

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

OF ATHENS

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ

SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING

ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ENGINEERING

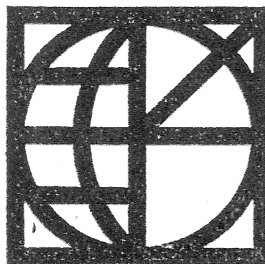
ΚΕΝΤΡΟ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΔΙΟΝΥΣΟΥ

DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ  
ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ GPS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΑ ΦΑΡΜΑΚΙΔΟΥ



ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Μελέτη της ιονόσφαιρας στην Ελλάδα μέσω της  
επεξεργασίας παρατηρήσεων GPS

Ιωάννα Κ. Φαρμακίδου

22 Δεκεμβρίου 2013



## Ευχαριστίες

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ανώτερης Γεωδαισίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., κ. Δημήτριο Παραδείση, για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την καθοδήγηση και την επίβλεψη καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της, αλλά και για την καθοριστική συμβολή και προσφορά του στη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Παπανικολάου Ξάνθο για τη στήριξη, τις συμβουλές και το χρόνο που διέθεσε για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, επίσης, στους υποψήφιους διδάκτορες Δημήτριο Αναστασίου και Αγγελική Μαρίνου και στον ΙΔΑΧ - ΠΕ Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών Βασίλειο Μασσίνα, που ήταν πάντα πρόθυμοι να μου λύσουν οποιαδήποτε απορία προέκυπτε. Ένα ξεχωριστό ευχαριστώ θέλω να πω στις συμφοιτήτριες, αλλά κυρίως φίλες μου, Αλίκη, Λίτσα, Μαρίνα και Χρυσή για όλες τις στιγμές που μοιραστήκαμε και διαμορφώσαμε, αλλά κυρίως για αυτές που μας διαμόρφωσαν, τα έξι αυτά προπτυχιακά χρόνια. Μαζί τους τα φοιτητικά χρόνια ήταν πραγματικά μια αξέχαστη εμπειρία. Ευχαριστώ, επίσης, τη Ρομίνα και τη Ναταλία που ήταν και ελπίζω να είναι και στον μέλλον δίπλα μου παρά τα χιλιόμετρα που μας χωρίζουν. Επιπλέον, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Πέτρο για τις συμβουλές στη συγγραφή της παρούσας εργασίας και για τη στήριξή του σε όλα τα επίπεδα.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, τέλος, στους γονείς μου, Κώστα και Μίχα, που με την πίστη τους στις ικανότητές μου έγιναν αρωγοί σε όλους τους στόχους και τα όνειρά μου.

*Στην αδερφή μου, Ντενίς*

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	7
Abstract	8
Εισαγωγή	18
<b>I Θεωρητικό Υπόβαθρο</b>	<b>19</b>
<b>1 Ιονόσφαιρα</b>	<b>20</b>
1.1 Γενικά . . . . .	20
1.1.1 Περιοχή D . . . . .	20
1.1.2 Περιοχή E . . . . .	21
1.1.3 Περιοχή F . . . . .	22
1.2 Παράγοντες επιρροής της ιονόσφαιρας . . . . .	23
1.2.1 Ώρα . . . . .	23
1.2.2 Εποχή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας . . . . .	23
1.2.3 Γεωγραφικό πλάτος . . . . .	24
1.2.4 Ηλιακή δραστηριότητα . . . . .	24
1.3 Ιονοσφαιρικές ανωμαλίες . . . . .	24
1.3.1 Ιονοσφαιρικές θύελλες . . . . .	24
1.3.2 TIDs . . . . .	24
1.3.3 Διαταραχές μικρής κλίμακας . . . . .	25
1.4 IGS . . . . .	25
1.4.1 IGS και ιονόσφαιρα . . . . .	27
1.5 EUREF . . . . .	27
1.6 NOA . . . . .	29
<b>2 Αρχεία IONEX</b>	<b>31</b>
2.1 Γενικά . . . . .	31
2.2 Παραγωγή αρχείων IONEX . . . . .	31
2.3 Η δομή των αρχείων IONEX . . . . .	31
2.4 Χάρτης TEC . . . . .	33
2.4.1 TECU . . . . .	34
2.5 Χρησιμότητα ιονοσφαιρικών προϊόντων . . . . .	34
2.6 Ιονοσφαιρικές διορθώσεις και λογισμικό πακέτο Bernese . . . . .	35
<b>3 GPS</b>	<b>37</b>
3.1 Γενικά . . . . .	37
3.2 Βασικές αρχές λειτουργίας του GPS . . . . .	38
3.3 Differential GPS . . . . .	39

3.4	Τεχνικές μέτρησης των ψευδοαποστάσεων . . . . .	39
3.4.1	Κώδικας . . . . .	40
3.4.2	Φέρουσα φάση . . . . .	40
3.5	Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην φέρουσα φάση και στο δια- φορικό εντοπισμό . . . . .	42
3.5.1	Επίλυση ασαφειών . . . . .	43
3.6	Σφάλματα στο GPS . . . . .	44
3.6.1	Συστηματικά σφάλματα . . . . .	46
3.6.2	Χοντροειδή σφάλματα . . . . .	46
3.6.3	Σφάλματα θορύβου . . . . .	47
3.7	Τοπογραφικές εργασίες με GPS . . . . .	47
3.7.1	Σχετικός Στατικός Εντοπισμός . . . . .	47
3.8	Επίδραση της ιονόσφαιρας στις παρατηρήσεις GPS . . . . .	48
<b>II Επεξεργασία δεδομένων - Συμπεράσματα</b>		<b>50</b>
<b>4</b>	<b>Δίκτυο δορυφορικού εντοπισμού</b>	<b>51</b>
4.1	Γενικά . . . . .	51
4.2	Ημέρες επίλυσης του δικτύου . . . . .	53
4.3	Υλοποίηση συστήματος αναφοράς . . . . .	54
4.4	Επεξεργασία Δικτύου . . . . .	57
4.4.1	Επίλυση ασαφειών . . . . .	58
4.4.2	Τελικές συντεταγμένες . . . . .	59
4.4.3	Εξαγωγή αρχείων IONEX . . . . .	68
4.4.4	Προβλήματα κατά την επίλυση . . . . .	68
<b>5</b>	<b>Αποτελέσματα IONEX</b>	<b>71</b>
5.1	Γενικά . . . . .	71
5.2	Ανάλυση των αποτελεσμάτων . . . . .	71
5.3	Έλεγχος αποτελεσμάτων . . . . .	99
5.3.1	Διαγράμματα συγκρινόμενων IONEX . . . . .	99
5.3.2	Επίπτωση ιονόσφαιρας στην επίλυση ασαφειών . . . . .	102
<b>6</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>105</b>
	<b>Συντομογραφίες</b>	<b>109</b>
<b>III Παράρτημα</b>		<b>110</b>
	<b>Ασάφειες φάσης</b>	<b>111</b>

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της ιονόσφαιρας πάνω από τον ελλαδικό χώρο. Η προσέγγιση γίνεται μέσω της επεξεργασίας παρατηρήσεων GPS, από την οποία δημιουργούνται ιονοσφαιρικά μοντέλα προσαρμοσμένα κατά το δυνατόν καλύτερα στην Ελλάδα. Το θέμα αντιμετωπίζεται σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο μέρος διατυπώνεται το θεωρητικό πλαίσιο πάνω στο οποίο βασίζεται η μελέτη αυτή, ενώ στο δεύτερο παραθέτονται τα αποτελέσματα της μελέτης και διατυπώνονται τα συμπεράσματα για την ιονόσφαιρα πάνω από την Ελλάδα.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια προσπάθεια να προσεγγιστεί ολοκληρωμένα το θέμα της ιονόσφαιρας. Αρχικά, ορίζεται η έννοια και παρατίθενται τα χαρακτηριστικά στοιχεία που την περιγράφουν και στη συνέχεια μελετώνται οι παράμετροι που επηρεάζουν την πυκνότητα και την κατανομή των ιόντων. Παρουσιάζονται, επιπλέον, οι συχνότερες ιονοσφαιρικές ανωμαλίες που έχουν παρατηρηθεί. Τέλος, γίνεται αναφορά σε τρεις ιδιαίτερες σημαντικές υπηρεσίες για το GPS, την IGS, την EUREF και τη NOA.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά σε μια πολύ σημαντική κατάκτηση για τη μελέτη της ιονόσφαιρας, τα αρχεία IONEX (IONosphere EXchange). Συγκεκριμένα, περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής τους, η χρησιμότητα αυτών των αρχείων, τι πληροφορίες παρέχουν και πως συμβάλλουν στη μελέτη και την κατανόηση της ιονόσφαιρας και των φαινομένων που παρατηρούνται σ' αυτή.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία προσέγγιση της φιλοσοφίας του GPS επισημαίνοντας παράλληλα και κάποιες από τις βασικές αρχές της λειτουργίας του. Επιπλέον, παρατίθενται και αναλύονται τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις με GPS. Τέλος, γίνεται ειδική μνεία στις τοπογραφικές εφαρμογές που μπορούν να γίνουν με τη χρήση του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, ώστε τελικά να παραχθούν τα αρχεία IONEX που περιγράφονται στο πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα δίκτυο δορυφορικού εντοπισμού για το προσδιορισμό της θέσης τεσσάρων μόνιμων σταθμών, επιλεγμένων έτσι ώστε να περιβάλλουν την Ελλάδα.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κομμάτι της εργασίας, καθώς σε αυτό καταγράφονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα IONEX που παρήχθησαν από την επεξεργασία που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 4. Συμπληρωματικά, παραθέτονται και τα αποτελέσματα της σύγκρισης των παραχθέντων αρχείων IONEX με έτοιμα παγκόσμια IONEX της CODE.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας συνοψίζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη της ελλαδικής ιονόσφαιρας.



## Abstract

The present thesis aim to study the ionosphere over Greece. The study is carried out by processing GPS observation, which inturn ionospheric models adapted at the best possible way in Greece. In the first part of the research the theoretical framework is layed down. Then, in the second part the results of the study and its conclusions about the ionosphere over Greece are listed.

The first chapter of this study approaches the ionosphere in general. Initially, the meaning of ionosphere is defined, its features are listed and the parameters that affecting its density and its distribution of ions are considered. The most frequent observed ionospheric anomalies, are also being presented. Finally, three very important GPS services are being presented [namely: IGS, EUREF and NOA].

The second chapter deals with a very important achievement for the ionospheric research community, the IONEX (IONosphere EXchange) files. More specifically, it is described the production, the utility and the information content of these files, as well as their contribution to the study and understanding of the ionosphere and phenomena observed in there.

The third chapter is presented the general philosophy of GPS, while at the same time pointing out some of the basic principles of its operation. Also, the errors involved in measurements with GPS are quoted. Finally, there is specific reference to topographic applications that have become much easier by its use.

The fourth chapter presents the procedures followed for producing the IONEX files described in the fifth chapter of the thesis. For this purpose, a GPS network was generated to determine the position of four permanent stations, selected so as to surround the Greece.

The fifth chapter is perhaps the most important piece of this work, as this is where, the IONEX results are being evaluated. Additionally, the results of the comparison of the produced IONEX files and the global CODE's IONEX are presented.

The last chapter of the thesis summarizes the conclusions drawn from the study of the Greek ionosphere.

## Κατάλογος Σχημάτων

1	Η διάδοση των σημάτων μέσω της ιονόσφαιρας την ημέρα και τη νύχτα Wave propagation via ionosphere during the day and night . . . . .	21
2	Αναμετάδοση AM ραδιοκυμάτων κατά τη διάρκεια της ημέρα και της νύχτας Retransmission of AM waves during the day and night . . . . .	22
3	Η διάδοση των σημάτων μέσω της ιονόσφαιρας Wave propagation via the ionosphere . . . . .	23
4	Το παγκόσμιο δίκτυο παρακολούθησης δορυφόρων της IGS The worldwide GNSS tracking network of IGS . . . . .	26
5	Το ευρωπαϊκό δίκτυο παρακολούθησης δορυφόρων της IGS The european GPS tracking network of IGS . . . . .	26
6	Το δίκτυο μόνιμων σταθμών παρακολούθησης δορυφόρων του EUREF EU-REF permanent GNSS network . . . . .	28
7	Το δίκτυο σταθμών αναφοράς NOANET NOANET GNSS network . . . . .	29
8	Παγκόσμιος TEC χάρτης Worldwide TEC map . . . . .	33
9	Οι τροχιές των δορυφόρων, όπως απεικονίζονται για δεδομένο γεωγραφικό πλάτος $\beta$ The satellite's orbits, as they are illustrated by the $\beta$ latitude . . . . .	37
10	Διάταξη των τεχνητών δορυφόρων και των δεκτών για διαφορικό εντοπισμό θέσης σημείου DGPS satellite-recievers provisioning . . . . .	40
11	Τα δύο σήματα ταιριάζουν, αλλά η διαφορά φάσης παραμένει The two signals match, but there is still a phase difference . . . . .	41
12	Οι κύκλοι της Φέρουσας Φάσης και του Κώδικα The cycles of Code and Carrier-phase GPS signals . . . . .	41
13	Σφάλματα που υπεισέρχονται στον εντοπισμό θέσης και πώς αυτά επηρεάζουν Errors in positioning and their effect . . . . .	45
14	Καλή και κακή γεωμετρία του δορυφορικού αστερισμού Good and poor GDOP	45
15	Γραφική αναπαράσταση των σημείων του δικτύου Graphical representation of the network's stations . . . . .	52
16	Σημεία ελέγχου πάνω στο χάρτη της Ελλάδας Control points arranged onto the greek map . . . . .	72
17	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 16 TEC chart of the 1-5 points on the day 16 . . . . .	73
18	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 17 TEC chart of the 1-5 points on the day 17 . . . . .	74
19	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 18 TEC chart of the 1-5 points on the day 18 . . . . .	75
20	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 19 TEC chart of the 1-5 points on the day 19 . . . . .	76
21	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 20 TEC chart of the 1-5 points on the day 20 . . . . .	77
22	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 21 TEC chart of the 1-5 points on the day 21 . . . . .	78

23	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 22 TEC chart of the 1-5 points on the day 22 . . . . .	79
24	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 107 TEC chart of the 1-5 points on the day 107 . . . . .	80
25	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 108 TEC chart of the 1-5 points on the day 108 . . . . .	81
26	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 109 TEC chart of the 1-5 points on the day 109 . . . . .	82
27	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 110 TEC chart of the 1-5 points on the day 110 . . . . .	83
28	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 112 TEC chart of the 1-5 points on the day 112 . . . . .	84
29	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 113 TEC chart of the 1-5 points on the day 113 . . . . .	85
30	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 197 TEC chart of the 1-5 points on the day 197 . . . . .	86
31	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 198 TEC chart of the 1-5 points on the day 198 . . . . .	87
32	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 199 TEC chart of the 1-5 points on the day 199 . . . . .	88
33	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 200 TEC chart of the 1-5 points on the day 200 . . . . .	89
34	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 201 TEC chart of the 1-5 points on the day 201 . . . . .	90
35	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 202 TEC chart of the 1-5 points on the day 202 . . . . .	91
36	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 203 TEC chart of the 1-5 points on the day 203 . . . . .	92
37	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 289 TEC chart of the 1-5 points on the day 289 . . . . .	93
38	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 290 TEC chart of the 1-5 points on the day 290 . . . . .	94
39	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 291 TEC chart of the 1-5 points on the day 291 . . . . .	95
40	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 292 TEC chart of the 1-5 points on the day 292 . . . . .	96
41	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 294 TEC chart of the 1-5 points on the day 294 . . . . .	97
42	Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 295 TEC chart of the 1-5 points on the day 295 . . . . .	98
43	Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 016 Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 016	99

44	Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 107 Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 107100	
45	Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 197 Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 197100	
46	Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 289 Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 289101	
47	Η βάση μεγάλου μήκους που επιλύθηκε για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων The solved long base used for the result comparison . . . . .	103

## Κατάλογος Πινάκων

1.1	Πληροφορίες για τους μόνιμους σταθμούς του NOA Information about the permanent GPS stations of NOA . . . . .	30
3.1	Καθυστερήσεις του σήματος που οφείλονται σε 1 TECU ελεύθερων ηλεκτρονίων Signal delays, which are due to 1 TECU free electrons . . . . .	48
4.1	Ημέρες επίλυσης του δικτύου Days of the network's solution . . . . .	54
4.2	Υλοποίηση συστήματος αναφοράς την ημέρα «2011, 16» . . . . .	56
4.3	Οι βάσεις του δικτύου The network's bases . . . . .	58
4.4	Μεσοσταθμική προσέγγιση της επίλυσης των ασαφειών ανά ημέρα Weighted average of the ambiguities' solution by day . . . . .	59
4.5	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 016 Coordinates of the network's stations at day 016 . . . . .	60
4.6	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 017 Coordinates of the network's stations at day 017 . . . . .	60
4.7	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 018 Coordinates of the network's stations at day 018 . . . . .	60
4.8	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 019 Coordinates of the network's stations at day 019 . . . . .	60
4.9	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 020 Coordinates of the network's stations at day 020 . . . . .	61
4.10	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 021 Coordinates of the network's stations at day 021 . . . . .	61
4.11	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 022 Coordinates of the network's stations at day 022 . . . . .	61
4.12	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 107 Coordinates of the network's stations at day 107 . . . . .	62
4.13	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 108 Coordinates of the network's stations at day 108 . . . . .	62
4.14	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 109 Coordinates of the network's stations at day 109 . . . . .	62
4.15	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 110 Coordinates of the network's stations at day 110 . . . . .	63
4.16	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 112 Coordinates of the network's stations at day 112 . . . . .	63
4.17	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 113 Coordinates of the network's stations at day 113 . . . . .	63
4.18	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 197 Coordinates of the network's stations at day 197 . . . . .	64
4.19	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 198 Coordinates of the network's stations at day 198 . . . . .	64
4.20	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 199 Coordinates of the network's stations at day 199 . . . . .	64

