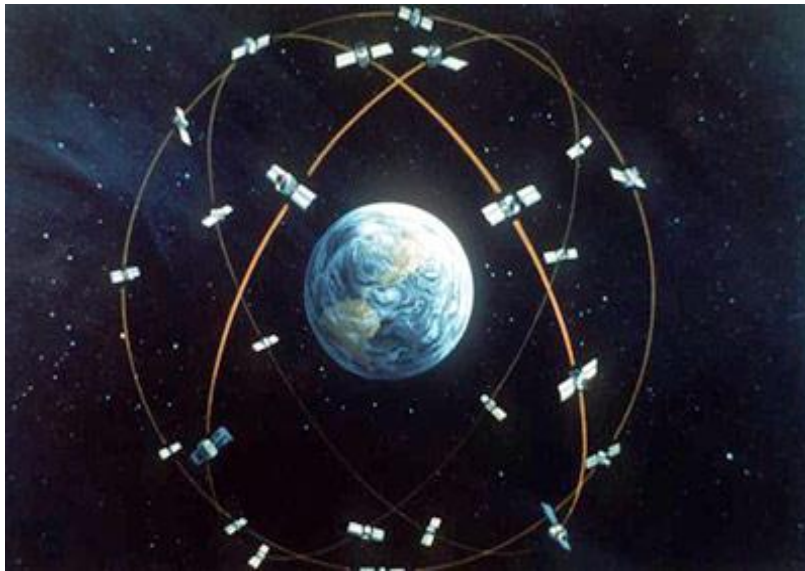
Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις δυσκολίες αλλά και τις αυξημένες απαιτήσεις στο προσδιορισμό της θέσης (στίγμα) προβάλλει η ιδέα ύπαρξης τεχνητών δορυφόρων.

Στα μέσα της δεκαετίας του '50 η ανθρωπότητα μπαίνει στη διαστημική εποχή. Η αρχή γίνεται με την εκτόξευση στο διάστημα (1957), από την τότε Σοβιετική Ένωση, του πρώτου τεχνητού δορυφόρου Sputnik 1, με μέγεθος όσο μια μπάλα και βάρος 80 Kg . Ο πρώτος δορυφόρος GPS εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1978.

Το δίκτυο δορυφόρων που αναγνωρίζουν οι συσκευές GPS του εμπορίου έχει τεθεί σε τροχιά από τις Υπηρεσίες Αμυνας των ΗΠΑ και λέγεται NAVSTAR (υπάρχει και αντίστοιχο ρωσικό δίκτυο). Το σύστημα αυτό λειτουργεί σήμερα με τη βοήθεια 29 δορυφόρων των σειρών BLOCK II, IIA IIR, IIR-M, και βρίσκονται σε τροχιά στο διάστημα, σε απόσταση 11 χιλιάδων ναυτικών μιλίων από τη γη ενώ κινούνται σε 6 διαφορετικές τροχιές. Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση, κάνοντας 2 πλήρεις περιφορές γύρω από τη γη σε λιγότερο από 24 ώρες. Αν το υπολογίσουμε με μαθηματικά θα δούμε ότι η ταχύτητά τους φτάνει τα 1,8 μίλια το δευτερόλεπτο. Ο πρώτος δορυφόρος GPS ήταν της σειράς BLOCK I (1^η εκτόξευση το 1978). Οι δορυφόροι της σειρά II τέθηκαν σε τροχιά από το 1989 ενώ το Σεπτέμβριο του 2005 εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος της σειράς IIR-M (με εκπομπή του κώδικα C/A στην δεύτερη συχνότητα L₂) και το 2006 έγινε η πρώτη εκτόξευση δορυφόρου της σειράς BLOCK IIF (με επιπρόσθετα εκπεμπόμενα σήματα).

4.6.2 Τρόπος λειτουργίας δορυφόρων

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα εξαιρετικά πολύπλοκο δορυφορικό σήμα (δύο υψηλές συχνότητες της τάξης του 1.5 GHz, διαμορφωμένες από κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου (PRN) και ένα μήνυμα δεδομένων). Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε 21 δορυφόρους ενώ από τα τέλη του 1993 ο αριθμός τους είναι σταθερά πάνω από 24. Ο αριθμός των 24 δορυφόρων αποτελεί τον απαραίτητο αριθμό για την πλήρη λειτουργία του συστήματος, όπως σχεδιάστηκε. Έτσι, μπορούν να παρατηρούνται ταυτόχρονα έξι έως οκτώ δορυφόροι από οποιοδήποτε σημείο της γήινης επιφάνειας με καλό ορίζοντα (ορατότητα δεκτών προς τους δορυφόρους). Οι δορυφόροι είναι τοποθετημένοι ομοιόμορφα σε 6 τροχιακά επίπεδα, ανά 60° στο ισημερινό επίπεδο και γωνία κλίσης 55° ως προς το ισημερινό επίπεδο. Ο δορυφορικός σχηματισμός έχει τέτοια διάταξη ώστε από κάθε σημείο της γήινης επιφάνειας να λαμβάνεται δορυφορικό σήμα από τουλάχιστον 4 δορυφόρους θεωρώντας ότι δεν παρεμβάλλονται εμπόδια μεταξύ δέκτη και δορυφόρων.



Εικόνα 14: Δορυφορικός σχηματισμός GPS

4.6.3 Κατηγορίες δορυφόρων

4.6.3.1 Block I

Με την πραγματοποίηση των πρώτων πειραμάτων δημιουργήθηκαν οι πρώτης γενειάς δορυφόροι Block I. Οι δορυφόροι αυτοί χαρακτηρίστηκαν ως δορυφόροι επίδειξης ενώ είχαν σκοπό κυρίως πειραματικό. Το βάρος τους ήταν 845 κιλά και είχαν δυνατότητα αυτόνομης πλοήγησης χωρίς την παρέμβαση επίγειου σταθμού για 3-4 μέρες. Για πρώτη φορά ένας τέτοιος δορυφόρος μπήκε σε τροχιά στις 22 Φεβρουαρίου του 1978. Στις 9 Οκτωβρίου του 1985 μπήκε σε τροχιά ο τελευταίος Block I δορυφόρος. Σήμερα δεν είναι σε λειτουργία κανένας τέτοιος δορυφόρος. Οι δορυφόροι αυτοί έχουν διάρκεια ζωής 4.5 έτη. Σημείο απογείωσης των συγκεκριμένων δορυφόρων υπήρξε η αεροπορική βάση του Vanderberg στην Καλιφόρνια. Η γωνία κλίσης τους ως προς τον ισημερινό ήταν 63 μοίρες.