4.21	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 200 Coordinates of the network's stations at day 200 . . . . .	65
4.22	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 201 Coordinates of the network's stations at day 201 . . . . .	65
4.23	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 202 Coordinates of the network's stations at day 202 . . . . .	65
4.24	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 203 Coordinates of the network's stations at day 203 . . . . .	66
4.25	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 289 Coordinates of the network's stations at day 289 . . . . .	66
4.26	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 290 Coordinates of the network's stations at day 290 . . . . .	66
4.27	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 291 Coordinates of the network's stations at day 291 . . . . .	67
4.28	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 292 Coordinates of the network's stations at day 292 . . . . .	67
4.29	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 294 Coordinates of the network's stations at day 294 . . . . .	67
4.30	Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 295 Coordinates of the network's stations at day 295 . . . . .	68
4.31	Οι βάσεις του δικτύου την ημέρα «2011, 018» The bases of the network at the ((2011, 018)) . . . . .	69
4.32	Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 106» Ambiguities' solution for the day ((2011, 106)) . . . . .	69
4.33	Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 106» χωρίς τον σταθμό «MATE» Ambiguities' solution for the day ((2011, 106)) without including the station ((MATE)) . . . . .	70
5.1	Σημεία ελέγχου αποτελεσμάτων Control points . . . . .	71
5.2	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 016) Statistics of the 1-5 points on the day 016 . . . . .	73
5.3	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 017) Statistics of the 1-5 points on the day 017 . . . . .	74
5.4	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 018) Statistics of the 1-5 points on the day 018 . . . . .	75
5.5	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 019) Statistics of the 1-5 points on the day 019 . . . . .	76
5.6	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 020) Statistics of the 1-5 points on the day 020 . . . . .	77
5.7	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 021) Statistics of the 1-5 points on the day 021 . . . . .	78
5.8	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 022) Statistics of the 1-5 points on the day 022 . . . . .	79

5.9	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 107) Statistics of the 1-5 points on the day 107 . . . . .	80
5.10	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 108) Statistics of the 1-5 points on the day 108 . . . . .	81
5.11	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 109) Statistics of the 1-5 points on the day 109 . . . . .	82
5.12	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 110) Statistics of the 1-5 points on the day 110 . . . . .	83
5.13	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 112) Statistics of the 1-5 points on the day 112 . . . . .	84
5.14	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 113) Statistics of the 1-5 points on the day 113 . . . . .	85
5.15	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 197) Statistics of the 1-5 points on the day 197 . . . . .	86
5.16	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 198) Statistics of the 1-5 points on the day 198 . . . . .	87
5.17	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 199) Statistics of the 1-5 points on the day 199 . . . . .	88
5.18	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 200) Statistics of the 1-5 points on the day 200 . . . . .	89
5.19	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 201) Statistics of the 1-5 points on the day 201 . . . . .	90
5.20	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 202) Statistics of the 1-5 points on the day 202 . . . . .	91
5.21	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 203) Statistics of the 1-5 points on the day 203 . . . . .	92
5.22	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 289) Statistics of the 1-5 points on the day 289 . . . . .	93
5.23	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 290) Statistics of the 1-5 points on the day 290 . . . . .	94
5.24	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 291) Statistics of the 1-5 points on the day 291 . . . . .	95
5.25	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 292) Statistics of the 1-5 points on the day 292 . . . . .	96
5.26	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 294) Statistics of the 1-5 points on the day 294 . . . . .	97
5.27	Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 295) Statistics of the 1-5 points on the day 295 . . . . .	98
5.28	Στατιστικά στοιχεία των τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο με βάση τα IONEX της CODE Statistics of the TEC average rates in Greece according to the CODE's IONEX . . . . .	101

5.29 Στατιστικά στοιχεία των τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο με βάση τα παραχθέντα IONEX Statistics of the TEC average rates in Greece according to the produced IONEX . . . . .	101
5.30 Ποσοστά επίλυσης ασαφειών με χρήση των δύο ιονοσφαιρικών μοντέλων Percentage of ambiguities' solution using the two ionospheric models . . . . .	102
5.31 Η θέση του σταθμού VLSM χρησιμοποιώντας τα δύο συγκρινόμενα μοντέλα The position of the VLSM station using the two compared models . . . . .	104
6.1 Στατιστικά στοιχεία των τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο ανά εποχή Statistics of the average TEC rates in Greece by epoch . . . . .	105
Γ'.1 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 016» Ambiguities' solution for the day ((2011, 016)) . . . . .	111
Γ'.2 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 017» Ambiguities' solution for the day ((2011, 017)) . . . . .	112
Γ'.3 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 018» Ambiguities' solution for the day ((2011, 018)) . . . . .	112
Γ'.4 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 019» Ambiguities' solution for the day ((2011, 019)) . . . . .	113
Γ'.5 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 020» Ambiguities' solution for the day ((2011, 020)) . . . . .	113
Γ'.6 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 021» Ambiguities' solution for the day ((2011, 021)) . . . . .	114
Γ'.7 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 022» Ambiguities' solution for the day ((2011, 022)) . . . . .	114
Γ'.8 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 107» Ambiguities' solution for the day ((2011, 107)) . . . . .	115
Γ'.9 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 108» Ambiguities' solution for the day ((2011, 108)) . . . . .	115
Γ'.10 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 109» Ambiguities' solution for the day ((2011, 109)) . . . . .	116
Γ'.11 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 110» Ambiguities' solution for the day ((2011, 110)) . . . . .	116
Γ'.12 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 111» Ambiguities' solution for the day ((2011, 111)) . . . . .	117
Γ'.13 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 112» Ambiguities' solution for the day ((2011, 112)) . . . . .	117
Γ'.14 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 113» Ambiguities' solution for the day ((2011, 113)) . . . . .	118
Γ'.15 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 197» Ambiguities' solution for the day ((2011, 197)) . . . . .	118
Γ'.16 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 198» Ambiguities' solution for the day ((2011, 198)) . . . . .	119
Γ'.17 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 199» Ambiguities' solution for the day ((2011, 199)) . . . . .	119



Γ'.18 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 200» Ambiguities' solution for the day ((2011, 200)) . . . . .	120
Γ'.19 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 201» Ambiguities' solution for the day ((2011, 201)) . . . . .	120
Γ'.20 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 202» Ambiguities' solution for the day ((2011, 202)) . . . . .	121
Γ'.21 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 203» Ambiguities' solution for the day ((2011, 203)) . . . . .	121
Γ'.22 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 289» Ambiguities' solution for the day ((2011, 289)) . . . . .	122
Γ'.23 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 290» Ambiguities' solution for the day ((2011, 290)) . . . . .	122
Γ'.24 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 291» Ambiguities' solution for the day ((2011, 291)) . . . . .	123
Γ'.25 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 292» Ambiguities' solution for the day ((2011, 292)) . . . . .	123
Γ'.26 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 293» Ambiguities' solution for the day ((2011, 293)) . . . . .	124
Γ'.27 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 294» Ambiguities' solution for the day ((2011, 294)) . . . . .	124
Γ'.28 Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 295» Ambiguities' solution for the day ((2011, 295)) . . . . .	125



## Εισαγωγή

Ένα από τα ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η δορυφορική γεωδαισία είναι η συμπεριφορά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων όταν αυτά ξεκινώντας από το δορυφόρο περνούν από τα διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας για να καταλήξουν στον επίγειο δέκτη. Το πώς διαδίδονται τα κύματα αυτά αποτελεί ένα περίπλοκο, αλλά συγχρόνως ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα και χρήζει μεγάλης προσοχής, καθώς επηρεάζει και σε μεγάλο βαθμό καθορίζει την ακρίβεια του εντοπισμού θέσης με τη χρήση GPS. Παράλληλα, από τη μελέτη του ζητήματος αυτού μπορεί κανείς να αντλήσει ανεκτίμητες πληροφορίες για τη γήινη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα και ιονόσφαιρα).

Όπως αναφέρεται και στο [1], η ύπαρξη ιόντων στα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι μία παράμετρος με ιδιαίτερη βαρύτητα για το ζήτημα αυτό. Σημειώνεται εδώ ότι τα ιονισμένα σωματίδια που βρίσκονται στην τροπόσφαιρα οφείλονται κυρίως στις ηλεκτρικές εκκενώσεις των καταιγίδων και στην ακτινοβολία ραδιενεργών ουσιών από την επιφάνεια της γης, ενώ τα ιόντα της ιονόσφαιρας χαρακτηρίζονται υψηλής ενέργειας και προέρχονται από την κοσμική ακτινοβολία.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ιονόσφαιρας πάνω από τον ελλαδικό χώρο. Η προσέγγιση του θέματος γίνεται με τη βοήθεια της δορυφορικής γεωδαισίας μέσω της επεξεργασίας παρατηρήσεων GPS.

Μέρος Ι

# Θεωρητικό Υπόβαθρο

## 1 Ιονόσφαιρα

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια προσπάθεια να προσεγγιστεί ολοκληρωμένα το θέμα της ιονόσφαιρας. Αρχικά, ορίζεται η έννοια και παραθέτονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία που την περιγράφουν και στη συνέχεια μελετώνται οι παράμετροι που επηρεάζουν την πυκνότητα και την κατανομή των ιόντων. Τέλος, παρουσιάζονται οι συχνότερες ιονοσφαιρικές ανωμαλίες που έχουν παρατηρηθεί.

### 1.1 Γενικά

Ιονόσφαιρα είναι το στρώμα της γήινης ατμόσφαιρας, που χαρακτηρίζεται από την παρουσία σημαντικού πλήθους ελεύθερων ηλεκτρονίων και κατιόντων, δηλαδή θετικά φορτισμένων ατόμων ή μορίων. Ο ιονισμός, όπως ονομάζεται το φαινόμενο αυτό, πραγματοποιείται όταν η ηλιακή, και κυρίως η υπεριώδης, ακτινοβολία πέσει με κάποια ένταση στα πολύ μικρά σωματίδια (μόρια) που βρίσκονται μέσα στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να αλλάζει η ηλεκτρική τους κατάσταση, αποκτώντας ή χάνοντας ηλεκτρόνια. Έτσι, δημιουργείται ένα επίπεδο με υψηλή συγκέντρωση ηλεκτρονίων, επειδή η απορρόφηση της ακτινοβολίας αυξάνεται, όσο αυξάνεται το πλήθος των ουδέτερων μορίων της ατμόσφαιρας, όσο, δηλαδή, μειώνεται το υψόμετρο. Πρακτικά, λοιπόν, η ιονόσφαιρα είναι οριζόντια στρωματοποιημένη με τάση να αραιώνει, όσο ανεβαίνουμε σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Ο ρόλος της ιονόσφαιρας στη διάδοση των ραδιοκυμάτων είναι απόλυτα καθοριστικός, καθώς η ύπαρξή της και μόνο επιτρέπει τη μετάδοση σημάτων σε πολύ μακρινές αποστάσεις σχεδόν ακαριαία.

Πρόκειται για ένα στρώμα που ξεκινά από τα 60–90 km πάνω από τη Μ.Σ.Θ. (Μέση Στάθμη της Θάλασσας), ενώ μπορεί να θεωρηθεί ότι φτάνει ως και τα 1500 km πάνω από τη γη.

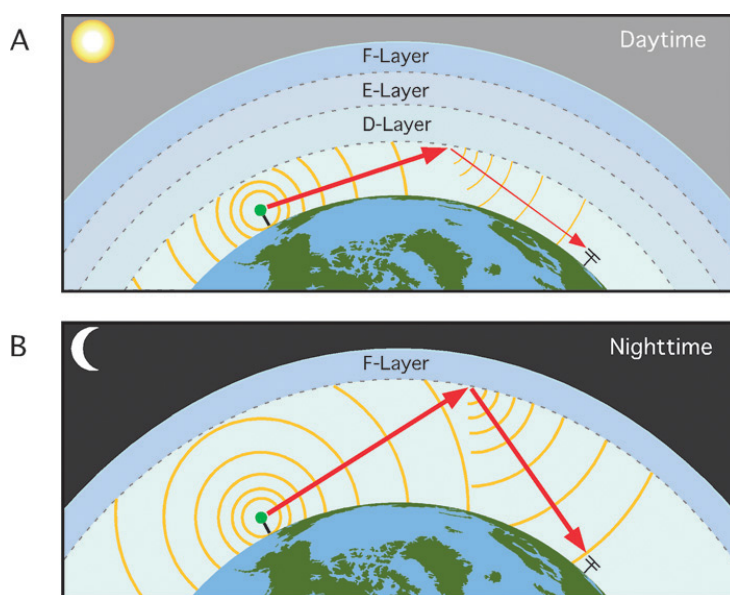
«Με λίγη υπερβολή μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι η ιονόσφαιρα απλώνεται ανάμεσα στην ουδέτερου φορτίου γήινη ατμόσφαιρα και την απολύτως ιονισμένη ατμόσφαιρα του ηλίου.» [2, σελ. 41]

Παρόλο που η ιονόσφαιρα αποτελεί μόλις το 0.1% της μάζας της γήινης ατμόσφαιρας, ο ρόλος της για τη γη και τη ζωή είναι ιδιαίτερα σημαντικός.

Η πυκνότητα της ιονόσφαιρας σε ελεύθερα ηλεκτρόνια εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως η γεωγραφική θέση, η απόσταση από τη γη, ο χρόνος ή η εποχή και οι ηλιακές και γεωμαγνητικές διακυμάνσεις. Μάλιστα συναντώνται διαφορές μίας ή ακόμα και δύο τάξεων μεγέθους. Έτσι, εύλογα ορίζονται τρεις επιμέρους περιοχές για την καλύτερη παρατήρηση και ανάλυση των ιονοσφαιρικών φαινομένων.

#### 1.1.1 Περιοχή D

Είναι η κοντινότερη στην επιφάνεια της Γης περιοχή, σε απόσταση 60–90 km και έχει πάχος μόλις 15 – 20 km. Αποτελείται από το επίπεδο D και το επίπεδο C. Στο D τα ελεύθερα ηλεκτρόνια παράγονται ως επί το πλείστον από σκληρές ακτίνες X με μήκος κύματος  $\lambda = 100 - 10 \text{ nm}$ , ενώ στο επίπεδο C δημιουργούνται από την πρόσκρουση των μορίων κυρίως με την κοσμική ακτινοβολία του σύμπαντος. Η μορφή της περιοχής D δεν είναι απολύτως



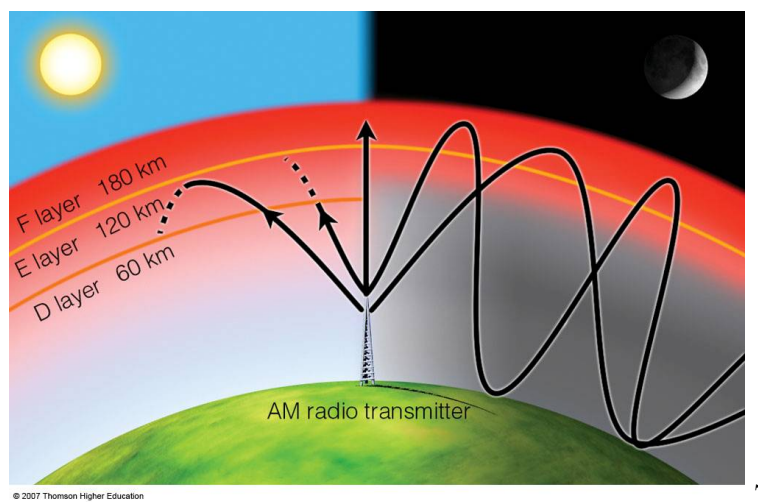
Σχήμα 1: Η διάδοση των σημάτων μέσω της ιονόσφαιρας την ημέρα και τη νύχτα  
Wave propagation via ionosphere during the day and night

γνωστή. Το στρώμα αυτό παρουσιάζει την παράδοξη συμπεριφορά να εμφανίζεται την ημέρα και να εξαφανίζεται τη νύχτα, γεγονός που σχετίζεται με την εκπομπή ενέργειας του Ήλιου. Λειτουργεί σαν κυματοδηγός για κύματα πολύ χαμηλών συχνοτήτων, που βρίσκονται στην περιοχή των 136 kHz, ενώ αντίθετα εξασθενεί τα κύματα μεγαλύτερων συχνοτήτων. Χαρακτηριστικό είναι ότι τα σήματα με μήκος κύματος γύρω στα 160 m προτιμάται να εκπέμπονται τις νυχτερινές ώρες, όταν δηλαδή, η περιοχή D εξαλείφεται. Αυτό γίνεται εύκολα και εποπτικά αντιληπτό στα σχήματα 1 και 2, όπου διαφαίνεται η διαστρωμάτωση της ιονόσφαιρας κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας και το πώς τα ραδιοκύματα ανακλώνται στις δύο αυτές φάσεις του εικοσιτετραώρου.

### 1.1.2 Περιοχή E

Είναι γνωστή και σαν Kennely Heaviside περιοχή. Ξεκινά στα 100 – 150 km πάνω από τη Μ.Σ.Θ. και έχει πάχος μεταβλητό. Είναι μια πολύ ιονισμένη περιοχή. Η περιεκτικότητά του στρώματος σε ιόντα οφείλεται κυρίως στις μαλακές ακτίνες X, με μήκος κύματος 10 nm - 10 pm. Η πυκνότητα στην περιοχή μεγιστοποιείται κατά τις μεσημβρινές ώρες, ενώ φθίνει σημαντικά το βράδυ. Επίσης, η πυκνότητα σε ιόντα στην περιοχή αυτή επηρεάζεται σημαντικά από τον κύκλο των ηλιακών κηλίδων.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1, το στρώμα αυτό της ατμόσφαιρας βοηθά σημαντικά στη διάδοση των μεγάλου μήκους ραδιοκυμάτων, καθώς διακόπτει και ανακλά πίσω προς τη γη σήματα που προσπίπτουν σε αυτή. Ουσιαστικά λειτουργεί σαν ένας ηλεκτρικός καθρέφτης μακρών κυμάτων, με μήκος κύματος γύρω στα 160 m, ώστε αυτά να διαδίδονται σε μεγάλες



Σχήμα 2: Αναμετάδοση AM ραδιοκυμάτων κατά τη διάρκεια της ημέρα και της νύχτας  
Retransmission of AM waves during the day and night

αποστάσεις.

Μέσα ή κοντά στην περιοχή E ή ακόμα και κοντά στο F1 στρώμα εμφανίζεται ένα «σύννεφο» με πολύ διαφορετική πυκνότητα ηλεκτρονίων από την συνηθισμένη στην E. Το «σύννεφο» αυτό είναι γνωστό με τη ονομασία E Σποραδικό. Το στρώμα αυτό δεν έχει συγκεκριμένο ύψος, πάχος και μέση πυκνότητα σε ηλεκτρόνια και επιτρέπει τη διάδοση των σημάτων με μήκος κύματος από 160 – 80 m.

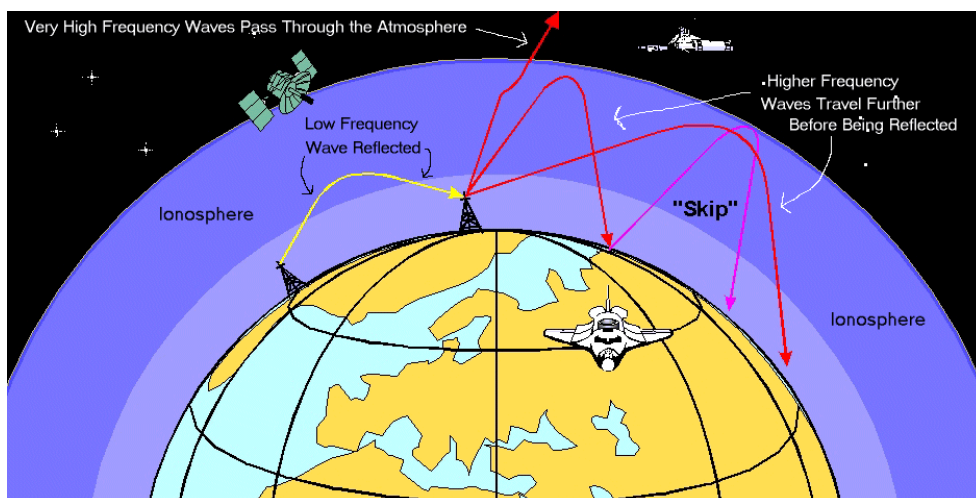
Τέλος, υπάρχει και η περιοχή E2, με σταθερό ύψος στα 130 – 150 km και παρόμοιες περιεκτικότητες σε ιόντα με το E. Και αυτό το στρώμα εμφανίζεται σποραδικά πάνω από την E.

### 1.1.3 Περιοχή F

Αλλιώς ονομαζόμενη ως APLETON περιοχή, ξεκινά στα 200 – 450 km πάνω από τη Μ.Σ.Θ. Στην περιοχή αυτή στα μόρια της ατμόσφαιρας προσπίπτουν ακραίες για τα γήινα δεδομένα ποσότητες υπεριώδους ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να είναι η περιοχή με την μεγαλύτερη πυκνότητα ηλεκτρονίων.

Καθότι είναι το στρώμα που βρίσκεται πιο κοντά στον Ήλιο, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις αλλαγές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατ' επέκταση, το χειμώνα το στρώμα αυτό είναι ενιαίο, ενώ το καλοκαίρι, που η ένταση της ηλιακής ενέργειας είναι σαφώς μεγαλύτερη, το στρώμα χωρίζεται στις περιοχές F1 και F2. Γενικά και ανεξαρτήτως εποχής, η περιεκτικότητα του στρώματος σε ιόντα είναι σημαντικά μεγαλύτερη την ημέρα από ότι τη νύχτα. Στην F περιοχή της ιονόσφαιρας στον Ισημερινό παρατηρούνται συχνά και κυρίως τις βραδινές ώρες φαινόμενα ασταθούς πλάσματος, γνωστά με το αρκτικόλεξο ESF (Equatorial Spread F).

Για τα στρώματα F1 και F2 σημειώνεται ενδεικτικά ότι το μεν F1 ξεκινά από το ύψος των



Σχήμα 3: Η διάδοση των σημάτων μέσω της ιονόσφαιρας  
Wave propagation via the ionosphere

230 km και έχει πάχος 30–80 km, το δε F2 ξεκινά στα 350-450 km και καλύπτει 100–300 km της ατμόσφαιρας. Στο F2, μάλιστα, παρατηρούνται και οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ηλεκτρονίων.

Στη περιοχή αυτή ανακλώνται τα βραχεία κύματα (Σχήμα 3), με μήκος κύματος στην περιοχή των 80–1000 m, καθώς το στρώμα λειτουργεί σαν ηλεκτρικός καθρέφτης γεγονός που δίνει τη δυνατότητα για διάδοση των σημάτων αυτών σε μεγάλες αποστάσεις.

## 1.2 Παράγοντες επιρροής της ιονόσφαιρας

Τα ύψη των στρωμάτων και η κατανομή των ιόντων είναι μεταβλητά και εξαρτώνται από την ώρα της ημέρας, την εποχή του έτους και την ένταση της ηλιακής δραστηριότητας, το γεωγραφικό πλάτος και τον ηλιακό κύκλο. Πιο συγκεκριμένα κάθε μία από της παραπάνω παραμέτρους επιδρά στην ιονόσφαιρα ως εξής:

### 1.2.1 Ώρα

Σαν γενικός κανόνας για την παράμετρο αυτή μπορεί κανείς να πει ότι η πυκνότητα σε ιόντα είναι ιδιαίτερα αυξημένη κατά της μεσημβρινές ώρες, ενώ εξασθενεί τις νυχτερινές.

### 1.2.2 Εποχή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Έχει διαπιστωθεί ότι η πυκνότητα σε ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια παίρνει τη μέγιστη τιμή της κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι αυξημένη σε σχέση με τους χειμερινούς.



### 1.2.3 Γεωγραφικό πλάτος

Τα υψηλότερα επίπεδα ηλεκτρονίων σημειώνονται στον ισημερινό νωρίς το απόγευμα. Άλλες περιοχές στις οποίες παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις νωρίς το βράδυ είναι αυτές με γεωγραφικό πλάτος  $\pm 20^\circ$ . Η ιονόσφαιρα στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Σημειώνεται, δε, ότι η ιονόσφαιρα σε αυτά τα πλάτη έχει μελετηθεί ιδιαίτερος καλά, καθώς εκεί βρίσκονται οι περισσότεροι σταθμοί παρακολούθησης. Στους Πόλους, καθώς η ατμόσφαιρα είναι μικρότερη, η ηλιακή ακτινοβολία επιδρά παραπάνω στα κατώτερα στρώματα και εκεί εμφανίζονται πιο έντονα ιονοσφαιρικά φαινόμενα.

Παρότι θεωρητικά η πυκνότητα των ηλεκτρονίων αυξάνεται όσο μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος, οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις ηλεκτρονίων όσο πλησιάζουμε προς τους πόλους είναι αξιοσημείωτα μεγαλύτερες εξ' αιτίας των μεγάλων συγκεντρώσεων σε ασταθές πλάσμα.

### 1.2.4 Ηλιακή δραστηριότητα

Είναι γνωστό ότι η ιονοσφαιρική δραστηριότητα επηρεάζεται άμεσα από την ηλιακή. Σε όλες τις ιονοσφαιρικές περιοχές, η πυκνότητα των ιόντων μεταβάλλεται ανάλογα με τον κύκλο των ηλιακών κηλίδων. Κατά τη μετάβαση από το ελάχιστο στο μέγιστο, μέσα σε διάστημα ένδεκα χρόνων, εκλύονται μεγάλα ποσά υπεριώδους ακτινοβολίας, λόγω της μεγάλης ηλιακής δραστηριότητας. Η πυκνότητα σε ιόντα μπορεί να αυξηθεί από 1.4 ως 3 φορές από το ελάχιστο στο μέγιστο κύκλο των ηλιακών κηλίδων.

## 1.3 Ιονοσφαιρικές ανωμαλίες

Η παρατήρηση και ανάλυση της ιονόσφαιρας επιβεβαιώνει την ύπαρξη μιας σειράς ανωμαλιών και διαταραχών, οι οποίες δυσχεραίνουν κατά πολύ τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς της ιονόσφαιρας. Οι ανωμαλίες αυτές ταξινομούνται στις ιονοσφαιρικές θύελλες, τις TIDs (Travelling Ionosphere Distributions) και τις διαταραχές μικρής κλίμακας.

### 1.3.1 Ιονοσφαιρικές θύελλες

Προκαλούνται από έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας κι έτσι συνήθως συνοδεύονται από μαγνητικές καταιγίδες και ηλιακές εκρήξεις. Τεράστιες ποσότητες ιόντων και ηλιακής ενέργειας έρχονται προς τη γη και επηρεάζουν την ιονόσφαιρα επιφέροντας γιγαντιαία αύξηση του πλήθους των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Στους πόλους το φαινόμενο είναι πιο συχνό και έντονο. Δημιουργούν συχνά άμεσες συνέπειες στα στρώματα της μαγνητόσφαιρας και της ιονόσφαιρας και γενικά στο πόσο διεισδύει ο ηλιακός άνεμος στην γήινη ατμόσφαιρα. Προς το παρόν δεν μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια.

### 1.3.2 TIDs

Οι ιονοσφαιρικές ανωμαλίες που μετακινούνται στο στρώμα τις ιονόσφαιρας, ή TIDs, όπως αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, επιφέρουν σημαντικές διακυμάνσεις στην πυκνότητα των ηλεκτρονίων της ιονόσφαιρας. Παρατηρούνται κυρίως στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη,

αλλά είναι σχεδόν σίγουρο ότι είναι παγκόσμιο φαινόμενο. Διακρίνονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:

- Μεγάλης κλίμακας διαταραχές με περίοδο από 30 min ως και 3 h και οριζόντιο μήκος κύματος άνω των 1000 km.
- Μεσαίας κλίμακας διαταραχές με περίοδο από 10 min ως και 1 h και οριζόντιο μήκος κύματος μερικές εκατοντάδες χιλιομέτρων.
- Μικρής κλίμακας διαταραχές με περίοδο μερικών λεπτών και οριζόντιο μήκος κύματος μερικών δεκάδων χιλιομέτρων.

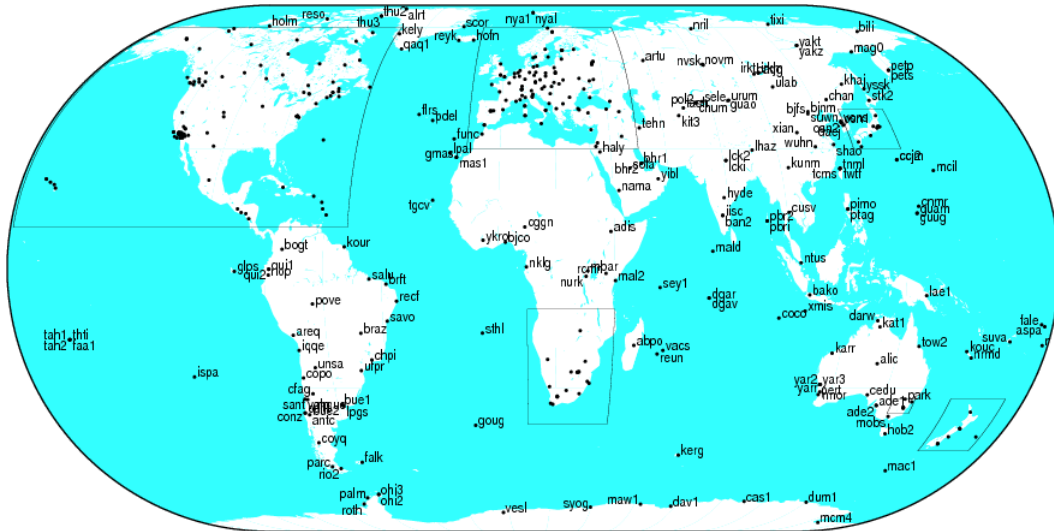
### 1.3.3 Διαταραχές μικρής κλίμακας

Οι διαταραχές αυτές έχουν πολύ μικρή διάρκεια και συνήθως προκαλούν και σπινθηρισμούς. Τέτοιες διαταραχές είναι οι γνωστές σε όλους μας αστραπές.

## 1.4 IGS

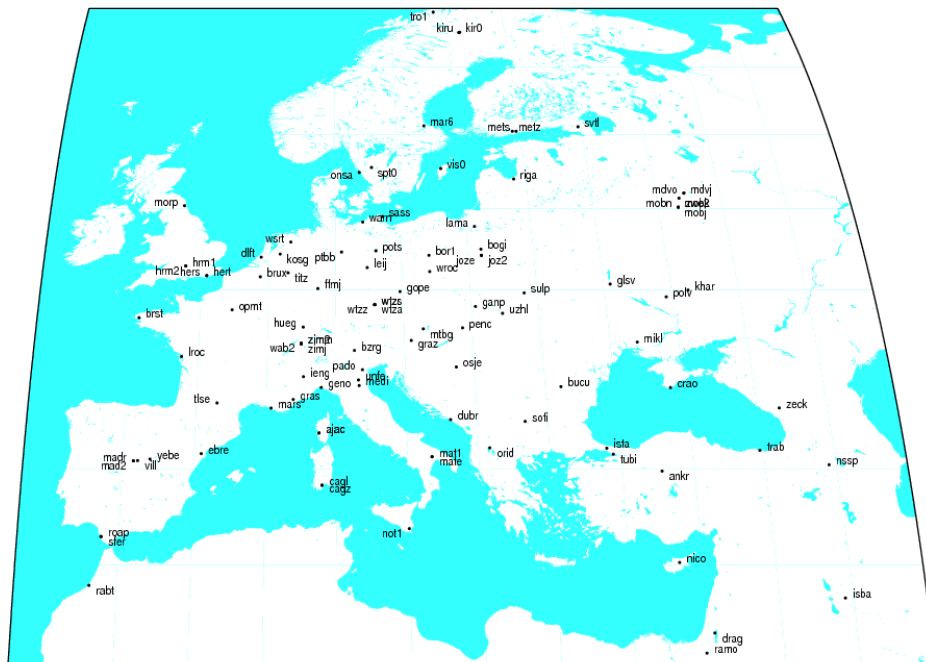
Το Γενάρη του 1994 δημιουργήθηκε από την IAG (International Association of Geodesy) η διεθνής υπηρεσία για το GPS, IGS (International GPS Service). Σκοπός της υπηρεσίας αυτής μέχρι και σήμερα είναι η προώθηση ενιαίων διεθνών προτύπων αναφορικά με την ανάλυση, την επεξεργασία και την ακρίβεια των δεδομένων GPS. Στο πλαίσιο αυτού η ίδια η IGS έχει αναπτύξει ένα μηδενικής τάξης δίκτυο, το οποίο διαχειρίζεται και ενημερώνει συνεχώς. Αποτελείται από περισσότερους από 300 μόνιμους σταθμούς GPS παρακολούθησης διανεμημένους σε ολόκληρη τη γήινη επιφάνεια (Σχήμα 4). Αξιοσημείωτο είναι ότι στην Ευρώπη το δίκτυο της IGS είναι ιδιαίτερα πυκνωμένο (Σχήμα 5), γεγονός που εξασφαλίζει ικανοποιητική ακρίβεια στις τοπογραφικές εργασίες που χρησιμοποιούν τους σταθμούς της. Η IGS είναι μια εθελοντική υπηρεσία, η οποία σε συνεργασία με παγκόσμιους οργανισμούς και πανεπιστήμια, παρέχει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων με τις εξής πληροφορίες:

- Εφημερίδες όλων των εν ενεργεία GPS και GLONASS δορυφόρων. Η τροχιά των δορυφόρων διατίθεται είτε με υψηλή ακρίβεια, είτε με μικρότερη, που είναι όμως πιο άμεσα διαθέσιμη στους ενδιαφερόμενους, σε μορφή .sp3. Παρέχονται, ακόμη, αρχεία με την πρόγνωση της τροχιάς μέχρι κι δύο μέρες πριν ο δορυφόρος διανύσει αυτή την πορεία. Οι τροχιές είναι στο σύστημα αναφοράς ITRS (International Terrestrial Reference System) στην προβολή IGS08.
- Παραμέτρους για την περιστροφή της γης σε αρχεία ERPs (Earth Rotation Parameters), όπως η  $x$  και η  $y$  συνιστώσα της ταλάντωσης των πόλων και το μήκος της ημέρας LOD (Length of Day).
- Συντεταγμένες και ταχύτητες κίνησης των μόνιμων σταθμών της IGS σε αρχεία SINEX (Solution INdependent EXchange).
- Ακατέργαστα δεδομένα των σταθμών του δικτύου παρακολούθησης της IGS, σε μορφή RINEX (Receiver INdependent EXchange).



IGS 2013 May 27 18:45:29

Σχήμα 4: Το παγκόσμιο δίκτυο παρακολούθησης δορυφόρων της IGS  
The worldwide GNSS tracking network of IGS



IGS 2013 May 27 18:45:29

Σχήμα 5: Το ευρωπαϊκό δίκτυο παρακολούθησης δορυφόρων της IGS  
The european GPS tracking network of IGS

- Πληροφορίες και διορθώσεις για τα ρολόγια των σταθμών και των δορυφόρων σε μορφή .clk
- Ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις σε μορφή .ion
- Καθυστερήσεις της τροπόσφαιρας σε μορφή .tpr

Τα προϊόντα αυτά αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς ITRS και διατίθενται στο διαδίκτυο για όλους.

#### 1.4.1 IGS και ιονόσφαιρα

Το Φεβρουάριο του 1998, στο συνέδριο της IGS στο Darmstadt της Γερμανίας, αποφασίστηκε η παρακολούθηση της ιονόσφαιρας προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση που έχουν οι μεταβολές της στα IGS προϊόντα. Έτσι, αποφασίστηκε να παράγουν στο εξής δύο ιονοσφαιρικά προϊόντα:

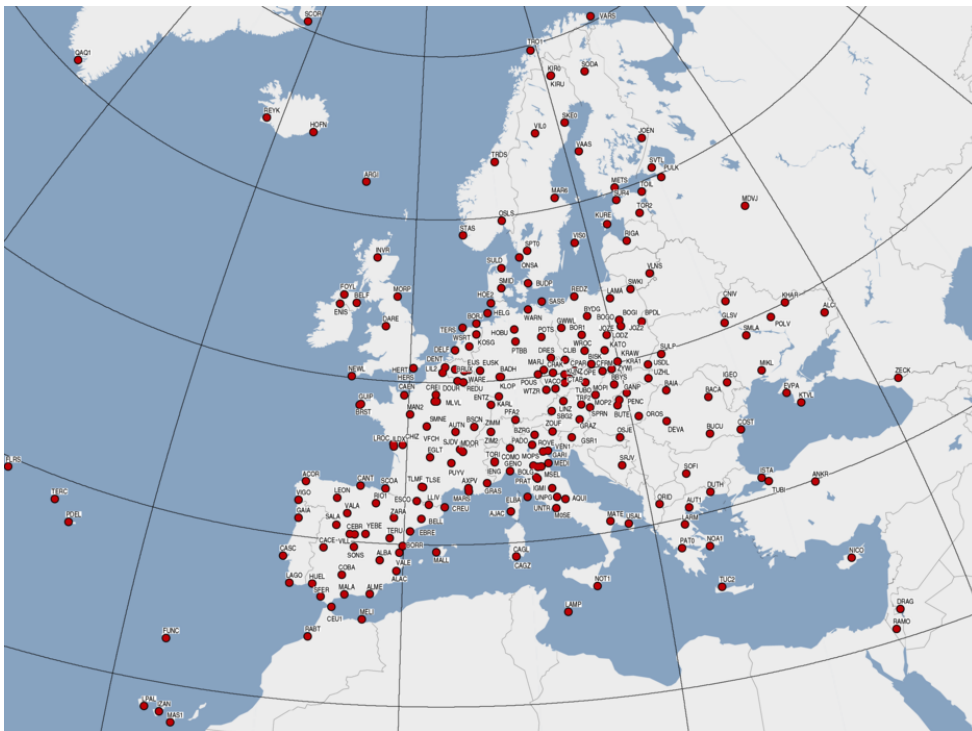
- Δίωρους παγκόσμιους χάρτες ιονόσφαιρας (GIMs – Global Ionosphere Maps) σε μορφή δισδιάστατου κάρναβου
- Ημερήσια αρχεία με τις διαφορικές τάσεις του κώδικα (DCBs – Differential Code Biases)

Για το σκοπό αυτό, τον Μάιο του 1998 θεσπίστηκε μια ομάδα ενασχόλησης με θέματα που αφορούν στην ιονόσφαιρα. Απώτερος στόχος αυτής της ομάδας είναι, όπως είχαν πει τότε οι Schaer και Feltens, η ανάπτυξη ενός παγκόσμιου ιονοσφαιρικού μοντέλου, που να καθιστά εφικτή την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της ιονόσφαιρας με ακρίβεια.