4.6.3.2 Block II IIA

Οι Block II δορυφόροι σε σχέση με τους Block I έχουν διαφορές στο σχήμα, το βάρος (1500 κιλά), τη γωνία κλίσης (55 αντί για 63 μοίρες), την αυτονομία πλοήγησης (14 μέρες) και τη διάρκεια ζωής (7.5 έτη). Το διαστημικό κέντρο Kennedy στο Cape Canaveral της Florida, χρησιμοποιήθηκε για την απογείωση τους. Συνολικά εκτοξεύθηκαν 9 δορυφόροι Block II και 19 Block IIA, ενώ ο πρώτος εκτοξεύθηκε στις 14 Φεβρουαρίου του 1989 και μπήκε σε τροχιά στις 14 Απριλίου του 1989.

4.6.3.3 Block IIR

Η πρώτη απόπειρα εκτόξευσης δορυφόρου Block IIR έγινε στις 17 Ιανουαρίου 1997, αλλά μια έκρηξη κατά τη διαδικασία εκτόξευσης κατέστρεψε το δορυφόρο. Η διάρκεια ζωής τους φτάνει τα 10 έτη και ζυγίζουν 2.032 κιλά. Ωστόσο ακολούθησε η κατασκευή των Block II-R-M δορυφόρων, οι οποίοι ζυγίζουν 2.061 κιλά με πρώτη εκτόξευση στις 26 Σεπτεμβρίου 2005.

4.6.3.4 Block IIF

Στις 9 Σεπτεμβρίου του 2007 η Boeing ανακοίνωσε ότι είχε ολοκληρώσει τη συναρμολόγηση του πρώτου δορυφόρου της σειράς Block IIF. Οι Block IIF είναι δορυφόροι GPS τελευταίας γενειάς και παράλληλα οι πιο σύγχρονοι. Επίσης προσθέτουν ένα νέο ξεχωριστό σήμα για πολιτική χρήση, που ονομάζεται L5. Η διάρκεια ζωής τους φτάνει τα 15 έτη πλοήγησης. Ο πρώτος Block IIF δορυφόρος σχεδιάστηκε να μπει σε τροχιά το 2008.

4.6.3.5 Block III

Η πρώτη εκτόξευση δορυφόρου Block III είναι προγραμματισμένη να γίνει το 2013 αν και αρχικά είχε προγραμματιστεί για το 2012. Ο λόγος της καθυστέρησης αυτής είναι η αναπροσαρμογή κάποιων συστημάτων, με σκοπό τη βελτίωσή τους ως προς της στρατιωτικές και πολιτικές απαιτήσεις.

4.6.4 TOPEX/Poseidon

Ο TOPEX/Poseidon είναι ένας δορυφόρος ο οποίος μπήκε σε τροχιά το 1992. Ήταν μια κοινή αποστολή της NASA(Η.Π.Α.) και της CNES(Γαλλία) που απέβλεπε στη χαρτογράφηση της θαλάσσιας επιφανειακής τοπογραφίας. Έφερε επανάσταση στην ωκεανογραφία και απέδειξε την αξία του με τις σημαντικές παρατηρήσεις που κατέγραψε.

Πριν από τον TOPEX/Poseidon, οι επιστήμονες είχαν μόνο μια σύντομη ματιά των ωκεανών της γης. Ο TOPEX/Poseidon παρείχε την πρώτη συνεχή παγκόσμια κάλυψη της θαλάσσιας επιφανειακής τοπογραφίας. Κινείται σε απόσταση 1.330 χιλιομέτρων πάνω από τη γη και καλύπτει το 95% της επιφάνειας των ωκεανών παρέχοντας ακρίβεια 3,3 εκατοστών. Σημαντικότερο επίτευγμα της αποστολής ήταν να καθορίσει τα πρότυπα της κυκλοφορίας των ωκεανών, δηλαδή πως η θερμότητα αποθηκεύεται στον ωκεανό και μεταφέρεται από το ένα μέρος στο άλλο. Δεδομένου ότι ο ωκεανός κατέχει την περισσότερη θερμότητα στη γη από τον ήλιο, η κυκλοφορία των ωκεανών αποτελεί την κινητήρια δύναμη της αλλαγής του κλίματος.



Εικόνα 15: Ο δορυφόρος TOPEX/Poseidon

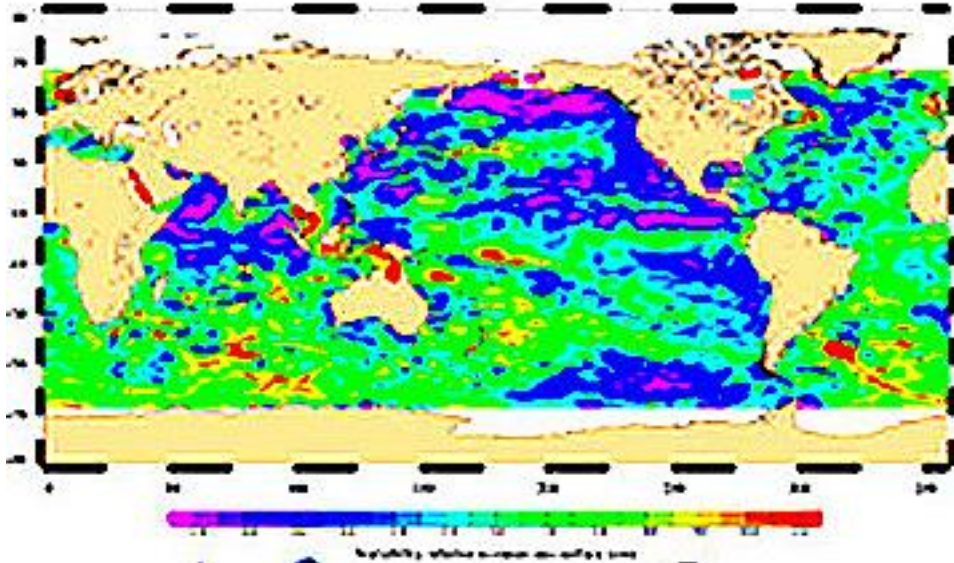
Μερικά από τα επιτεύγματα του TOPEX/Poseidon είναι :

1. Η μέτρηση του επιπέδου της θάλασσας με πρωτοφανή ακρίβεια.
2. Η χαρτογράφηση, για πρώτη φορά, των παγκόσμιων παλιρροιών.
3. Η παρακολούθηση της επίδρασης των ρευμάτων για την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος.
4. Η παρακολούθηση φαινομένων μεγάλης κλίμακας, όπως το Ελ νίνιο.
5. Βελτίωσε σημαντικά τη γνώση μας στον τομέα της γήινης βαρύτητας.
6. Μας έδωσε βελτιωμένη γνώση του βαρυτικού πεδίου της γης.