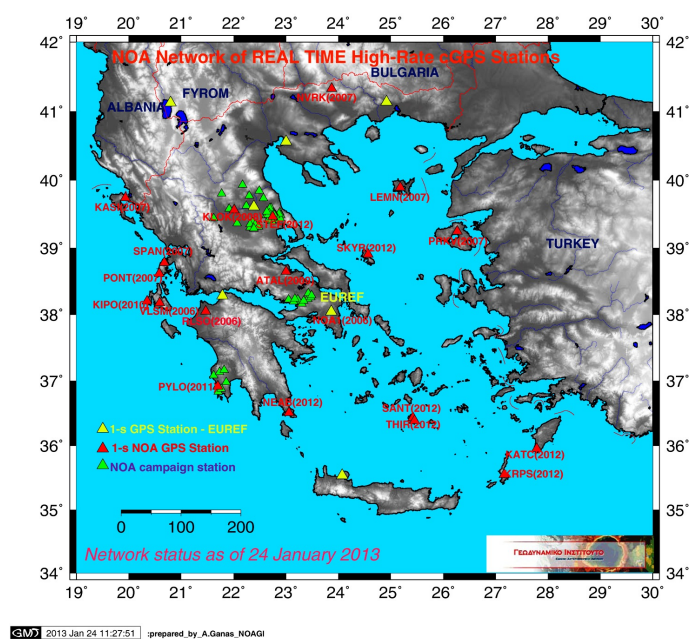
#### 1.5 EUREF

Το 1987 στο Vancouver της βρετανικής Κολομβίας ιδρύθηκε η πανευρωπαϊκή επιτροπή της IAG, EUREF. Σκοπός της επιτροπής αυτής είναι ο ορισμός, η υλοποίηση και η συντήρηση των ευρωπαϊκών συστημάτων αναφοράς, η προώθηση του ευρωπαϊκού οριζοντιογραφικού συστήματος αναφοράς ETRS89 (European Terrestrial Reference System), καθώς και του αντίστοιχου υψομετρικού EVRS (European Vertical Reference System), προκειμένου να υπάρξει συνδεσιμότητα μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών.

Παράλληλα, το EUREF είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη και τη συντήρηση ενός δικτύου μόνιμων GNSS (Global Navigation Satellite System) σταθμών, το οποίο στην διεθνή βιβλιογραφία συναντάται με το αρκτικόλεξο EPN (EUREF Permanent Network). Η θέση των σταθμών του δικτύου δίνεται από ημερήσιες και από εβδομαδιαίες μετρήσεις με ακρίβεια 0.5 – 1.5 cm και από ωριαίες μετρήσεις με ακρίβεια 5 – 10 cm στο ETRS89 και στο ITRS. Επιπλέον, διατίθενται οι ταχύτητες των σταθμών και στα δύο συστήματα αναφοράς. Μέχρι σήμερα ο EUREF σε συνεργασία με πλήθος ευρωπαϊκών πανεπιστημίων έχει ιδρύσει περισσότερους από 300 μόνιμους GNSS σταθμούς, δημιουργώντας ένα πυκνό δίκτυο (Σχήμα 6), ιδιαίτερος χρήσιμο σε τοπογραφικές και άλλες εργασίες.



Σχήμα 6: Το δίκτυο μόνιμων σταθμών παρακολούθησης  
δορυφόρων του EUREF  
EUREF permanent GNSS network



Σχήμα 7: Το δίκτυο σταθμών αναφοράς NOANET  
NOANET GNSS network

## 1.6 NOA

Το NOA (National Observatory of Athens) είναι το πρώτο ερευνητικό κέντρο όχι μόνο της νεότερης Ελλάδας, αλλά και ολόκληρης της περιοχής των Βαλκανίων, καθώς λειτουργεί από το 1842. Σε αυτό υπάγονται το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, το Ινστιτούτο Αστρονομίας και Αστροφυσικής, το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, το Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης και το Ινστιτούτο Αστροσωματιδιακής Φυσικής «ΝΕΣΤΩΡ». Το κέντρο παρέχει υπηρεσίες, όπως πρόγνωση και δελτίο καιρού, ανακοινώσεις σεισμών, συνεχώς επικαιροποιημένους χάρτες με τις συνθήκες στην ιονόσφαιρα και στοιχεία για την κλιματική αλλαγή. Στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου είναι η ίδρυση, η λειτουργία και η συντήρηση ενός δικτύου μόνιμων GNSS σταθμών αναφοράς GPS και GLONASS. Το δίκτυο, που είναι γνωστό διεθνώς ως NOANET (NOA NETwork) αριθμεί σήμερα δεκαοκτώ μόνιμους σταθμούς και μέσα στους στόχους του Ινστιτούτου είναι και η κατά το δυνατό μεγαλύτερη πύκνωση του δικτύου, πράγμα που το απαιτεί και το μεγάλο τεκτονικό και γεωμορφολογικό ενδιαφέρον του ελληνικού χώρου. Τα δεδομένα του δικτύου, που περιλαμβάνουν εικοσιτετράωρες παρατηρήσεις από όλους τους ενεργούς σταθμούς, βρίσκονται διαθέσιμα προς χρήση και επεξεργασία στο διαδίκτυο. Στο σχήμα 7 παρουσιάζονται οι μόνιμοι σταθμοί του NOANET, σταθμοί που λειτουργούν σε συνεργασία με το EUREF, καθώς και σταθμοί προσωρινά εγκατεστημένοι από τον NOA Στο πλαίσιο διαφόρων καμπανιών, όπως αυτοί είναι χωροθετημένοι στον ελληνικό χώρο. Τέλος, στον Πίνακα 1.1 δίνονται χρήσιμες πληροφορίες για τους δεκαοκτώ μόνιμους σταθμούς.

No	Κωδικό όνομα	Γεωγραφικό		Γεωμ. ύψος	Ημ/νια	Σχόλια	Παρατηρήσεις ανά Πραγμ.			Τοποθεσία	Λιθολογία	Τύπος	
		πλάτος	μήκος				Ημέρα	Ώρα	χρόνος			Κεραίας	Δέκτη
1	VLSM	38,176827	20,588644	437	14-02-2006	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ασβεστόλιθος	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
2	NOA1	38,047064	23,864033	537	13-03-2006	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Μάρμαρο	AT504LEIS	LEICA GRX1200PRO
3	RLSO	38,055835	21,464742	132	29-07-2006	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Αμμόλιθος	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
4	PONT	38,618981	20,585184	48	15-02-2007	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ασβεστόλιθος	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
5	KASI	39,746368	19,935543	103	01-04-2007	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ασβεστόλιθος	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
6	SPAN	38,781305	20,673644	447	22-05-2007	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Σχιστόλιθος	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
7	LEMN	39,897229	25,180570	104	16-06-2007	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ανδεσίτης	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
8	PRKV	39,245702	26,265012	169	30-06-2007	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ανδεσίτης	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
9	NVRK	41,336878	23,869774	579	12-07-2007	DSL	✓	✓	✓	Εκτεθημένο	Αμμόλιθος	AX1202GG	LEICA GRX1200PRO
10	KLOK	39,564744	22,014384	137	17-07-2008	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Μάρμαρο	AT504LEIS	LEICA GRX1200PRO
11	ATAL	38,653058	22,999354	135	27-03-2009	DSL	✓	✓	✓	Εκτεθημένο	Ϊλύς	NOV533	ASHTECH UZ-12
12	KIPO	38,203186	20,348351	128	31-08-2010	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ασβεστόλιθος	1203+GNSS	GMX902 GG
13	PYLO	36,914174	21,695307	39	24-08-2011	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ασβεστόλιθος	AS10	LEICA GR10
14	NEAB	36,509219	23,060301	39	27-06-2012	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Αμμόλιθος	AR10	LEICA GRX1200PRO
15	KPRS	35,547099	27,161068	554	14-08-2012	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Αμμόλιθος	AR10	LEICA GR10
16	SANT	36,433594	25,422605	392	17-08-2012	DSL	✓	✓	✓	Οροφή	Ηφαιστ/γενές	AR10	LEICA GR10
17	KATC	35,951480	27,780775	75	31-08-2012	GSM/3G	✓	✓	✓	Εκτεθημένο	Χώμα	ZEPHYR TRM	TRIMPLE NetRS

Πίνακας 1.1: Πληροφορίες για τους μόνιμους σταθμούς του NOA  
Information about the permanent GPS stations of NOA

## 2 Αρχεία IONEX

Το κεφάλαιο αυτό αφορά σε μια πολύ σημαντική κατάκτηση για τη μελέτη της ιονόσφαιρας, τα αρχεία IONEX (IONosphere EXchange). Συγκεκριμένα, αναφέρεται πως παράγονται και ποια είναι η χρησιμότητα αυτών των αρχείων, τι πληροφορίες παρέχουν και πως συμβάλλουν στη μελέτη και την κατανόηση της ιονόσφαιρας και των φαινομένων που παρατηρούνται σ' αυτή.

### 2.1 Γενικά

Το 1996, σε συνέδριο της IGS, που πραγματοποιήθηκε στο Silver Spring των Ηνωμένων Πολιτειών, άρχισε μια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός κοινού για όλους τρόπου αποθήκευσης δεδομένων χαρτών TEC (Total Electron Content). Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν μια σειρά χαρτών TEC της περιοχής της Ευρώπης. Σαν αποτέλεσμα της TEC αυτής σύγκρισης δημιουργήθηκε, από τους Schaer et al. [1998a] και υιοθετήθηκε από την κοινότητα της IGS, μια μορφή αρχείου για την μετατροπή χαρτών TEC [2, σελ. 18]. Τα αρχεία αυτά ονομάστηκαν IONEX. Τα αρχεία IONEX δίνουν τη δυνατότητα αποθήκευσης της εικόνας της ιονόσφαιρας σε ένα δισδιάστατο ή ακόμα και τρισδιάστατο παγκόσμιο κάναβο. Επιπλέον, περιέχουν και άλλες βοηθητικές πληροφορίες σε σχέση με την ιονόσφαιρα, οι οποίες παραθέτονται αναλυτικά στο εδάφιο 2.3.

Τα αρχεία IONEX ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των External File Formats, αρχεία που παράγει το Bernese για μετατροπή, διαχείριση και σύγκριση δεδομένων και λύσεων. Ας σημειωθεί εδώ ότι ενώ τα αρχεία IONEX παράγονται από το προγραμματιστικό περιβάλλον του Bernese, ωστόσο δεν μπορούν να διαβαστούν από αυτό. Η έκδοση του format που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1998 στο IGS γραφείο του Darmstadt της Γερμανίας. Ουσιαστικά, τα αρχεία αυτά περιέχουν χάρτες TEC εκφρασμένους σε γεωμετρικό κάναβο.

### 2.2 Παραγωγή αρχείων IONEX

Τα αρχεία IONEX είναι αρχεία ASCII που δημιουργούνται από τα προγράμματα GPSEST και ADDNEQ2, με παράλληλη αξιοποίηση του αρχείου ION. Τα δύο προγράμματα αυτά αποτελούν σήμερα δύο από τα σημαντικότερα προγράμματα του λογισμικού πακέτου Bernese. Το GPSEST είναι το κύριο πρόγραμμα του Bernese για εκτίμηση παραμέτρων και συστηματικών σφαλμάτων στην επίλυση ενός γεωδαιτικού δικτύου, ενώ το ADDNEQ2 παρέχει την δυνατότητα για ικανοποιητική επεξεργασία κανονικών εξισώσεων. Τα ION είναι αρχεία ιονοσφαιρικών παραμέτρων και μοντελοποίησης της ιονόσφαιρας για την εκάστοτε χρονική περίοδο σε format του Bernese και παράγονται και αυτά από το GPSEST.

### 2.3 Η δομή των αρχείων IONEX

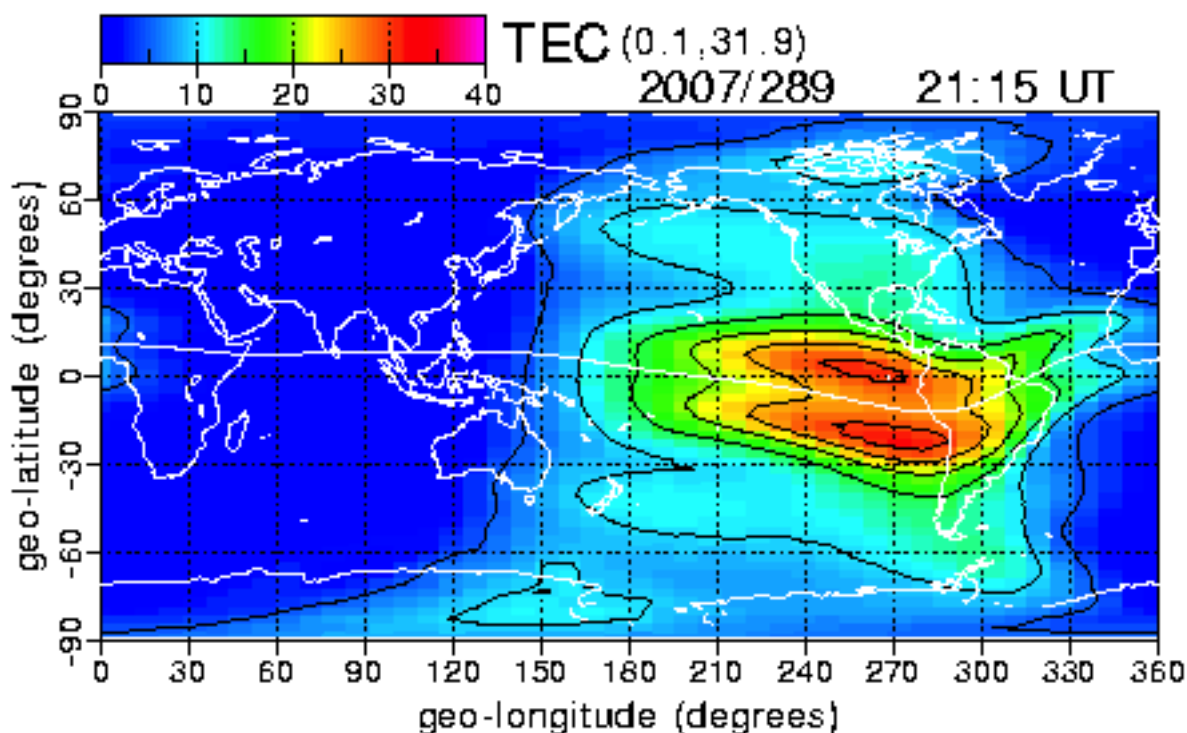
Ένα αρχείο IONEX αποτελείται από δύο μέρη, την επικεφαλίδα (header section) και το κομμάτι των δεδομένων (data section). Το format των IONEX συνάδει με το format των



αρχείων RINEX. Το πρώτο κομμάτι έχει σταθερή μορφή και περιέχει ένα σύνολο συμπληρωματικών των κυρίως δεδομένων. Συγκεκριμένα, στο κομμάτι αυτό του αρχείου αναγράφονται πληροφορίες, όπως:

- ο τίτλος του αρχείου
- η έκδοση του format του αρχείου
- ο φορέας που παρήγαγε το αρχείο
- η ημερομηνία παραγωγής του
- σχόλια και περιγραφή
- η συνάρτηση απεικόνισης (mapping function) που χρησιμοποιείται
- πληροφορίες σχετικά με το πλήθος των δορυφόρων και των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για τις παρατηρήσεις
- η ακριβής ημερομηνία του πρώτου και του τελευταίου χάρτη TEC
- το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των διαδοχικών χαρτών TEC σε δευτερόλεπτα
- η ελάχιστη γωνία ανύψωσης σε μοίρες
- η μέση ακτίνα της γης σε χιλιόμετρα
- οι διαστάσεις των χαρτών TEC
- η ισοδιάσταση και το εύρος των γεωμετρικών υψομέτρων (HG1 – HG2 – DHGT), των γεωγραφικών πλάτων (Lat1 – Lat2 – Dlat) και των γεωγραφικών μηκών (Lon1 – Lon2 – Dlon) των σημείων που απεικονίζονται στους χάρτες
- ο εκθέτης των τιμών που παραθέτονται στο κυρίως κομμάτι του αρχείου

Ας σημειωθεί ότι για δισδιάστατους χάρτες η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του γεωμετρικού υψομέτρου είναι ίδιες ( $HG1 = HG2$ ) και ότι η προκαθορισμένη τιμή του εκθέτη των τιμών του μέρους με τα δεδομένα είναι το -1. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα λάθη των παραγόμενων τιμών της ιονόσφαιρας κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη πληροφοριών σχετικά με τα σφάλματα μη συγχρονισμού του κώδικα μετρημένου στην L1 και στην L2 φέρουσες συχνότητες. Και οι πληροφορίες αυτές στο αρχείο IONEX παραθέτονται στο κομμάτι της επικεφαλίδας έχοντας τίτλο Differential Code Biases. Στο μέρος αυτό του αρχείου, επισημαίνονται για κάθε δορυφόρο που συμμετέχει στην επίλυση οι τιμές των ψευδοτυχαίων αριθμών (PRN - Pseudo Random Number), το BIAS, δηλαδή η τάση των φάσεων και ο δείκτης RMS σε νσες για τα σφάλματα των τάσεων του διαφορικού κώδικα. Το κυρίως μέρος του αρχείου αποτελείται από χάρτες με τις τιμές των ιόντων στην ιονόσφαιρα σε όλα τα σημεία του κανάβου. Οι χάρτες έχουν χρονική αλληλουχία, η οποία έχει οριστεί από τον παραγωγό του αρχείου και είναι τόσο σε πλήθος, όσοι και το βήμα του χρόνου παραγωγής για το χρονικό διάστημα που αφορά στις παρατηρήσεις. Επιπλέον, τα αρχεία IONEX είναι



Σχήμα 8: Παγκόσμιος TEC χάρτης  
Worldwide TEC map

δυνατόν να περιέχουν RMS (Root Mean Square) και χάρτες HGT, οι οποίοι μορφώνονται σε κানাβο, όπως ακριβώς και οι χάρτες TEC που περιγράφηκαν παραπάνω. Η παράμετρος RMS αποτελεί στατιστικό δείκτη για τις τιμές TEC. Οι χάρτες HGT παράγονται σε τρισδιάστατους χάρτες TEC και αφορούν στα γεωμετρικά υψόμετρα των σημείων της περιοχής που έχει οριστεί.

## 2.4 Χάρτης TEC

Ως χάρτης TEC ορίζεται η απεικόνιση των τιμών των ηλεκτρονίων της ιονόσφαιρας σε ένα επίπεδο για πεπερασμένο αριθμό σημείων (Σχήμα 8). Στα αρχεία IONEX οι χάρτες TEC δίνονται σε γεωγραφικό κানাβο. Κάθε χάρτης αποτελείται από πίνακες που περιέχουν το πλήθος των ηλεκτρονίων στο εκάστοτε σημείο. Κάθε στοιχείο του πίνακα αντιστοιχεί σε σημείο με σταθερό γεωγραφικό πλάτος, που αφορά στον πίνακα στο σύνολό του, και γεωμετρικό μήκος ίσο με το μήκος του αμέσως προηγούμενου σημείου προσαυξημένο όσο και το βήμα ( $Dlon$ ). Οι πίνακες είναι τόσοι, ώστε να ορίζεται η τιμή της παραμέτρου για όλα τα σημεία με γεωγραφικό πλάτος από το  $Lat1$  ως  $Lat2$  με το βήμα που έχει οριστεί ( $Dlat$ ).

### 2.4.1 TECU

Αυτό που πραγματικά αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείκτη για την κατάσταση στην ιονόσφαιρα είναι η περιεκτικότητα του αέρα σε ηλεκτρόνια  $N_e$  σε μονάδες ηλεκτρονίων ανά κυβικό μέτρο. Ωστόσο, για τη διάδοση του εκάστοτε σήματος στο στρώμα της ιονόσφαιρας, η περιεκτικότητα σε ηλεκτρόνια για τη συγκεκριμένη διαδρομή που ακολουθεί το σήμα μπορεί να υπολογιστεί ολοκληρώνοντας την ποσότητα  $N_e$  στην διαδρομή αυτή TEC [2, σελ. 48]. Η ποσότητα αυτή είναι γνωστή ως TEC και έχει μονάδα μέτρησης το TECU. Ένα TECU αντιστοιχεί σε  $10^{16}$  ηλεκτρόνια που περιέχονται σε έναν κύλινδρο που βρίσκεται στην πορεία του σήματος από τον δορυφόρο στο δέκτη με εμβαδόν διατομής ένα τετραγωνικό μέτρο. Ακολουθεί ο μαθηματικός ορισμός:

$$TEC = \int N_e(\rho) d\rho \quad (1)$$

Ουσιαστικά, η ποσότητα TEC με μονάδα μέτρησης το TECU, αναφέρεται στον αριθμό των ηλεκτρονίων πολλαπλασιασμένο επί  $10^{16}$  ανά τετραγωνικό μέτρο ( $electrons \cdot 10^{16}/m^2$ ). Σε ορισμένες περιπτώσεις η ποσότητα TEC αναφέρεται μόνο στην κατακόρυφη πορεία του κύματος κι έτσι υπολογίζεται η κατακόρυφη τιμή TEC, TECV.

## 2.5 Χρησιμότητα ιονοσφαιρικών προϊόντων

Πολλές είναι οι εφαρμογές που χρειάζονται άμεση πρόσβαση σε γρήγορα παραγόμενες και ενημερωμένες ιονοσφαιρικές πληροφορίες. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των χαρτών TEC είναι ότι μπορούν να παραχθούν άμεσα, τη στιγμή που γίνονται οι παρατηρήσεις. Έτσι, μπορούν να συμβάλλουν στον έλεγχο της ποιότητας δεδομένων τη στιγμή που παράγονται και να παρέχουν ακριβέστερες ιονοσφαιρικές διορθώσεις στα συστήματα πλοήγησης, όπου μετά την άρση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA: Selective Availability), η ιονόσφαιρα αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή σφαλμάτων στον προσδιορισμό της θέσης.

Επιπλέον, τα τοπικά ιονοσφαιρικά μοντέλα εξαλείφουν ή τουλάχιστον ελαχιστοποιούν τις ιονοσφαιρικές επιρροές στην επίλυση βάσεων GPS με μετρήσεις από δέκτη μίας συχνότητας, αν βρίσκονται κοντά σε δέκτες δύο συχνοτήτων, οι μετρήσεις των οποίων χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του μοντέλου της περιοχής. Έτσι, η ακρίβεια των δεκτών μίας συχνότητας μπορεί να βελτιωθεί θεαματικά με τη χρήση χαρτών TEC. Πολλές ακόμη δορυφορικές εφαρμογές, ανάμεσα τους και η αλτιμετρία, μπορούν να επωφεληθούν από τους παγκόσμιους χάρτες TEC.

Επιπρόσθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρακολούθηση των δραστηριοτήτων και των καιρικών φαινομένων της ιονόσφαιρας, όπως οι ιονοσφαιρικές ανωμαλίες, που αναφέρθηκαν στο εδάφιο 1.3. Γενικά, οι χάρτες TEC αποτελούν πηγή πληροφοριών για την ιονόσφαιρα και δίνουν τη δυνατότητα για καλύτερες και ακριβέστερες προσεγγίσεις της κατάστασης του στρώματος, βελτιώνοντας δυναμικά τα θεωρητικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί.

Μια άλλη πολύ σημαντική χρησιμότητα των χαρτών TEC είναι η δυνατότητα να παρακολουθούνται και να καταγράφονται οι επιδράσεις τις ιονόσφαιρας στη διάδοση των ραδιοκυμάτων, στη λειτουργία των δικτύων διάδοσης του ηλεκτρισμού και των δικτύων των τηλεπικοινωνιών.

Μέσα από μία μακροχρόνια διαδικασία καταγραφής και παρατήρησης των αποτελεσμάτων των χαρτών TEC μπορεί να δημιουργηθεί ένα χρονολογικό αρχείο με τη συμπεριφορά της ιονόσφαιρας συμβάλλοντας με αυτό στη διαμόρφωση μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας των αλλαγών και της εξέλιξης της γης.

Τέλος, οι τιμές των ιονοσφαιρικών χαρτών χρησιμοποιούνται από τη NASA για διορθώσεις των ιονοσφαιρικών καθυστερήσεων σε διάφορες περιοχές του πλανήτη για την παραγωγή δεδομένων Πλασματικών Περιοχών Αναφοράς (Virtual Reference Site – VRS) του Παγκόσμιου Διαφορικού Συστήματος GPS της NASA (Global Differential GPS – GDGPS System).

## 2.6 Ιονοσφαιρικές διορθώσεις και λογισμικό πακέτο Bernese

Η απεικόνιση TEC που προσεγγίζει ικανοποιητικά την παγκόσμια κατανομή των ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα προσδιορίζεται μαθηματικά από τις σειρές σφαιρικών αρμονικών, κατά τον Schaer [2]:

$$E_V(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\sin \beta) \left( \bar{C}_{nm} \cos(m s) + \bar{S}_{nm} \sin(m s) \right) \quad (2)$$

όπου

$\beta$ : το γεωγραφικό ή το επιλεγμένο γεωμαγνητικό μήκος της τομής του οπτικού πεδίου με το επίπεδο  $s = \lambda - \lambda_0$ : το πλάτος του ιονοσφαιρικού σημείου σε σχέση με τον ήλιο

$\lambda$ : το πλάτος του σημείου στην ιονόσφαιρα

$\lambda_0$ : το πλάτος του Ήλιου

$n_{\max}$ : ο μέγιστος βαθμός της σειράς σφαιρικών αρμονικών

$\bar{P}_{nm} = N_{nm} \cdot P_{nm}$ : η κανονικοποιημένη συνάρτηση Legendre βαθμού  $n$  και τάξης  $m$

$N_{nm}$ : η συνάρτηση κανονικοποίησης

$P_{nm}$ : η αρχική, μη κανονικοποιημένη, συνάρτηση Legendre

$\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ : οι άγνωστοι συντελεστές σφαιρικών αρμονικών και παράμετροι παγκόσμιου ιονοσφαιρικού χάρτη, αντίστοιχα

Για τη παραγωγή ιονοσφαιρικού μοντέλου στο επιστημονικό πακέτο Bernese, οι τιμές των ηλεκτρονίων (TEC) αναλύονται με χρήση σφαιρικών αρμονικών βαθμού και τάξης  $n, m = 6$ . Καθώς οι απεικόνιση αναφέρεται σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, οι παράμετροι TEC πρέπει να εκτιμώνται εξαρχής για κάθε περίοδο ενδιαφέροντος. Ο παγκόσμιος αριθμός των ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα δίνεται από τον τύπο:

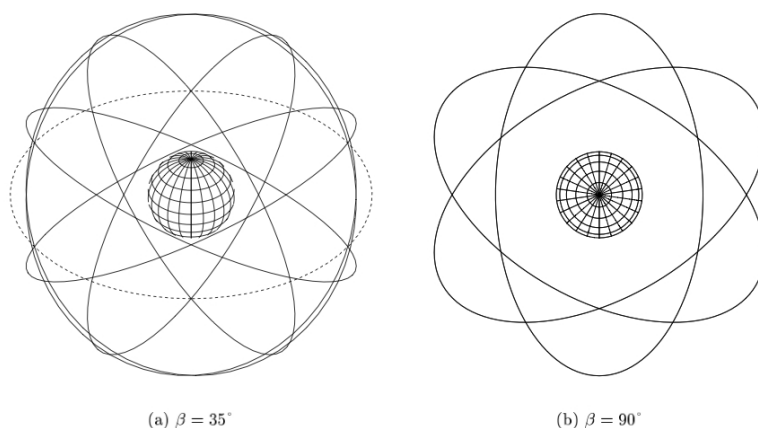
$$n_e = 4 \cdot \pi \cdot R' \cdot \bar{E}_V \quad (3)$$

όπου

$\bar{E}_V$ : η μέση κατακόρυφη τιμή TEC για την παγκόσμια κατανομή TEC, η οποία αποδεικνύεται ότι ισούται με το συντελεστή σφαιρικών αρμονικών  $C_{00}$

$R' = R + H$ : η ακτίνα του εκάστοτε σφαιρικού επιπέδου

Στη σχέση η τιμή  $n_e$  έχει μονάδες ηλεκτρονία  $\cdot 10^{16}$ , το  $R'$  δίνεται σε μέτρα και το  $E_V$  σε TECU.



Σχήμα 9: Οι τροχιές των δορυφόρων, όπως απεικονίζονται για δεδομένο γεωγραφικό πλάτος  $\beta$   
The satellite's orbits, as they are illustrated by the  $\beta$  latitude

### 3 GPS

Στο κεφάλαιο γίνεται μία προσέγγιση της φιλοσοφίας του GPS και επισημαίνονται και κάποιες από τις βασικές αρχές της λειτουργίας του. Επιπλέον, παρατίθενται και αναλύονται τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις με GPS. Τέλος, γίνεται ειδική μνεία στις τοπογραφικές εφαρμογές που μπορούν να γίνουν με τη χρήση του.

#### 3.1 Γενικά

NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System) ή απλά GPS είναι ένα παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης, που βασίζεται σε ένα δίκτυο εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, τους οποίους παρακολουθούν οι κατανεμημένοι σε όλον τον κόσμο δέκτες GPS. Οι δορυφόροι εκπέμπουν ειδικά κωδικοποιημένα σήματα, δίνοντας τη δυνατότητα στους δέκτες να παρέχουν με μεγάλη ακρίβεια πληροφορίες για τη θέση, το υψόμετρο, την ταχύτητα και την κατεύθυνση κίνησης ενός σημείου [3].

Ο χειρισμός και η λειτουργία του συστήματος γίνεται από τη Βάση της Πολεμικής Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών στο Schriever και χρησιμοποιείται για πολιτικούς και για στρατιωτικούς σκοπούς. Το δίκτυο είναι έτσι δομημένο, ώστε κάθε στιγμή από κάθε σημείο πάνω στη φ.γ.ε. να είναι ορατοί τουλάχιστον τέσσερις δορυφόροι. Η τροχιά των δορυφόρων είναι ελλειπτική (Σχήμα 9) με το μεγαλύτερο ημιάξονα να είναι 26 600 km, το οποίο αντιστοιχεί στο υψόμετρο των 20 200 km πάνω από τη φ.γ.ε. Οι δορυφόροι ακολουθούν έξι διαφορετικές τροχιές και κινούνται με ταχύτητα  $2.6 \text{ km s}^{-1}$ , διαγράφοντας μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο δύο πλήρεις περιστροφές γύρω από τη Γη.

Πρόκειται για μία μέθοδο που ξεκίνησε να χρησιμοποιείται το 1960. Ανέκαθεν, τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της χρήσης δορυφόρων για επίγειες εφαρμογές σε σχέση με τις επίγειες μεθόδους ήταν πολύ σημαντικά. Βασικά πλεονεκτήματα, όπως η μη αναγκαιότητα για αμοιβαία

οπτική επαφή δύο σημείων για να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε αυτά, ο προσδιορισμός της θέσης άμεσα σε τρισδιάστατες συντεταγμένες και η ανεξαρτησία των μεθόδων στις καιρικές συνθήκες, εντάσσουν τις δορυφορικές μετρήσεις στην κατηγορία των πολύ χρήσιμων εργαλείων για την τοπογραφία. Σήμερα, καθώς η ακρίβεια των μετρήσεων συνεχώς βελτιώνεται και τα πλεονεκτήματα της χρήσης δορυφόρων για επίγειες εφαρμογές έχουν γίνει ευρέως αποδεκτά, το GPS έχει επεκταθεί σε σημαντικές και με ιδιαίτερες απαιτήσεις εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων μεγάλων τεχνικών έργων και των μετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης.

### 3.2 Βασικές αρχές λειτουργίας του GPS

Το όργανο με τη ζωτικότερη σημασία στον δορυφόρο GPS είναι ένας καλής ποιότητας ταλαντωτής, ο οποίος επικοινωνεί με ένα σύνολο ατομικά ρολόγια ρουβιδίου και καισίου. Τα ρολόγια αυτά με τη σειρά τους δημιουργούν δύο συναφείς φορείς, την  $L_1$  και την  $L_2$  στο κανάλι L.

Οι δύο φέρουσες συχνότητες  $v_1$  και  $v_2$  προέρχονται από τη θεμελιώδη συχνότητα  $v_0 = 10.23$  MHz, και συνδέονται με τη μητρική τους ως εξής:

- $v_1 = 154 \cdot v_0 = 1575.42$  MHz με μήκος κύματος  $\lambda_1 = c/v_1 \approx 190$  mm
- $v_2 = 120 \cdot v_0 = 1227.60$  MHz με μήκος κύματος  $\lambda_2 = c/v_2 \approx 244$  mm,

όπου

$c = 299\,792\,458$  ms<sup>-1</sup> η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Ο γραμμικός συνδυασμός των  $L_1$  και  $L_2$  συχνοτήτων, η λεγόμενη  $L_3$  συχνότητα, τείνει να εξαλλείφει τις ιονοσφαιρικές διαθλάσεις κι έτσι αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την επεξεργασία των μετρήσεων GPS. Η  $L_3$  (ionosphere-free LC) μορφώνεται ως εξής:

$$L_3 = \kappa_{1,3} \cdot L_1 + \kappa_{2,3} \cdot L_2,$$

όπου

$$\begin{aligned} \kappa_{1,3} &= +v_1^2(v_1^2 - v_2^2) \approx +2,546 \\ \text{και } \kappa_{2,3} &= -v_2^2(v_1^2 - v_2^2) \approx -1,546 \end{aligned}$$

Στους δορυφόρους δημιουργούνται δύο PRN (Pseudo-Random Noise) κώδικες:

- Ο C-A (Coarse Acquisition) κώδικας, ο οποίος διαμορφώνεται στην  $L_1$  με ταχύτητα 1,023 Mbps και αντιστοιχεί στο 1/10 της θεμελιώδους  $v_0$
- Ο P (Precision) κώδικας, ή καλύτερα η κρυπτογραφημένη του εκδοχή Y-Code. Αυτός διαμορφώνεται στην  $L_1$  και στην  $L_2$  με ταχύτητα 10,23 Mbps. Είναι ο κύριος κώδικας που χρησιμοποιείται κατά κόρων για στρατιωτικούς σκοπούς.

Αξιοσημείωτη είναι η πολυπλοκότητα του κώδικα PRN, γεγονός που επιτρέπει στους δορυφόρους να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα χωρίς να «εμποδίζουν» ο ένας τον άλλον.

Τέλος, ο εκάστοτε δορυφόρος αποστέλλει προς τους δέκτες, από τους οποίους μπορεί να παρατηρηθεί, ένα μήνυμα πλοήγησης, το οποίο διαμορφώνεται με 50 hrs και στις δύο φέρουσες συχνότητες. Το μήνυμα αυτό περιέχει πληροφορίες για την εφημερίδα και τα ρολόγια του δορυφόρου, την ώρα-ημερομηνία του GPS και την κατάσταση του συστήματος. Μάλιστα, τα αρχεία με την εφημερίδα των δορυφόρων προσεγγίζουν την πραγματική τους τροχιά με ακρίβεια της τάξεως των 2 – 4 m.

Ο δορυφορικός εντοπισμός θέσης αφορά, ουσιαστικά, στον απόλυτο ή σχετικό εντοπισμό της θέσης σημείων στο γεωειδές ή πάνω από αυτό με την κατάλληλη επεξεργασία δορυφορικών μετρήσεων. Χρειάζονται τουλάχιστον τέσσερις δορυφόροι για να προσδιοριστεί η θέση ενός σημείου τρεις για τον προσδιορισμό της θέσης του δέκτη στο χώρο και έναν για το συγχρονισμό του με τον παγκόσμιο χρόνο. Ο προσδιορισμός γίνεται με τριγωνοποίηση των θέσεων των δορυφόρων με το δέκτη, ο οποίος, όμως, αδυνατώντας να συγχρονίσει τα ρολόγια του με αυτά των δορυφόρων, στην πραγματικότητα υπολογίζει λανθάνουσες αποστάσεις, τις λεγόμενες ψευδοαποστάσεις.