Τον Οκτώβριο του 2005 μετά από ολοκλήρωση περισσότερων από 62.000 τροχιών, ο TOPEX / Poseidon σταμάτησε να παρέχει επιστημονικά δεδομένα μετά από μια σοβαρή βλάβη που υπέστη.

4.6.5 JASON-1

Ο δορυφόρος JASON-1, διαδέχτηκε τον TOPEX / Poseidon στην αποστολή μέτρησης της θαλάσσιας επιφανειακής τοπογραφίας. Για ακόμα μια φορά ο JASON-1 ήταν αποτέλεσμα της συνεργασίας της NASA με την CNES και ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2008. Ο Jason-1 σχεδιάστηκε για να μετρήσει την αλλαγή του κλίματος μέσα από πολύ ακριβείς μετρήσεις των ετήσιων παγκόσμιων αλλαγών της στάθμης της θάλασσας. Ο Jason-1 ξεκίνησε στις 7 του Δεκεμβρίου 2001 από την αεροπορική βάση του Vandenberg της Καλιφόρνιας. Τους πρώτους μήνες η τροχιά που διαγράφει είναι πανομοιότυπη με την τροχιά του TOPEX / Poseidon μέχρι τη στιγμή που μεταφέρθηκε σε νέα τροχιά.



Εικόνα 16: Ο πρώτος χάρτης της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας που φτιάχτηκε με τη Βοήθεια του Jason-1

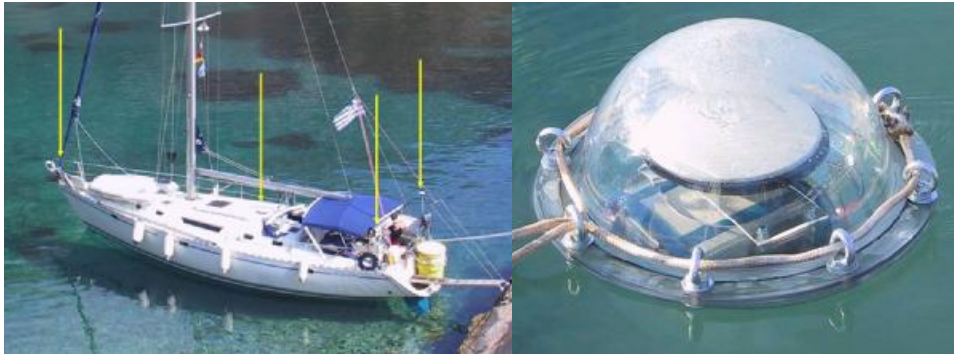
Ο ωκεανός είναι η κύρια αποθήκη της Γης σε ηλιακή ενέργεια. Οι μετρήσεις του Jason-1 του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας αποκαλύπτουν τις περιοχές όπου η θερμότητα αποθηκεύεται, πώς κινείται γύρω από τη Γη μέσω των ωκεάνιων ρευμάτων, και το πώς αυτές επηρεάζουν τον καιρό και το κλίμα. Ο JASON-1 διαθέτει πέντε δορυφορικά όργανα:

1. Poseidon 2 – TOPEX
2. DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning).
3. Ραδιόμετρο Μικροκυμάτων Jason (JMR).
4. GPS τύπου BlackJack.

Ένα σύνολο ανακλαστήρων λέιζερ, που βοηθούν στη διόρθωση των μετρήσεων των υψομέτρων.

4.7 GPS on boat

Η επιφάνεια των ωκεανών έχει σκαμπανεβάσματα, παρόμοια με τους λόφους και κοιλάδες της επιφάνειας της γης Γης που απεικονίζονται σε ένα τοπογραφικό χάρτη. Αυτές οι παραλλαγές, που ονομάζονται "επιφανειακή τοπογραφία των ωκεανών» ή «δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας», καθορίζονται με μετρήσεις του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας σε σχέση με το γεωειδές της Γης. Μία από τις μεθόδους προσδιορισμού των παραλλαγών αυτών είναι η μέθοδος GPS on boat. Με την μέθοδο αυτή μελετάται η επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία (SST) και το γεωειδές. Είναι ένας από τους πιο σύγχρονους τρόπους προσέγγισης και μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο σε ανοικτές θάλασσες, αλλά και σε κόλπους, κανάλια κ.τ.λ.. Αυτό αποτελεί και το πλεονέκτημα του 'GPS on boat', σε σχέση με άλλες μεθόδους προσέγγισης. Η όλη διαδικασία βασίζεται στη συλλογή στοιχείων μέσω ενός συστήματος που αποτελείται από μερικές κεραιές GPS, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε πλωτό σκάφος, αλλά και σε ένα σύνολο σηματοδότηρων εξοπλισμένων με GPS, όπως φαίνονται στις εικόνες 17.



Εικόνα 17 : Συσκευή GPS on boat

Η επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία καθορίζεται από πολλά στιγμιαία ύψη της θαλάσσιας επιφάνειας (SSH), που καταγράφονται από τους δέκτες GPS του σκάφους και των σηματοδότηρων, κάθε ένα δευτερόλεπτο. Το σκάφος πλέει με μια σταθερή ταχύτητα (μεταξύ 3 - 3,7 m / s). Οι υψομετρικές διαφορές της θαλάσσιας επιφάνειας, φιλτράρονται δίνοντας μια μέση τιμή με τυπική απόκλιση -0,2 εκατοστά με 1,2 εκατοστά.

Ωστόσο πρέπει να εφαρμοστούν αρκετές διορθώσεις στις μετρήσεις, ιδίως λόγω των παλίρροιας και διάφορων ατμοσφαιρικών επιδράσεων.

Οι διορθώσεις αυτές επιτυγχάνονται με τη βοήθεια των παγκόσμιων μοντέλων παλίρροιας των ωκεανών.

Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί με επιτυχία το 2003 στην Κορσική και το 2004-2005 στο Αιγαίο πέλαγος. Παρ' όλα αυτά η τεχνική αυτή παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες, μιας και βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο.

5. Πείραμα στον πατραϊκό με GPS

5. ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρετε στη αναλυτική περιγραφή του πειράματος, που έγινε στην περιοχή του Πατραϊκού κόλπο , για τον προσδιορισμό της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας . Το πείραμα ξεκίνησε στις 11 Νοέμβριου του 2010 και τελείωσε της 17 Νοέμβριου του 2010 .

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1.1 Περιγραφή του πειράματος

Στην παρούσα πτυχιακής εργασία, για τη μελέτη της επιφανειακής θαλάσσιας χαρτογραφίας έγιναν πειράματα με ένα ιστιοπλοϊκό σκάφος και 4 GPS τοποθετημένα πάνω σε μια αυτοσχέδια σανίδα σχήμα 5.1. Η σανίδα τροποποιήθηκε κατάλληλα και τοποθετήθηκε πίσω από το ιστιοπλοϊκό σχήμα 5.2. Για να επιλυθούν γίνουν οι μετρήσεις , είχαμε τρεις σταθερούς σταθμούς στο, Αιτωλικό στο Καλαμάκι και στο Πανεπιστήμιο Πατρών



Σχήμα 5.1. σανίδα με τα GPS



Σχήμα 5.2. σανίδα να την ρυμουλκεί το σκάφος

5.1.2 Θαλάσσιες Πορείες

Η σάρωση της περιοχής έγινε με τρεις ποριές έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη επεξεργασία των στοιχείων .

Οι ποριές αυτές είναι

Πρώτη ποριά Πέμπτη, 11 Νοεμβρίου 2010

Μαρίνα Πάτρας έως Φυδάρι και από Φυδάρι έως κάτω Αχαΐα από κάτω Αχαΐα έως μαρίνα Πάτρας

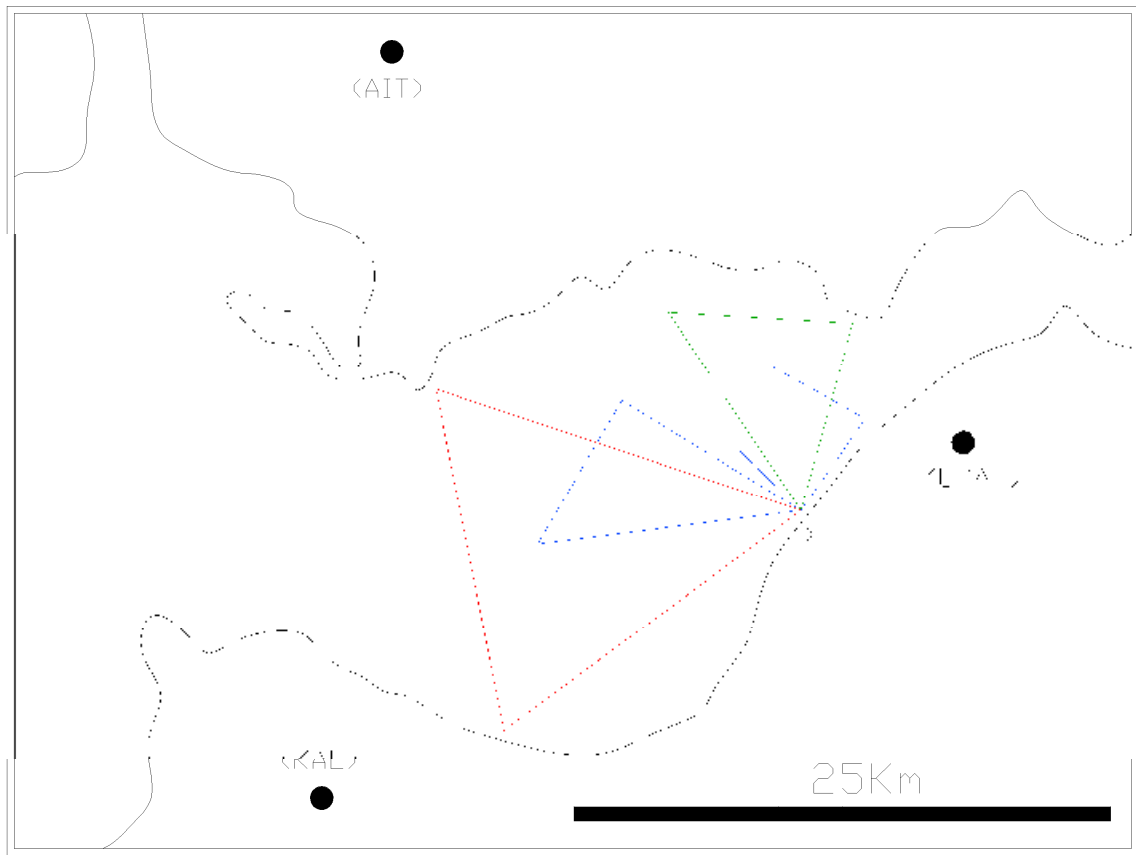
Δεύτερη παρία Παρασκευή, 12 Νοεμβρίου 2010