### 3.3 Differential GPS

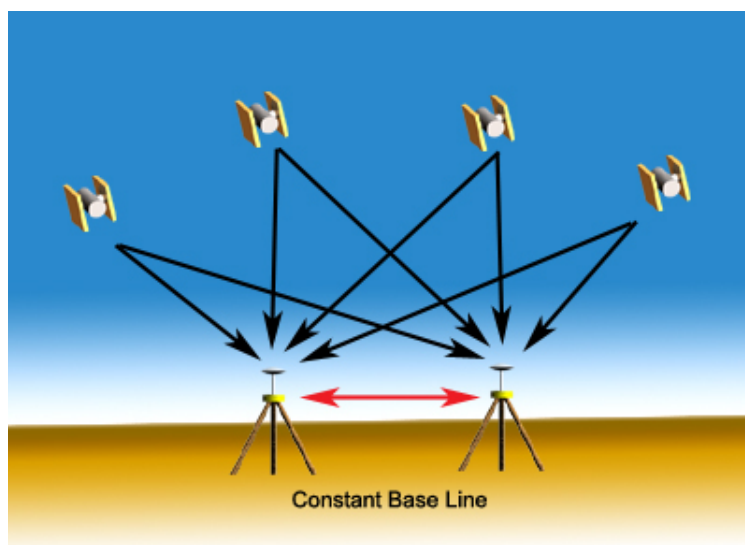
Ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση του GPS (Differential GPS- DGPS) αποτελεί μια προηγμένη μέθοδο δορυφορικού εντοπισμού που παρέχει σε κινούμενα μέσα ακρίβεια της τάξεως των μερικών μέτρων, ενώ σε στατικά σημεία η ακρίβεια προσδιορισμού φτάνει ακόμα και μερικά εκατοστά. Αυτή η τεχνική έδωσε τη δυνατότητα για γρήγορη και ακριβή πλοήγηση, με αποτέλεσμα να βρίσκει ευρέως εφαρμογή (ναυσιπλοία, χαρτογραφία).

Το DGPS στηρίζεται στη βασική αρχή ότι τα σφάλματα που υπεισέρχονται στον προσδιορισμό της θέσης είναι ίδια για όλα τα σημεία σε μία τοπική περιοχή. Στη μέθοδο αυτή υπάρχει ένας σταθμός με γνωστές συντεταγμένες, ο λεγόμενος σταθμός αναφοράς, και ένας κινούμενος ή σταθερός δέκτης, του οποίου η θέση επιδιώκεται να προσδιοριστεί (Σχήμα 10). Ο σταθμός αναφοράς δέχεται από όλους τους δορυφόρους που ανιχνεύει σήματα, από τα οποία υπολογίζει τη θέση του ή καλύτερα τις ψευδοαποστάσεις μεταξύ σταθμού και δορυφόρων. Συγκρίνοντας τις υπολογισμένες ψευδοαποστάσεις με τις δεδομένες μεγάλης ακριβείας, η διαφορά των οποίων οφείλεται στα συστηματικά σφάλματα της περιοχής, προκύπτει μία διόρθωση που ονομάζεται «παράγοντας διόρθωσης λάθους». Στη συνέχεια, ο σταθμός αναφοράς στέλνει σε όλους τους δέκτες που είναι στην περιοχή τις διορθώσεις για τον δορυφόρο που ανιχνεύει. Οι δέκτες με τη σειρά τους επιλέγουν τις διορθώσεις των δορυφόρων που χρησιμοποιούν και τις λαμβάνουν υπόψη τους προκειμένου να υπολογίσουν τη θέση τους. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ δέκτη και σταθμού αναφοράς, δηλαδή όσο πιο κοινό είναι το GDOP (Geometric Dilution of Precision) τους, τόσο περισσότερο αλληλοαναιρούνται τα συστηματικά τους σφάλματα.

### 3.4 Τεχνικές μέτρησης των ψευδοαποστάσεων

Δύο είναι οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αποστάσεων των δορυφόρων από το δέκτη: η μέθοδος του κώδικα και αυτή της φέρουσας φάσης. Οι δύο μέθοδοι





Σχήμα 10: Διάταξη των τεχνητών δορυφόρων και των δεκτών για διαφορικό εντοπισμό θέσης σημείου  
DGPS satellite-receivers provisioning

είναι διαφορετικής πολυπλοκότητας και ακρίβειας και συνήθως για εργασίες, που επιζητάται μεγάλη ακρίβεια, εφαρμόζεται αρχικά η πρώτη και διαδοχικά η δεύτερη.

#### 3.4.1 Κώδικας

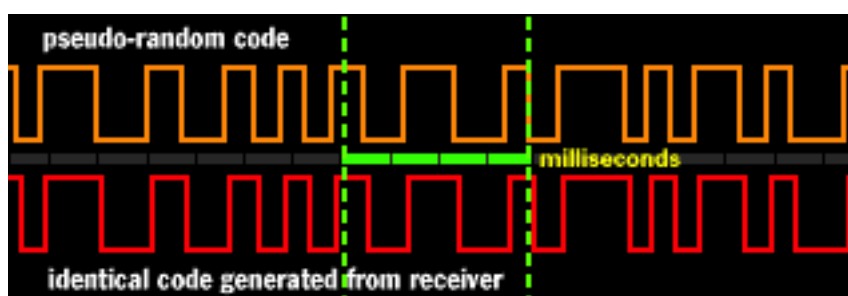
Κάθε δέκτης παράγει ένα κώδικα PRN τον οποίον συγκρίνει με τον κώδικα που λαμβάνει από τον δορυφόρο και προσπαθεί να τους συγχρονίσει, ολισθαίνοντας τον δικό του χρονικά προς τα πίσω, όσο και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το σήμα για να ταξιδέψει από τον δορυφόρο στο δέκτη. Αφού προσδιορίσει το χρονικό αυτό διάστημα μπορεί εύκολα να υπολογίσει και την απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη.

Το πρόβλημα με τη μέθοδο αυτή είναι ότι το πλάτος των κύκλων των PRN που συγκρίνονται είναι μεγάλο κι έτσι μπορεί προσεγγιστικά να φαίνονται ότι ταιριάζουν, αλλά στην πραγματικότητα να έχουν κάποια διαφορά φάσης μεταξύ τους (Σχήμα 11). Με την ταχύτητα του φωτός ακόμα και πολύ μικρές χρονικές διαφοροποιήσεις (διαφορές φάσεις) αντιστοιχούν σε σφάλμα εντοπισμού αρκετών μέτρων.

Για το λόγο αυτό οι δέκτες εφαρμόζουν διάφορους μηχανισμούς προκειμένου να φέρουν τα δύο σήματα σε φάση μεταξύ τους. Οι εξελιγμένοι δέκτες αποκλίνουν από τον συγχρονισμό μόνο 1-2%, το οποίο, όμως, αντιστοιχεί σε σφάλμα 3-6 m!

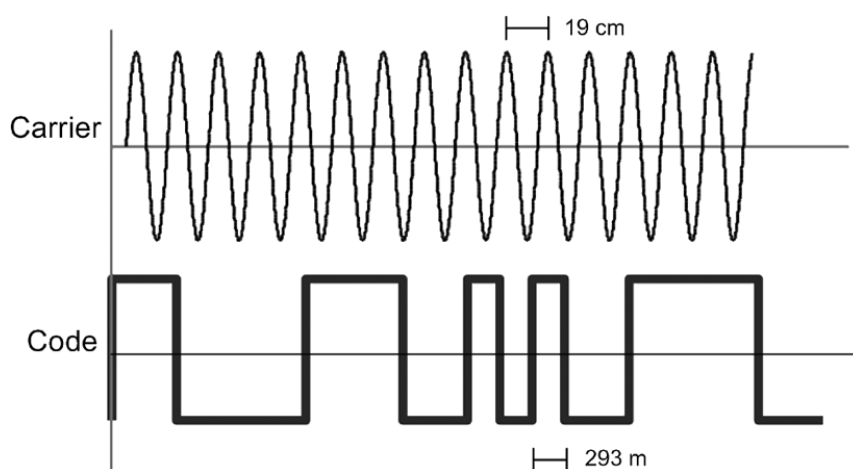
#### 3.4.2 Φέρουσα φάση

Για να επιλυθεί το πρόβλημα της διαφοράς φάσης της μεθόδου του κώδικα, αναπτύχθηκε η τεχνική της φέρουσας φάσης. Πρόκειται για μία τεχνική, όπου στον κώδικα PRN του δορυφόρου προστίθεται μία φέρουσα συχνότητα (η  $L_1$  ή η  $L_2$ ), δηλαδή ένα κατάλληλο σήμα



Σχήμα 11: Τα δύο σήματα ταιριάζουν, αλλά η διαφορά φάσης παραμένει

The two signals match, but there is still a phase difference



Σχήμα 12: Οι κύκλοι της Φέρουσας Φάσης και του Κώδικα  
The cycles of Code and Carrier-phase GPS signals

υψηλής συχνότητας. Το νέο αυτό σήμα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 12, έχει πολύ μικρό πλάτος κύκλων. Ο δορυφόρος εκπέμπει το σήμα στη φέρουσα συχνότητα (εδάφιο 3.2), στην οποία συντονίζεται και ο δέκτης. Στη συνέχεια, ο δέκτης με έναν αποδιαμορφωτή «ξεχωρίζει» και ενισχύει τον κώδικα PRN.

Η παρακολούθηση της φέρουσας φάσης GPS δίνει τη δυνατότητα να προσδιοριστεί η θέση σημείου μέχρι και 30 km μακριά από το σημείο αναφοράς (σταθμός με γνωστές συντεταγμένες). Για το λόγο αυτό οι περισσότεροι δέκτες GPS περιέχουν και ένα σύστημα παρακολούθησης της φέρουσας φάσης. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο αυτή είναι της τάξεως των 2 mm, αλλά μειώνεται σημαντικά αν η διαφορά σε ιονοσφαιρική καθυστέρηση στους δύο δέκτες είναι μεγάλη. Αυτό συμβαίνει όταν τα δύο σημεία βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 30 km, με αποτέλεσμα τα συστηματικά τους σφάλματα να μην είναι παραπλήσια και να μην αλληλοαναιρούνται. Οι διαφορετικές τιμές σε κύκλους και κλάσματα κύκλων της φέρουσας φάσης ανά τον χρόνο για τα δύο σημεία, οδηγούν σε πολύ μικρή ακρίβεια εντοπισμού της άγνωστης θέσης του σημείου.

Η μέτρηση της φέρουσας φάσης σ' ένα δέκτη D από ένα δορυφόρο S δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\Phi_D^S(t) = f_D^S(t) - f^S(t) + N_D^S + S_D + f(t_S + t_D) - d_{iono} + d_{tropo} \quad (4)$$

όπου

$\Phi_D^S(t)$ : το μήκος της διαδρομής από τον δορυφόρο στον δέκτη για χρόνο  $t$ . Το μήκος αυτό εκφράζεται σε αριθμό ακέραιων κύκλων και κλάσματα κύκλου.

$f_D^S(t)$ : η φάση που μετράει ο δέκτης από τον δορυφόρο σε χρόνο  $t$

$f^S(t)$ : η φάση που εκπέμπεται από τον δορυφόρο

$N_D^S$ : ο ακέραιος αριθμός κύκλων ασάφειας

$S_D$ : ο θόρυβος στο δέκτη

$f$ : η φέρουσα συχνότητα

$t_S$ : το σφάλμα του χρονομέτρου του δορυφόρου

$t_D$ : το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη

$d_{iono}$ : το σφάλμα προώθησης του σήματος στην ιονόσφαιρα

$d_{tropo}$ : το σφάλμα καθυστέρησης του σήματος στην τροπόσφαιρα

Το πρόβλημα με τη μέθοδο αυτή είναι ότι είναι δύσκολο να μετρηθεί, γιατί οι κύκλοι της είναι πολύ ομοιόμορφοι, σε αντίθεση με τους κύκλους του κώδικα PRN. Για το λόγο αυτό η συνηθέστερη πρακτική που ακολουθείται είναι ο υπολογισμός των αποστάσεων με τη μέθοδο του κώδικα, με ακρίβεια της τάξεως των μερικών μέτρων, και στη συνέχεια, αφού έχει περιοριστεί σημαντικά το πλήθος των κύκλων της φέρουσας συχνότητας που πρέπει να μετρηθούν, υπολογίζονται ξανά οι αποστάσεις με τη μέθοδο της φάσης με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Η πρακτική αυτή ακολουθήθηκε και στην εφαρμογή που παρουσιάζεται στο Β' ΜΕΡΟΣ της εργασίας.

### 3.5 Μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην φέρουσα φάση και στο διαφορικό εντοπισμό

Οι μετρήσεις της φέρουσας φάσης πραγματοποιούνται παράλληλα σε όσο το δυνατόν περισσότερους δορυφόρους. Οι τεχνικές των απλών, διπλών και τριπλών διαφορών δημιουργούν εξισώσεις παρατήρησης με αγνώστους τα συστηματικά σφάλματα και τους κύκλους ασάφειας. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι αποστάσεις του σταθμού αναφοράς και του άλλου σημείου από τους δορυφόρους και τελικά με οπισθοτομία να προσδιοριστεί η θέση του σημείου.

- **Απλές Διαφορές:** Μπορεί να εφαρμοστεί σε ταυτόχρονες μετρήσεις δύο δεκτών. Με τη μέθοδο αυτή απαλείφονται τα σφάλματα του χρονομέτρου του δορυφόρου.

Η απλή διαφορά δίνεται από τη σχέση:

$$p = \rho + d\rho + d_{trop} - d_{ion} + c(dt - dT) + MP + \varepsilon_p \quad (5)$$

όπου

$p$ : η γεωμετρική απόσταση του δορυφόρου από το δέκτη.

Στη σχέση αυτή υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα, όπως το σφάλμα καθυστέρησης του σήματος στην τροπόσφαιρα, το σφάλμα προώθησης του σήματος στην ιονόσφαιρα, τα συστηματικά σφάλματα των χρονομέτρων του δορυφόρου και του δέκτη ( $dT$  και  $dt$  αντίστοιχα), οι πολλαπλές διαδρομές και το τυχαίο σφάλμα της εκάστοτε μέτρησης επ.

- **Διπλές Διαφορές:** Η μέθοδος εφαρμόζεται σε ταυτόχρονες μετρήσεις δύο δεκτών. Ουσιαστικά, μία διπλή διαφορά αντιστοιχεί σε διαφορά δύο απλών διαφορών. Με αυτή την επεξεργασία των μετρήσεων εξαλείφονται τα σφάλματα χρονομέτρων στο δορυφόρο και το δέκτη, αλλά δεν εξαλείφεται η ασάφεια των κύκλων.
- **Τριπλές Διαφορές:** Σχηματίζονται από διπλές διαφορές σε διαφορετικά χρονικά στιγμιότυπα. Εκτός από τα συστηματικά σφάλματα, που εξαλείφονται και με τη μέθοδο των διπλών διαφορών, εξαλείφονται και οι ασάφειες των κύκλων.

### 3.5.1 Επίλυση ασαφειών

Όλες οι τεχνικές, που χρησιμοποιούνται στο εντοπισμό θέσης που βασίζονται στην φέρουσα φάση, στοχεύουν στην επίλυση της ασάφειας των κύκλων, στην εύρεση δηλαδή του ακεραίου αριθμού των κύκλων της φέρουσας φάσης. Αν με τη μέθοδο του διαφορικού εντοπισμού βρεθεί ο αριθμός αυτός, τότε η απόσταση δορυφόρου από το σταθερό δέκτη προσδιορίζεται με μεγάλη ακρίβεια και περιορίζονται τα συστηματικά σφάλματα, τα οποία, όπως επεξηγείται και παραπάνω αλληλοαναιρούνται για μικρές σχετικά αποστάσεις (κάτω των 30 km) κι έτσι εκτιμάται με μεγάλη ακρίβεια η θέση του άγνωστου σημείου. Η εύρεση των ακέραιων κύκλων της φέρουσας φάσης βασίζεται πάντα σε στατιστικές υποθέσεις και μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από παράγοντες που δεν λαμβάνονται υπόψη στις εξισώσεις παρατήρησης. Πριν τη χρησιμοποίηση της συχνότητας ελεύθερης ιονόσφαιρας (ionosphere-free LC), η επίλυση των απλών και των διπλών διαφορών εξαρτιόταν κυρίως από τις ιονοσφαιρικές αποκλίσεις. Ακόμη και σήμερα οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των ασαφειών, αν εξαιρεθεί η μέθοδος των ψευδοαποστάσεων, επηρεάζονται από την ιονοσφαιρική διάθλαση. Η εκάστοτε μέθοδος διαχειρίζεται τα ιονοσφαιρικά σφάλματα που δεν έχουν ληφθεί υπόψη με κάποιον τρόπο στο μαθηματικό μοντέλο, είτε αγνοώντας τα, είτε υποθέτοντας ότι τα σφάλματα αυτά βρίσκονται εντός αποδεκτών ορίων.

Οι μέθοδοι επίλυσης των ασαφειών που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής [2, σελ. 53]:

- Απευθείας επίλυση των  $L_1$  και  $L_2$  ασαφειών. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρές βάσεις, στις οποίες μπορεί να αγνοηθεί η ιονοσφαιρική διάθλαση
- FARA (FAst Ambiguity Resolution Approach)
- LAMBDA (Least-Squares AMBiguity Decorrelation Adjustment)
- Επίλυση των ασαφειών σε δύο βήματα, πρώτα επιλύοντας τις ασάφειες μίας ευρείας και στη συνέχεια μιας στενότερης λωρίδας κύκλων

- Η μέθοδος των ψευδοαποστάσεων
- QIF (Quasi Ionosphere Free). Η μέθοδος σχεδιάστηκε από τους Schaer [1994] και Mervart [1995] κυρίως για μεγάλα σταθερά δίκτυα. Πραγματοποιείται σε ένα βήμα και επιτρέπει την απευθείας επίλυση των βασικών ασαφειών φάσης σε μεγάλες βάσεις, μη αξιοποιώντας τον κώδικα P. Μπορεί να αντιμετωπίσει μεγάλα ιονοσφαιρικά σφάλματα. Το ποσοστό των ασαφειών των βάσεων που επιλύονται με τη μέθοδο αυτή, αν στην επίλυση λαμβάνονται υπόψη τοπικοί ή παγκόσμιοι ιονοσφαιρικοί χάρτες, είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Οι ασάφειες του δικτύου, για το οποίο γίνεται λόγος στο Β' ΜΕΡΟΣ της εργασίας, έχουν επιλυθεί με αυτή τη μέθοδο.

Το λογισμικό πακέτο Bernese υποστηρίζει και μπορεί να διαχειριστεί όλες τις μεθόδους εκτός της LAMBDA.

### 3.6 Σφάλματα στο GPS

Πολλοί είναι οι παράμετροι που μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστερήσεις και αλλοιώσεις του εκπεμπόμενου από τον δορυφόρο ραδιοσήματος. Τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις του GPS μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής γενικές κατηγορίες:

- Συστηματικά Σφάλματα (Biases)
- Χονδροειδή Σφάλματα
- Σφάλματα Θορύβου

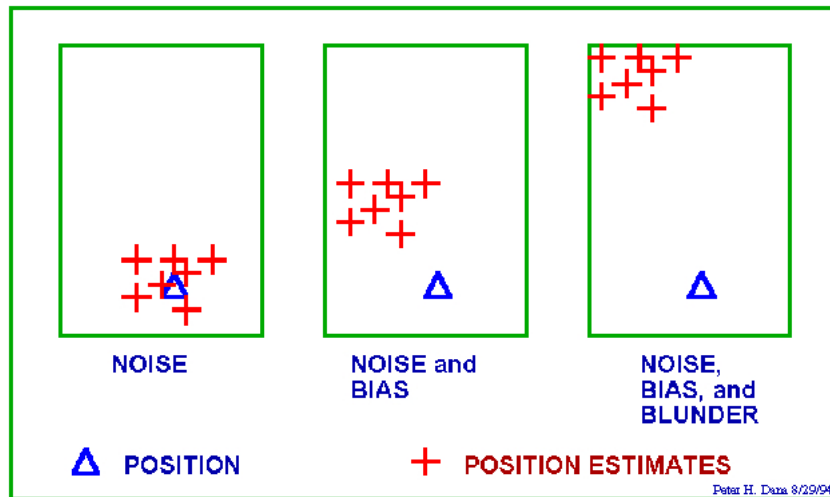
Έχει παρατηρηθεί, ότι ο θόρυβος και τα βιας σφάλματα κάθε δορυφόρου που συμμετέχει στη λύση εντοπισμού επιβαρύνουν τη λύση με τυπικό σφάλμα των 15 m, σφάλμα όχι ασήμαντο για τις επιθυμητές ακρίβειες. Η Σχήμα 13 επισημαίνει το παραπάνω γεγονός.

Ένας πολύ αξιόπιστος μαθηματικός δείκτης για την ποιότητα της δορυφορικής επίλυσης είναι το GDOP. Ο δείκτης αυτός αφορά στο πλήθος και κυρίως στη γεωμετρία (ύψος και θέση στον ουρανό) που έχει ο δορυφορικός αστερισμός τη στιγμή της μέτρησης και υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

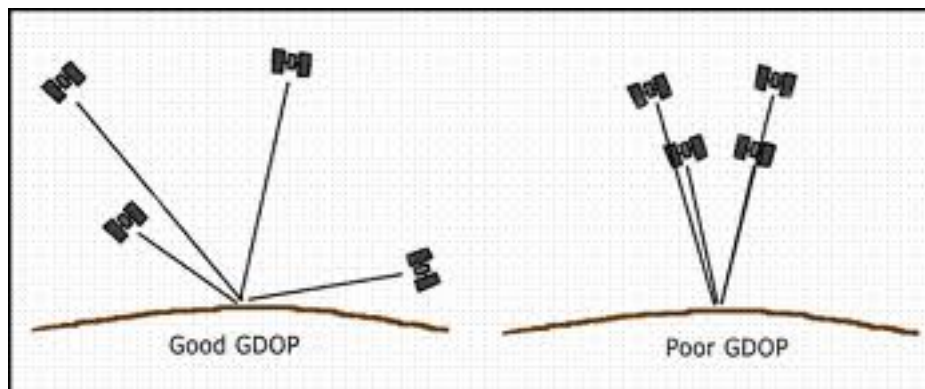
$$GDOP = \sqrt{TDOP^2 + HDOP^2 + VDOP^2} \quad (6)$$

Οι παράμετροι του τύπου (6) ορίζονται ως εξής:

- *TDOP* (Time Dilution of Precision) είναι ένας δείκτης για το κατά πόσο η γεωμετρία των δορυφόρων επηρεάζει το συγχρονισμό των ρολογιών του δέκτη
- *HDOP* (Horizontal Dilution of Precision) είναι δείκτης που συναρτά τη γεωμετρία των δορυφόρων με την οριζοντιογραφική ακρίβεια με την οποία προσεγγίζεται η θέση του δέκτη
- *VDOP* (Vertical Dilution of Precision) είναι δείκτης που συναρτά τη γεωμετρία των δορυφόρων με την ακρίβεια με την οποία προσεγγίζεται το υψόμετρο του δέκτη



Σχήμα 13: Σφάλματα που υπεισέρχονται στον εντοπισμό θέσης και πώς αυτά επηρεάζουν  
 Errors in positioning and their effect



Σχήμα 14: Καλή και κακή γεωμετρία του δορυφορικού αστερισμού  
 Good and poor GDOP

Μεγάλη γωνία μεταξύ των δορυφόρων μεταφράζεται σε μικρό GDOP και συνεπώς καλή γεωμετρία των δορυφόρων, ενώ αντίθετα μικρή γωνία σημαίνει κακή γεωμετρία και κακή ποιότητα των μετρήσεων για τον προσδιορισμό της θέσης (Σχήμα 14). Πλέον, κυκλοφορούν στο εμπόριο δέκτες που προσδιορίζουν το GDOP των δορυφόρων και επιλέγουν αυτούς με το μικρότερο.

### 3.6.1 Συστηματικά σφάλματα

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν σφάλματα, που δεν μπορούν να αποφευχθούν στη φάση των μετρήσεων. Τέτοια μπορεί να είναι:

- Η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα: Σφάλμα το οποίο περιορίζει θεμιτά την ακρίβεια του εντοπισμού θέσης. Το σφάλμα αυτό επιβαλλόταν από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των Η.Π.Α. και πλέον από το 2000 έχει σταματήσει να ισχύει.
- Σφάλματα μη συγχρονισμού των ρολογιών. Ο συγχρονισμός των ρολογιών των δεκτών με τον παγκόσμιο χρόνο επιτυγχάνεται με τη μέτρηση της απόστασης του δέκτη από έναν τέταρτο δορυφόρο, έτσι τα κοινά quartz ρολόγια των δεκτών αποκτούν ακρίβεια ατομικού ρολογιού.
- Σφάλματα στα δεδομένα των τροχιών (εφημερίδων των δορυφόρων). Όλοι οι δέκτες GPS είναι εφοδιασμένοι με ένα ημερολόγιο με την ακριβή εφημερίδα των δορυφόρων. Επιπρόσθετα, η θέση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση κίνησης των δορυφόρων GPS ελέγχονται από το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών με ραντάρ μεγάλης ακρίβειας, το οποίο μεταδίδει στο δορυφόρο διορθώσεις της αρχικής τροχιάς από σφάλματα, που προκαλούνται από την πίεση που ασκεί η ηλιακή ακτινοβολία στους δορυφόρους και από τα πεδία βαρύτητας της Σελήνης και του Ήλιου.
- Καθυστερήσεις στην τροπόσφαιρα από τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν στο στρώμα αυτό και τους υδρατμούς.
- Καθυστερήσεις στην ιονόσφαιρα λόγω διαθλάσεων, κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου οι θερμοκρασίες είναι πιο υψηλές.
- Πολλαπλές διαδρομές σημάτων που ανακλώνται κοντά στον δέκτη, τα οποία μπορεί είτε να παρεμβάλλουν με τα κύματα GPS, είτε να αναγνωρίζονται από τον δέκτη σαν κύματα GPS (multipath errors). Σήμερα, οι καλοί δέκτες χρησιμοποιούν περίπλοκες τεχνικές για να απορρίπτουν τα σήματα που οφείλονται σε αντανακλάσεις αμβλύνοντας σημαντικά το πρόβλημα που δημιουργούν τα σφάλματα αυτά. Όπως είναι λογικό τα σφάλματα αυτά είναι μεγαλύτερα σε χαράδρες, πόλεις με ψηλά κτίρια, οροπέδια κτλ.

### 3.6.2 Χοντροειδή σφάλματα

Τα σφάλματα αυτά οφείλονται κυρίως σε «απροσεξίες» στα διάφορα στάδια του δορυφορικού εντοπισμού. Μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία της λύσης της τάξεως των εκατοντάδων χιλιομέτρων. Ωστόσο, μπορούν σχετικά εύκολα να εντοπιστούν ή να γίνει αντιληπτή η

ύπαρξή τους, αν τα τελικά αποτελέσματα ή τα αποτελέσματα στις διάφορες φάσης μεμονωμένα εμφανίζουν σημαντική απόκλιση σε σχέση με κάποια προσεγγιστική τιμή που προσδιορίζεται εύκολα με απλές μεθόδους. Για παράδειγμα, αν επιθυμείται να πραγματοποιηθεί ένας έλεγχος για την ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων στις μετρήσεις για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου, είναι εύκολο να συγκριθούν οι τελικές συντεταγμένες του σημείου με μία προσεγγιστική τιμή για το σημείο αυτό που μπορεί να παρθεί από έναν χάρτη. Σφάλματα αυτού του είδους μπορεί να είναι σφάλματα του Τμήματος Ελέγχου, σφάλματα του χρήστη που επιλύει το δίκτυο, όπως η χρήση λάθος γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς, σφάλματα στη συσκευή του δέκτη κ.α.

### 3.6.3 Σφάλματα θορύβου

Τα σφάλματα θορύβου προκαλούνται από το συνδυασμό σφαλμάτων στον κώδικα PRN, του γήινου παρασιτικού θορύβου και του θορύβου που οφείλεται στη φύση των κυκλωμάτων του δέκτη.

## 3.7 Τοπογραφικές εργασίες με GPS

Οι μετρήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν με το GPS ποικίλουν. Για κάθε γεωδαιτική εφαρμογή συνυπολογίζοντας την επιθυμητή ακρίβεια στα τελικά αποτελέσματα, τον χρόνο που μπορεί να διατεθεί για κάθε μέτρηση, το αν η μέθοδος επιτρέπει την επιτόπια επεξεργασία των μετρήσεων ή απαιτεί μετέπειτα επεξεργασία στο γραφείο, επιλέγεται συνήθως μία από τις παρακάτω τεχνικές:

- Απόλυτος Στατικός Εντοπισμός
- Σχετικός Στατικός Εντοπισμός (Static)
- Ταχεία Στατική Μέθοδος Εντοπισμού
- Κινηματικός Εντοπισμός (Kinematic)
- Stop and Go Kinematic
- Ψευδοκινηματική
- Real Time Kinematic (RTK)

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, περιγράφεται παρακάτω αναλυτικότερα η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού, καθώς με τη συγκεκριμένη μέθοδο έγιναν οι μετρήσεις για τον υπολογισμό της θέσης των σημείων του τοπικού δικτύου.

### 3.7.1 Σχετικός Στατικός Εντοπισμός

Μέσω της μεθόδου αυτής προσδιορίζεται το διάνυσμα μεταξύ δύο σημείων ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ). Το διάνυσμα αυτό ονομάζεται βάση. Έτσι, μπορεί να εντοπιστεί η θέση ενός σημείου ως προς κάποιο άλλο, το οποίο έχει ήδη γνωστές συντεταγμένες και κατά συνέπεια μπορεί



να υπολογιστεί και η απόλυτη θέση του άγνωστου σημείου. Για τον εντοπισμό της θέσης ενός σημείου με τη μέθοδο αυτή, απαιτούνται ταυτόχρονες παρατηρήσεις πέντε τουλάχιστον δορυφόρων από τουλάχιστον δύο δέκτες.

Πρόκειται για μια ιδιαίτερα ακριβή μέθοδο εντοπισμού, η ακρίβεια της οποίας αγγίζει τα μερικά κλάσματα του εκατοστού. Ο χρόνος παρατήρησης, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για μετρήσεις σε μία βάση, είναι μεγάλος. Ενδεικτικά, για μία βάση 5 km, με καλό GDOP, ο απαιτούμενος χρόνος παρατηρήσεων είναι τουλάχιστον 20min. Ο χρόνος παρατήρησης είναι μια παράμετρος που διαφοροποιείται ανάλογα με το μήκος της βάσης, τον αριθμό και τη γεωμετρία των δορυφόρων που είναι ανά πάσα στιγμή ορατοί και στα δύο σημεία και την επιθυμητή ακρίβεια.

Η επεξεργασία των μετρήσεων και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων προϋποθέτει επεξεργασία των παρατηρήσεων στο γραφείο. Η μέθοδος της επεξεργασίας περιλαμβάνει τη δημιουργία απλών, διπλών και τριπλών διαφορών. Η ταυτόχρονη μέτρηση και των δύο δεκτών απαλείφει πολλές πηγές συστηματικών σφαλμάτων, παρέχοντας ακρίβεια της τάξεως των μερικών χιλιοστών.

### 3.8 Επίδραση της ιονόσφαιρας στις παρατηρήσεις GPS

Καθώς το σήμα του GPS ταξιδεύει από τους δορυφόρους στους γήινους δέκτες περνά μέσα από ένα στρώμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε ιόντα, την ιονόσφαιρα. Το στρώμα αυτό έχει τέτοιες ιδιότητες, ώστε να παρεμβαίνει στην διάδοση των κυμάτων και να επηρεάζει την πορεία τους. Η καθυστέρηση του σήματος λόγω της επίδρασης της ιονόσφαιρας κυμαίνεται από είκοσι ως τριάντα μέτρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και από τρία ως έξι μέτρα κατά τη διάρκεια της νύχτας, σύμφωνα με τους Ζησόπουλο, Παραδείση [4]. Μάλιστα, σε περιπτώσεις έντονων ιονοσφαιρικών φαινομένων, η καθυστέρηση του σήματος στη συχνότητα  $L_1$  μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 100 m σε περιοχές με εμπόδια. Για γωνίες χαμηλού ύψους η ιονοσφαιρική καθυστέρηση είναι τριπλάσια από τη μέση.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζεται η καθυστέρηση του σήματος στις διάφορες συχνότητες που οφείλεται σε 1 TECU ελεύθερων ηλεκτρονίων [2, σελ. 53].

Συχνότητα	Ιονοσφαιρική Καθυστέρηση		
	Μέτρα (m)	Κύκλοι	Χρόνος (ns)
$L_1$	0,162	0,853	0,542
$L_2$	0,267	1,095	0,892
$L_3$	-0,105	-1,948	-0,354
$L_4$	-0,208	-0,248	0,695

Πίνακας 3.1: Καθυστερήσεις του σήματος που οφείλονται σε 1 TECU ελεύθερων ηλεκτρονίων

Signal delays, which are due to 1 TECU free electrons

Γενικά, η μετρημένη απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη ισούται με:

$$\rho' = \rho + \Delta p_{trop} + \Delta p_{ion} \quad (7)$$

όπου

$p$ : η γεωμετρική απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη GPS

$\Delta p_{trop}$ : η διόρθωση στην τροπόσφαιρα

$\Delta p_{ion}$ : η διόρθωση στην ιονόσφαιρα

Η ιονοσφαιρική επίδραση υπολογίζεται από τον εξής τύπο [5, σελ. 58]:

$$\Delta I_i^{iono} = \pm \frac{\alpha}{f_i^2} \cdot TEC \text{ για } i = 1, 2 \quad (8)$$

όπου

$\Delta I_i^{iono}$ : ιονοσφαιρική διόρθωση σε μέτρα στην συχνότητα  $f_i$

$f_i$ : συχνότητα εκπομπής με  $i = 1, 2$  και ( $f_i > 0$  για παρατηρήσεις κώδικα,  $f_i < 0$  για παρατηρήσεις φάσης)

$\alpha$ : η σταθερά  $\alpha = 40,3$

Η διόρθωση στην ιονόσφαιρα μπορεί να είναι:

- Θετική (+): για παρατηρήσεις κώδικα, στις οποίες η μετρημένη απόσταση είναι μεγαλύτερη από τη γεωμετρική.
- Αρνητική (-): για παρατηρήσεις κώδικα, στις οποίες η μετρημένη απόσταση είναι μικρότερη από τη γεωμετρική.

## Μέρος II

# Επεξεργασία δεδομένων - Συμπεράσματα

## 4 Δίκτυο δορυφορικού εντοπισμού

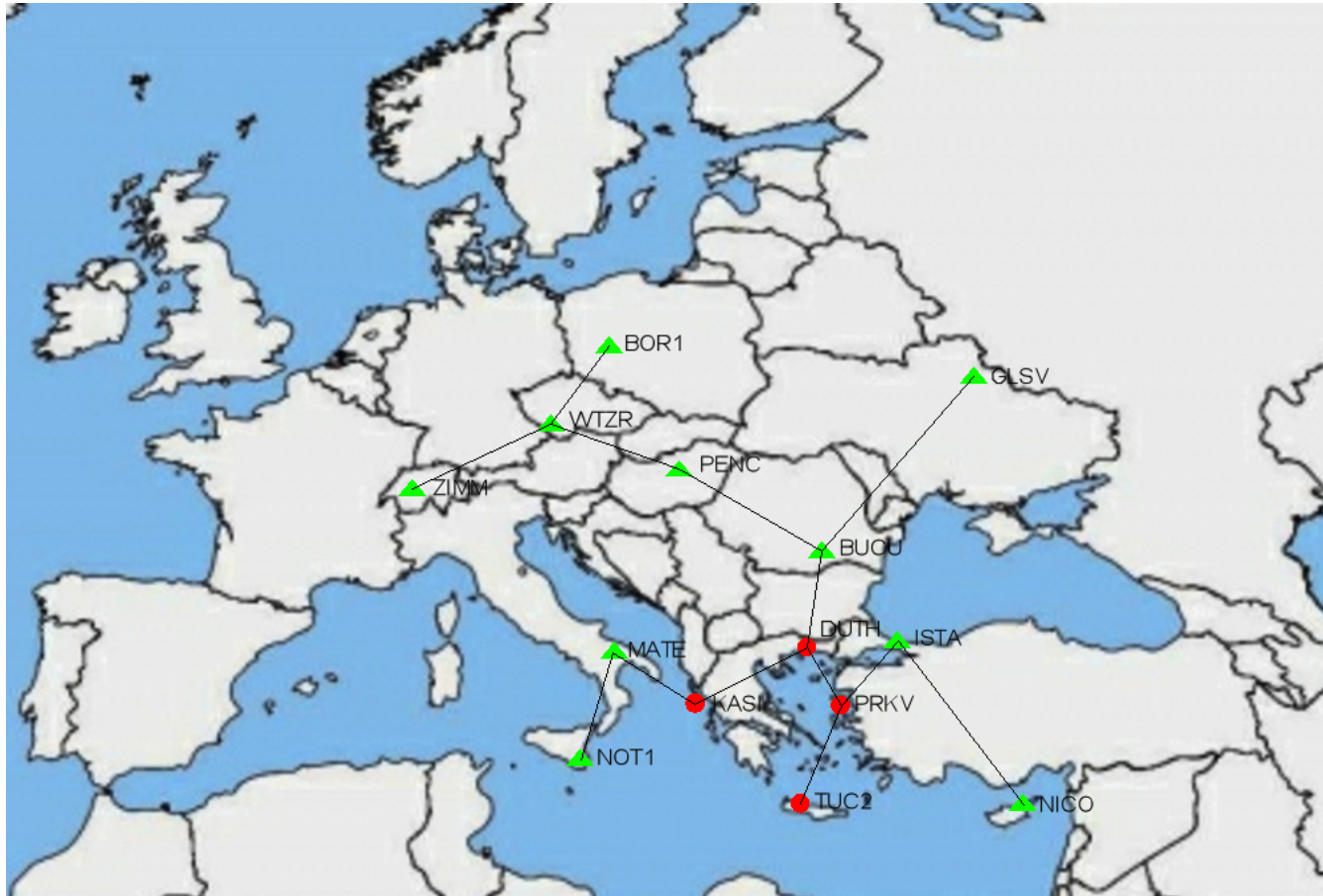
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, ώστε τελικά να παραχθούν τα αρχεία IONEX που περιγράφονται στο πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα δίκτυο δορυφορικού εντοπισμού για το προσδιορισμό της θέσης τεσσάρων μόνιμων σταθμών, επιλεγμένων έτσι ώστε να περιβάλουν την Ελλάδα. Η επίλυση πραγματοποιήθηκε για εικοσιοκτώ ημέρες του έτους 2011, δηλαδή για επτά συνεχόμενες ημέρες για της τέσσερις εποχές του έτους. Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με εργαλείο το επιστημονικό λογισμικό πακέτο Bernese έκδοσης 5.0.