Μαρίνα Πάτρα έως Αντίρριο έως και Κρυονέρι έως μαρίνα Πάτρα

Τρίτη παρία Τετάρτη, 17 Νοέμβρη 2010

Τετράγωνο : πάτρα – Αγυιά –Βόρια –Δυτικά- μαρίνα

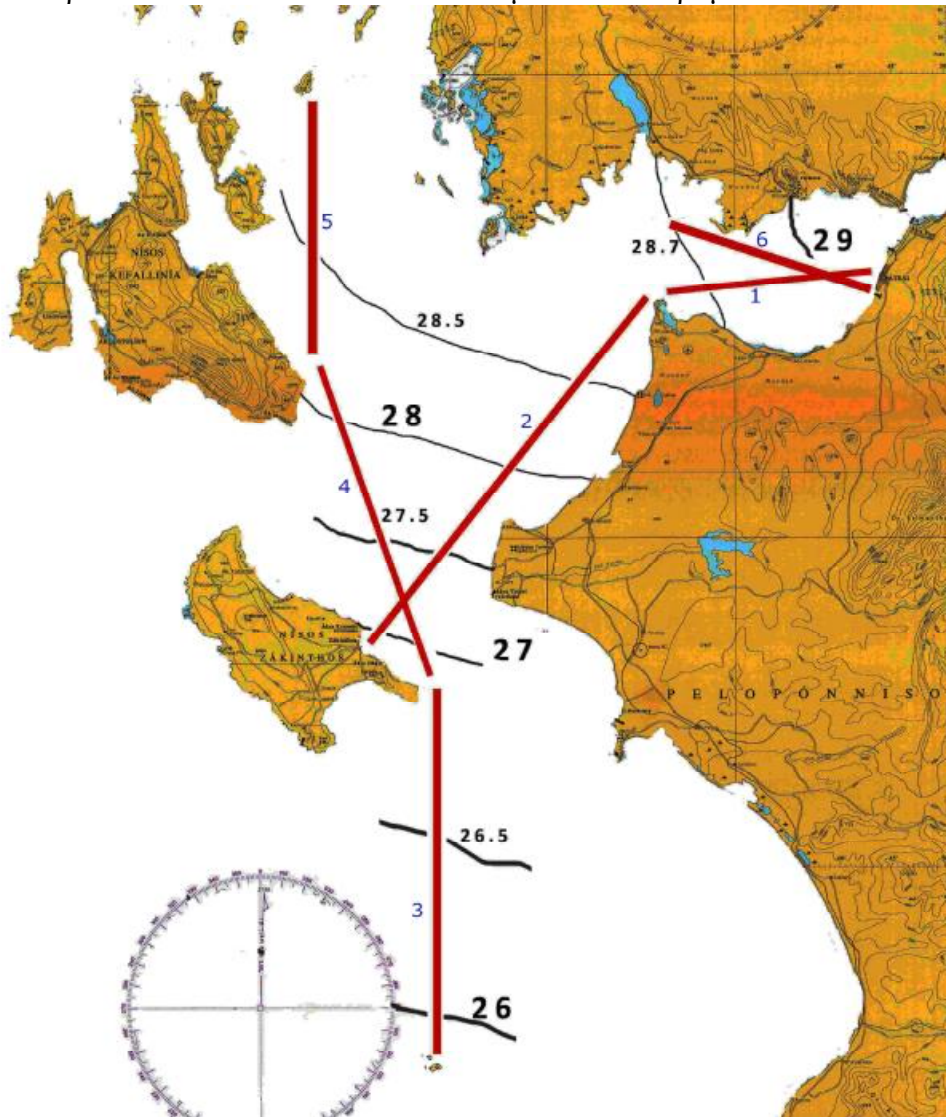
Μαρίνα πάτρα προς Φίδαρι έως γέφυρα Ρίου έως μαρίνα Πάτρας πίσω



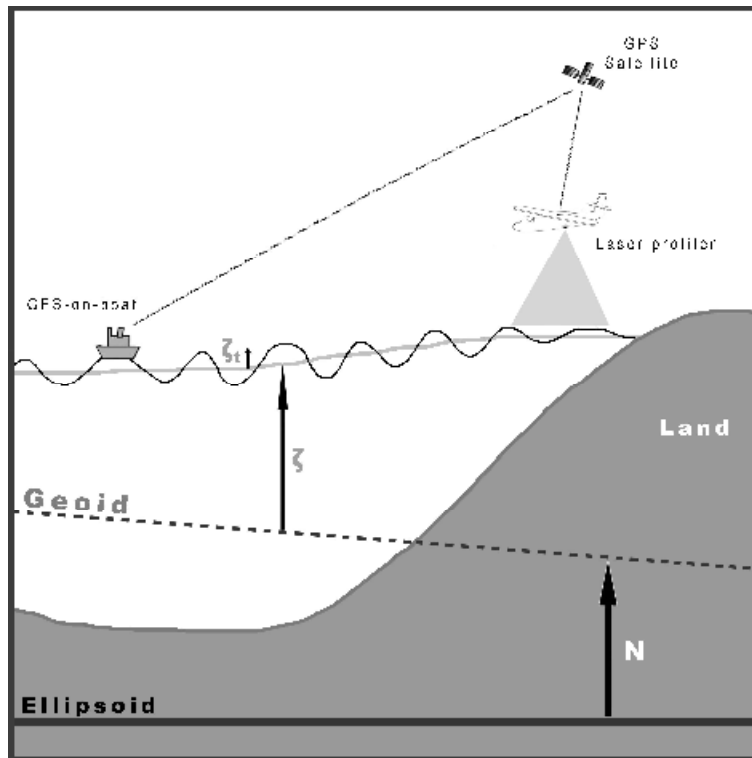
Σχήμα 4.3. χάρτης με τις διαδρομές κατά την σάρωση του περάματος με κόκκινο είναι η πρώτη πορεία , με πράσινο είναι η δεύτερη πορεία και με μπλε είναι η τρίτη πορεία

5.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

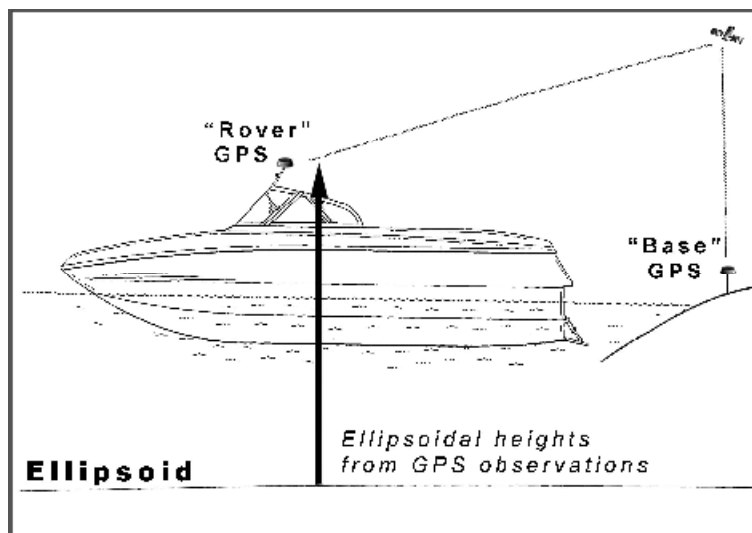
Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα των πειραμάτων:

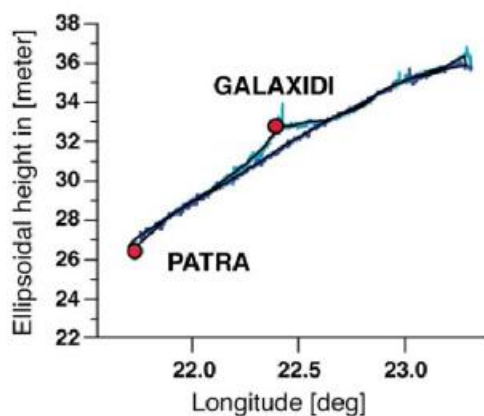


Παλαιότερη έρευνα που εμπεριέχει και την περιοχή μελέτης μας



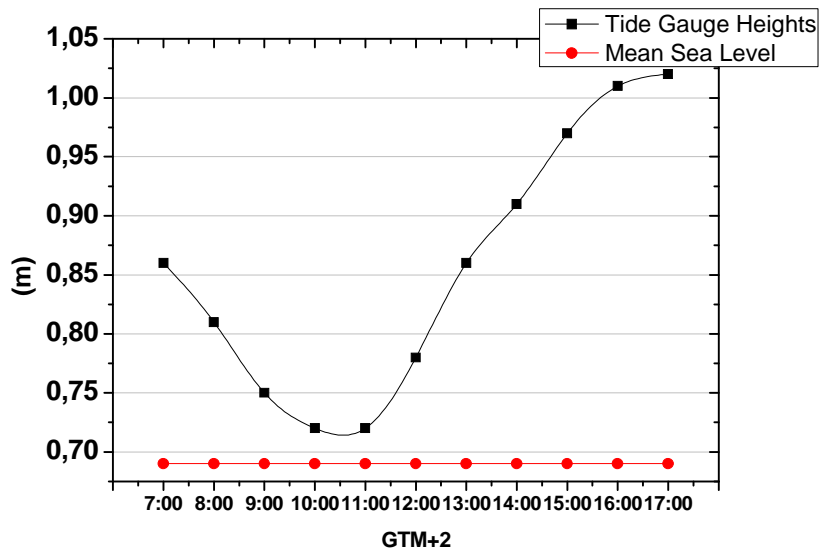
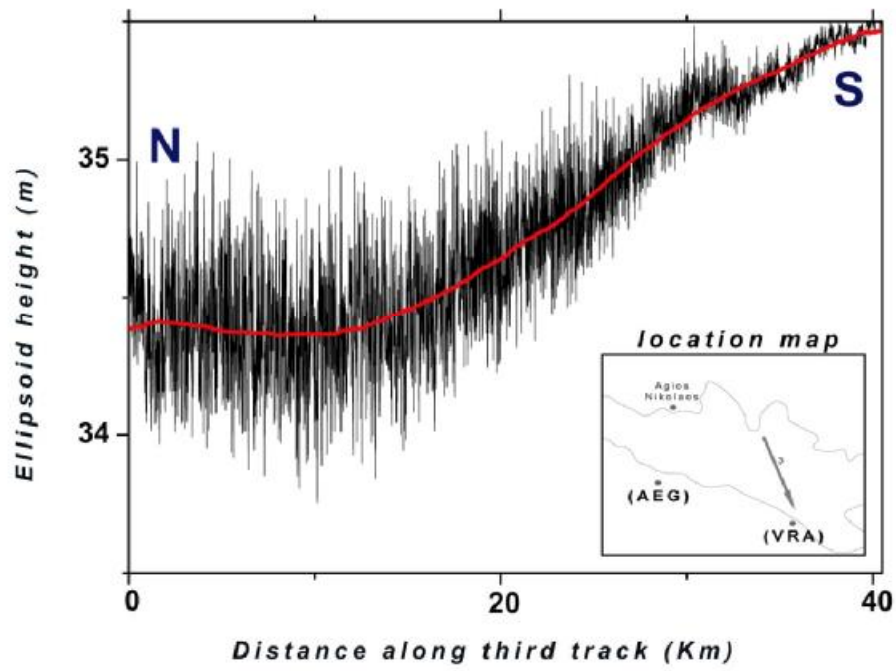
Η μέθοδος GPS-on boat που χρησιμοποιήσαμε



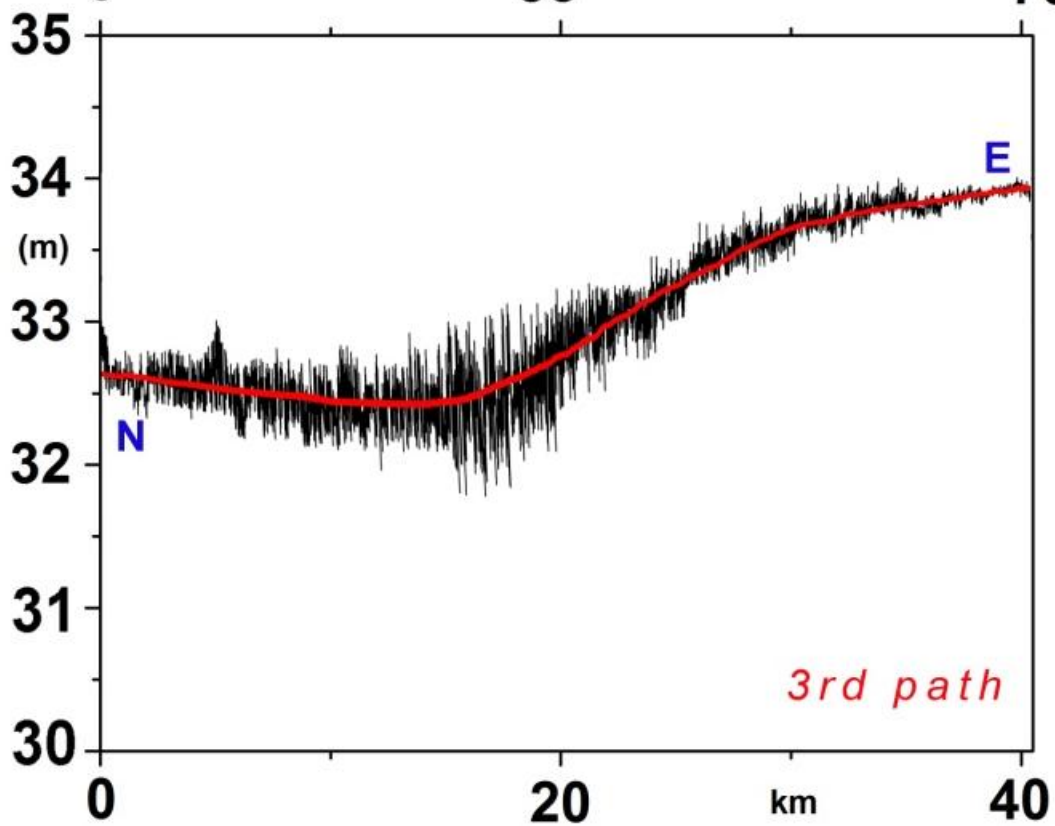
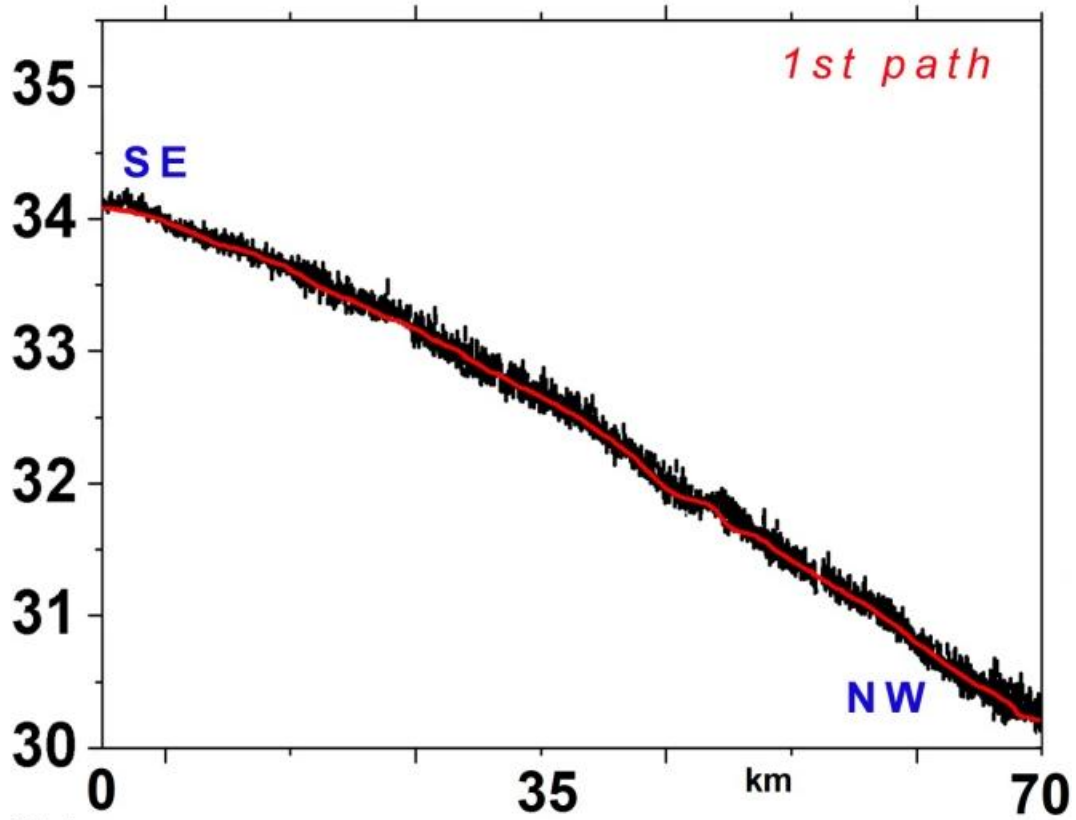


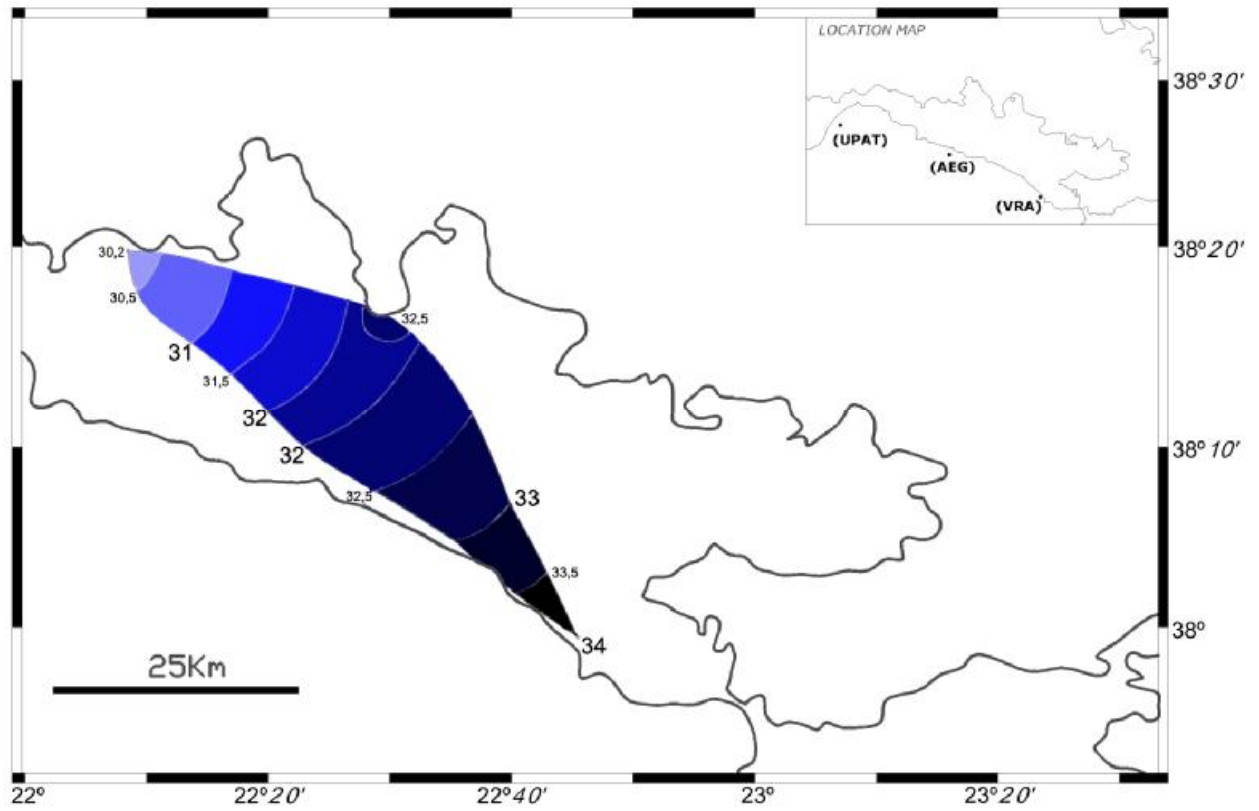
Πίνακας: δεδομένα καιρού

Tracks	from	to	Wind (Knots)	Wave height (m)	Atm. Pressure (mBar)	Temperature (C)
1st	8.37'	9.38'	4-6	0.1 - 0.2	987.16 - 986.86	12.0 - 15.7
2nd	11.02'	14.34'	5-7	0.3 - 0.5	986.79 - 987.06	16.0 - 15.4
3rd	14.37'	15.47'	11-14	0.5 - 0.8	987.03 - 988.26	15.3 - 11.5



STATION:	Posidonia
Latitude:	37° 57' 08.0"
Longitude:	23° 57' 38.6"
High Water Level (m):	1.30
Mean High Water (m):	0.85
Mean Sea Level (m):	0.69
Mean Low Water (m):	0.55
Lowest Low Water (m):	0





6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την παρούσα εργασία με άλλες έρευνες που ακολούθησαν διαφορετικές μεθοδολογίες και αφορούν την περιοχή μελέτης μπορούμε να πούμε ότι η καταγραφή της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας με GPS – on boat είναι μια αρκετά καλή μέθοδος. Τα αποτελέσματά μας φαίνεται να συμφωνούν με παλαιότερες έρευνες σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό όπως είδαμε και προηγούμενα. Σημαντική είναι ακόμα και η επιβεβαίωση της μορφής του γεωειδούς για την περιοχή μελέτης μέσω του υψομετρικού χάρτη που προέκυψε για την επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία της περιοχής.

Μια ακόμα συμβολή της παρούσας εργασίας είναι οι έντονες μεταβολές που παρουσιάζει η επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία και κατ' επέκταση το γεωειδές στις παράκτιες περιοχές. Οι παρατηρήσεις αυτές επιβεβαιώνουν τις αναφορές που υπάρχουν στην βιβλιογραφία, κυρίως για τις περιοχές που παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές στον πυθμένα της θάλασσας.

Με την παρούσα εργασία καταφέραμε να έχουμε μια εκτίμηση για το γεωειδές της περιοχής μελέτης μέσω της καταγραφής της επιφανειακής θαλάσσιας στάθμης. Οι συνθήκες που επικρατούσαν καθόλη τη διάρκεια του πειράματος καθώς και η γενική συμφωνία των αποτελεσμάτων μας με παλαιότερες μελέτες μας επιτρέπουν να είμαστε αρκετά βέβαιοι για την ορθότητα της σύνδεσης που επιχειρήσαμε. Όμως, η μη ύπαρξη «συνοριακών συνθηκών» καθιστά αδύνατη την επέκταση των συμπερασμάτων για την ακρίβεια με την οποία μετρήσαμε την επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία και στο γεωειδές. Για τη σύνδεση της καταγεγραμμένης επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας με το γεωειδές απαιτούνται ορισμένες συνοριακές μετρήσεις για τη μέση στάθμη της θάλασσας με όμοιες γεωδαιτικές μεθόδους. Με αυτά τα δεδομένα η πιθανή διόρθωση του υψομετρικού χάρτη θα μας έδινε με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια τις μεταβολές του γεωειδούς στην περιοχή μελέτης.

Η ακρίβεια με την οποία καταφέραμε να υπολογίσουμε τον υψομετρικό χάρτη είναι αρκετά σημαντική (4,5 cm, με ηχηρή εξαίρεση την τέταρτη διαδρομή όπου παρουσιάζει ακρίβεια 11 cm). Αυτή η παρατήρηση μας κάνει να προσδοκούμε σημαντική βελτίωση της ακρίβειας στο μέλλον, αν βελτιώσουμε τη μέθοδο τόσο κατά την συλλογή όσο και κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Σε αυτό το στάδιο η παρουσία περισσότερων σταθερών γεωδαιτικών σταθμών κρίνεται απαραίτητη καθώς η ίδια η λειτουργία της εφαρμογής kinematic GPS μας επιβάλλει μικρότερες αποστάσεις.

Οι εφαρμογή αυτής της μεθόδου ανοίγει, τέλος, ένα νέο πεδίο έρευνας για το γεωειδές, κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Η έρευνα σε αυτές τις περιοχές λόγω και τις μικρής απόστασης που μπορούν να έχουν οι σταθεροί γεωδαιτικοί σταθμοί μπορεί να μας δώσει αποτελέσματα πολύ υψηλής ακρίβειας σε περιοχές όπου οι άλλες μέθοδοι αδυνατούν (δορυφόροι, laser profiler).

7.Βιβλιογραφία

- Bonnefond P, P. Exertier ,O. Laurain ,Y. Ménard , A. Orsoni , E. Jeansou , B. J. Haines , D. G.Kubitschek , G. Born f, (2008), “Leveling the Sea Surface Using a GPS-Catamaran”, *Marine Geodesy*, 2008
- Brozena J. M ., Peters M. F ., (1993). “Airborne Measurement of Absolute Sea-Surface Heights”, *Geophysical Research Letters*, VOL. 20, NO. 9, PAGES 875-878, MAY 5, 1993
- Cocard M., Geiger A., Kahle H.-G., Veis G., (2002) “Airborne laser altimetry in the Ionian Sea, Greece”, *Global and Planetary Change* 34 (2002) 87–96
- Drottning H. A., Knudsen P., (1994), “Estimation of the Sea Surface Topography off the Mid-Norway Using Geosat Altimetry and Sea-Gravity Data” , *Geophysical Monograph* 82, IUGG Volume 17, p.p. 79-86
- Foster, J. H., Carter, G. S. and Merrifield, M. A., “Ship-based measurements of sea surface topography”, *Geophysical Research Letters*, VOL. 36, L11605, doi:10.1029/2009GL038324, 2009
- Hipkin R., (2000), “Modelling the Geoid and Sea-Surface-Topography in Costal areas”, *Phys. Chem. Earth (A)*, 2000
- Leandro D., (2009) “Investigation GPS positioning "indoor" environment with the help of multipath effect” *Boletim de Ciencias Geodesicas* 15 (4), pp. 686-687
- Lycourghiotis S., Stiros S., (2010) “Sea Surface Topography in the Gulf of Patras and the southern Ionia sea using GPS”, *12th Internasional Congress of the Geological Society of Greece*, Volume XLIII, No 2. pp. 1029 -1034
- Pavlis, E.C., Mertikas, S.P., (2004), “The GAVDOS mean sea level and altimeter calibration facility: Results for Jason-1”. *Marine Geodesy*, 27 (3-4), pp. 631-655.
- Tsoulis, (1995), “Orthometric Height Determination from a Combination of GPS and Gravity Data”. *Paper submitted to the ION GPS-95 student competition, 1995.*

Tsimplis, M.N., Proctor, R., Flather, R.A., (1995). “A two dimensional tidal model for the Mediterranean Sea”. *J. Geophys. Res.* 100 (C8), 16223– 16239.

[Tsimplis, M.N.](#) (1994) “Tidal oscillations in the Aegean and Ionian Seas”, *Estuarine, Coastal & Shelf Science* 39 (2), pp. 201-208

Tsimplis, M.N (1992) “Tide harmonic analysis of Greek ports (in Greek)”, *Hydrographic Military Service*

Hwang, C., Hsiao, Y.-S., Shih, H. –C., Yang, M., Chen, K. –H., Forsberg R., and Olesen, A. V., (2007). “Geodetic and geophysical results from a Taiwan airborne gravity survey: Data reduction and accuracy assessment”, *Journal Of Geophysical Research*, VOL. 112, B04407, doi:10.1029/2005JB004220, 2007

Yabuki T., Fujita M., (2003), “Kinematic GPS positioning on sea surface and sea surface heights”, 2003