### 4.1 Γενικά

Ζητούμενο είναι να εντοπιστεί η θέση των τεσσάρων σημείων, που επιλέχθηκαν να είναι όσο το δυνατόν καλύτερα κατανομημένα στην Ελλάδα, για την παραγωγή TEC χαρτών αντιπροσωπευτικών των τιμών της ιονόσφαιρας στην Ελλάδα, για της διάφορες εποχές του έτους. Για το σκοπό αυτό δημιουργείται δίκτυο σημείων που αποτελείται από δέκα σταθμούς αναφοράς στην Ευρώπη και τους τέσσερις σταθμούς, κατανομημένους στην Ελλάδα. Το δίκτυο αυτό είναι ένα δίκτυο GNSS μόνιμων σταθμών αναφοράς που βρίσκονται σε συνεχόμενη λειτουργία ετησίως όλο το εικοσιτετράωρο. Το σχήμα 15 αναπαριστά γραφικά το μελετούμενο δίκτυο. Με πράσινο τρίγωνο απεικονίζεται η θέση των γνωστών σημείων (σημεία αναφοράς) και με κόκκινο κύκλο τα σημεία του τοπικού δικτύου. Επιπλέον, έχουν ενωθεί οι βάσεις που δημιουργούνται για την επίλυση του δικτύου.

Οι σταθμοί που επελέγησαν σαν σταθμοί αναφοράς του δικτύου είναι μόνιμοι σταθμοί της IGS (εδάφιο 1.4), προσδιορισμένοι στο ITRF. Το τοπικό δίκτυο αποτελείται από τους σταθμούς «KASI» και «PRKV» του δικτύου που έχει ιδρυθεί από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (εδάφιο 1.6) και τους σταθμούς «DUTH» και «TUC2» του EPN της Euref (εδάφιο 1.5).

Ως πρώτο βήμα για την μελέτη της ιονόσφαιρας, λοιπόν, πρόκειται να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των σημείων «PRKV», «KASI», «TUC2» και «DUTH», χρησιμοποιώντας ημερήσιες δορυφορικές παρατηρήσεις, που πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και στα δεκατέσσερα σημεία του δικτύου. Η μέθοδος της επεξεργασίας είναι ο σχετικός στατικός εντοπισμός, ενώ για την επεξεργασία του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν τελικά προϊόντα της υπηρεσίας IGS, τα οποία βρίσκονται αναρτημένα στο διαδίκτυο [6–9].



Σχήμα 15: Γραφική αναπαράσταση των σημείων του δικτύου  
Graphical representation of the network's stations

Τα δεδομένα που λαμβάνονται προς επεξεργασία υπάγονται στις παρακάτω μορφές δεδομένων:

- Αρχεία RINEX: Για κάθε σημείο το δικτύου απαιτείται ένα αρχείο RINEX με τα δεδομένα των παρατηρήσεων. Η δομή ενός αρχείου RINEX είναι συγγενής με αυτή των αρχείων IONEX. Αποτελείται από την επικεφαλίδα και από το κομμάτι των δεδομένων. Η ονοματολογία του RINEX παραπέμπει στο όνομα του σημείου, το οποίο καταλαμβάνει τις πρώτες θέσεις στο όνομα του αρχείου, και στην ημερομηνία που αφορούν οι συγκεκριμένες παρατηρήσεις, δηλαδή την ημέρα του έτους (τρεις επόμενες θέσεις) και το έτος (πρώτες δύο θέσεις μετά την τελεία). Έτσι, για παράδειγμα το αρχείο με όνομα «bor10830.11o», είναι αρχείο RINEX (κατάληξη .xxo), αφορά σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την 83η ημέρα του 2011, και είναι το πρώτο αρχείο του δέκτη για τη συγκεκριμένη ημερομηνία, κάτι το οποίο μπορεί κανείς να το καταλάβει από το “0” πριν από την τελεία στο όνομα του σημείου. Στο format αυτό ο χρόνος προσδιορίζεται με βάση της ημέρες του έτους, ξεκινώντας από την πρώτη μέρα του Γενάρη, χωρίς ουσιαστικά να υπάρχει η έννοια της εβδομάδας.

Επίσης απαιτούνται:

- .sp3 αρχεία: Πρόκειται για αρχεία τροχιών ακριβείας. Ξαρκηριστικό της συγκεκριμένης μορφής αρχείων είναι ο υπολογισμός των διορθώσεων των ρολογιών των δορυφόρων ταυτόχρονα με τον υπολογισμό της εφημερίδας. Για τις εφημερίδες των δορυφόρων, η αναζήτηση των αρχείων γίνεται με βάση την εβδομάδα GPS και περιέχουν πληροφορίες για ολόκληρη την εβδομάδα.
- .erp αρχεία: Τα αρχεία αυτά είναι εβδομαδιαία και περιέχουν τις συντεταγμένες των πόλων στη διάρκεια της ημέρας και άλλα στοιχεία, όπως το μήκος της ημέρας. Για να ανατρέξει κανείς στα αρχεία με τους πόλους, απαιτείται το format «GPS Week, Day of Week». Σαν απαρχή των χρονικών μετρήσεων για το format αυτό είναι η πρώτη εβδομάδα του 1980.

Το σύνολο της επεξεργασίας έγινε με το επιστημονικό λογισμικό Bernese της AIUB (Astronomical Institute of the University of Bern). Το πρόγραμμα αυτό επιλύει με ακρίβεια GNSS δίκτυα κι παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου όλων των σταδίων της επίλυσης. Επιπλέον, δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει τις μεθόδους και τις παραμέτρους που εξυπηρετούν στην εκάστοτε καμπάνια. Το πρόγραμμα χρησιμοποιείται από την IGS και την EUREF.

## 4.2 Ημέρες επίλυσης του δικτύου

Όπως έχει ήδη διευκρινιστεί, ο τελικός σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παραγωγή χαρτών TEC για την εκτίμηση της ιονόσφαιρας πάνω από τον ελλαδικό χώρο. Για το λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητο να επιλυθεί το δίκτυο σε διαφορετικές χρονικές περιόδους – εποχές, όπως επίσης και για συνεχόμενες ημέρες προκειμένου να γίνει μία όσο το δυνατόν σφαιρικότερη προσέγγιση του ζητήματος. Έτσι, οι χάρτες TEC που δημιουργήθηκαν δίνουν εικόνα της ιονόσφαιρας για όλες τις εποχές του χρόνου.

Με βάση τα παραπάνω, επιλέχθηκαν οι εξής μέρες για να επιλυθεί το δίκτυο:

Year, Month, Day	Modified Julian Day	GPS Week, Day	Year, Day of Year
2011, 1, 16	55577,5	1619, 0	2011, 16
2011, 1, 17	55578,5	1619, 1	2011, 17
2011, 1, 18	55579,5	1619, 2	2011, 18
2011, 1, 19	55580,5	1619, 3	2011, 19
2011, 1, 20	55581,5	1619, 4	2011, 20
2011, 1, 21	55582,5	1619, 5	2011, 21
2011, 1, 22	55583,5	1619, 6	2011, 22
2011, 1, 16	55667,5	1613, 6	2011, 106
2011, 4, 17	55668,5	1632, 0	2011, 107
2011, 4, 18	55669,5	1632, 1	2011, 108
2011, 4, 19	55670,5	1632, 2	2011, 109
2011, 4, 20	55671,5	1632, 3	2011, 110
2011, 4, 21	55672,5	1632, 4	2011, 111
2011, 4, 22	55673,5	1632, 5	2011, 112
2011, 4, 23	55674,5	1632, 6	2011, 113
2011, 7, 16	55758,5	1644, 6	2011, 197
2011, 7, 17	55759,5	1645, 0	2011, 198
2011, 7, 18	55760,5	1645, 1	2011, 199
2011, 7, 19	55761,5	1645, 2	2011, 200
2011, 7, 20	55762,5	1645, 3	2011, 201
2011, 7, 21	55763,5	1645, 4	2011, 202
2011, 7, 22	55764,5	1645, 5	2011, 203
2011, 10, 16	55850,5	1658, 0	2011, 289
2011, 10, 17	55851,5	1658, 1	2011, 290
2011, 10, 18	55852,5	1658, 2	2011, 291
2011, 10, 19	55853,5	1658, 3	2011, 292
2011, 10, 20	55854,5	1658, 4	2011, 293
2011, 10, 21	55855,5	1658, 5	2011, 294
2011, 10, 22	55856,5	1658, 6	2011, 295

Πίνακας 4.1: Ημέρες επίλυσης του δικτύου  
Days of the network's solution

Ας σημειωθεί ότι στο υπολογιστικό περιβάλλον του Bernese, η συμβατική ημερομηνία (Year, Month, Day) μπορεί να μετατραπεί σε οποιοδήποτε άλλη από τις μορφές που παραθέτονται και να χρησιμοποιηθεί για την λήψη δεδομένων από το διαδίκτυο.

### 4.3 Υλοποίηση συστήματος αναφοράς

Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων στο ITRF2005 σύστημα αναφοράς υπολογίστηκαν, οι συντεταγμένες των σταθερών σημείων, οι οποίες αντικαθιστούν τις προσωρινές

συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς πριν την τελική συνόρθωση του δικτύου. Η θέση των σταθερών σημείων για την εκάστοτε τρέχουσα ημερομηνία δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$X_{\text{τελικό}} = X_{\text{αναφοράς}} + U_X \Delta t \quad (9)$$

$$Y_{\text{τελικό}} = Y_{\text{αναφοράς}} + Y_X \Delta t \quad (10)$$

$$Z_{\text{τελικό}} = Z_{\text{αναφοράς}} + Z_X \Delta t \quad (11)$$

όπου  $\Delta t = (\text{Τρέχουσα Χρονολογία\_δεκαδικός}) - (\text{Χρονολογία Αναφοράς})$

Με βάση τις σχέσεις αυτές προσδιορίστηκε η θέση των σταθμών αναφοράς για το σύνολο των ημερών που παραθέτονται στον πίνακα 4.1. Ο πίνακας με τις τελικές συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς χάριν οικονομίας χώρου παρατίθεται στο παράρτημα της εργασίας. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς την «2011, 16» ημέρα (Πίνακας 4.2).



Σταθμός	$X_{\text{αναφοράς}}$	$Y_{\text{αναφοράς}}$	$Z_{\text{αναφοράς}}$	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$X_{\text{τελικό}}$	$Y_{\text{τελικό}}$	$Z_{\text{τελικό}}$
NICO	4359415,8038	2874117,0120	3650777,7578	-0,0183	0,0108	0,0125	4359415,6017	2874117,1313	3650777,8958
NOT1	4934546,3174	1321264,9237	3806456,0422	-0,0175	0,0172	0,0155	4934546,1241	1321265,1137	3806456,2134
MATE	4641949,6474	1393045,3337	4133287,3848	-0,0179	0,0188	0,0155	4641949,4497	1393045,5413	4133287,5560
ZIMM	4331297,1313	567555,7888	4633133,8719	-0,0126	0,0181	0,0127	4331296,9921	567555,9887	4633134,0122
WTZR	4075580,6330	931853,7122	4801568,0814	-0,0151	0,0173	0,0114	4075580,4662	931853,9033	4801568,2073
BOR1	3738358,5406	1148173,6330	5021815,7271	-0,0167	0,0156	0,0095	3738358,3562	1148173,8053	5021815,8320
PENC	4052449,5643	1417681,0410	4701407,0569	-0,0179	0,0172	0,0094	4052449,3666	1417681,2310	4701407,1607
BUCU	4093760,9462	2007793,7185	4445129,9154	-0,0173	0,0171	0,0099	4093760,7551	2007793,9073	4445130,0247
ISTA	4208830,3864	2334850,2025	4171267,1989	-0,0170	0,0197	0,0090	4208830,1987	2334850,4201	4171267,2983
GLSV	3512889,0548	2068979,8070	4888903,1639	-0,0194	0,0141	0,0083	3512888,8405	2068979,9627	4888903,2556

Πίνακας 4.2: Υλοποίηση συστήματος αναφοράς την ημέρα «2011, 16»

Σημειώνεται ότι για το συγκεκριμένο παράδειγμα: «Τρέχουσα Χρονολογία» = 2011,16 «Τρέχουσα Χρονολογία\_δεκαδικός» = 2011,043836

#### 4.4 Επεξεργασία Δικτύου

Έχοντας διαθέσιμα τα αρχεία που προαναφέρθηκαν (ένα RINEX για κάθε σημείο, ένα ημερήσιο .sp3 αρχείο με τις εφημερίδες των GNSS δορυφόρων και ένα εβδομαδιαίο .erp αρχείο για τους πόλους) επιλύθηκε το δίκτυο, προκειμένου να υπολογιστεί με ακρίβεια η θέση των άγνωστων σημείων. Η διαδικασία της επίλυσης πραγματοποιείται στο επιστημονικό πακέτο Bernese. Το κρίσιμο σημείο για τη μελέτη της ιονόσφαιρας ήταν η επιτυχής επεξεργασία των μετρήσεων φάσης και ιδιαίτερα η επιτυχημένη επίλυση των ασαφειών. Εξασφαλίζοντας τα παραπάνω μπορούν να παραχθούν ιονοσφαιρικοί χάρτες με καλή ακρίβεια TECU.

Τα στάδια της διαδικασίας που ακολουθήθηκε περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

- Δημιουργία καμπάνιας για την επεξεργασία των δεδομένων για κάθε μία μέρα ξεχωριστά.
- Εισαγωγή των δεδομένων αρχείων της ημέρας στη νέα καμπάνια.
- Ορισμός στο πρόγραμμα της ημερομηνίας για την οποία γίνεται η επεξεργασία.
- Μετατροπή των RINEX αρχείων σε format του Bernese, όπου και από το πρόγραμμα παράγονται ξεχωριστά αρχεία με τον κώδικα και τη φάση για κάθε σταθμό.
- Προετοιμασία των πληροφοριών για τους πόλους και μετατροπή των .erp αρχείων σε format του Bernese.
- Πύκνωση των τροχιών ανά τριάντα δευτερόλεπτα και εξαγωγή των διορθώσεων των ρολογιών των δορυφόρων. Έτσι, δημιουργείται ένα αρχείο με τις νέες τροχιές (.tab) και ένα με πληροφορίες για τα ρολόγια των δορυφόρων (.clk).
- Διόρθωση των ρολογιών των δεκτών.
- Δημιουργία των βάσεων του δικτύου, επιλέγοντας τον αλγόριθμο «shortest», όπου οι βάσεις δημιουργούνται με γνώμονα την μικρότερη απόσταση μεταξύ των σημείων. Στο στάδιο αυτό ουσιαστικά υπολογίζονται οι απλές διαφορές των σημείων με τη μέθοδο OBS-MAX. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι καθώς επιδιώχθηκε να είναι ανεξάρτητη η επεξεργασία των βάσεων, ο αριθμός των βάσεων είναι με βάση των κανόνα  $n-1$ , όπου  $n$  ο αριθμός των βάσεων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι βάσεις που δημιουργούνται είναι  $14-1=13$ . Έτσι, δημιουργούνται οι δεκατρείς βάσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3, οι οποίες αναπαριστώνται και γραφικά στην Σχήμα 15.
- Προεπεξεργασία της φάσης (Εδάφιο 3.5), όπου εντοπίζονται και απαλείφονται τα χονδροειδή σφάλματα και γίνεται εντοπισμός και διόρθωση των απωλειών κύκλων. Στο στάδιο αυτό, σε όποιες βάσεις διαπιστώθηκαν μεγάλα υπόλοιπα, αφαιρέθηκαν και η επεξεργασία του δικτύου ξεκίνησε απαρχής. Τέτοια περίπτωση αποτέλεσε η καμπάνια dip018, που αντιστοιχεί στην ημέρα «2011, 018» (εδάφιο 4.4.4).
- Εκτίμηση των τροποσφαιρικών διορθώσεων και δημιουργία του αρχείο .trp.

A/A Βάσης	Σταθμοί
1	BOR1 - WTZR
2	BUCU - DUTH
3	BUCU - GLKV
4	BUCU - PENC
5	DUTH - KASI
6	DUTH - PRKV
7	ISTA - NICO
8	ISTA - PRKV
9	KASI - MATE
10	MATE - NOT1
11	PENC - WTZR
12	PRKV - TUC2
13	WTZR - ZIMM

Πίνακας 4.3: Οι βάσεις του δικτύου  
The network's bases

- Εκτίμηση των ιονοσφαιρικών καθυστερήσεων για βάσεις μεγαλύτερες των 400 km με παραγωγή του αρχείου .ion.
- Επίλυση των ασαφειών φάσης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο QIF (Εδάφιο 3.5.1).
- Δημιουργία των κανονικών εξισώσεων (.nqo) για τη συνόρθωση του δικτύου.
- Συνόρθωση και εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων, δηλαδή των συντεταγμένων του τοπικού δικτύου.
- Τελικό παράγωγο της διαδικασίας είναι ιονοσφαιρικοί χάρτες (.inx) λαμβάνοντας υπόψη και τα σφάλματα μη συγχρονισμού των P1 και C1 (.dcb).

Ας σημειωθεί εδώ ότι η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τις ημέρες σε διαφορετικές καμπάνιες. Επιπλέον, σαν προσωρινές συντεταγμένες των σημείων σε κάθε καμπάνια χρησιμοποιήθηκαν οι τελικές συντεταγμένες της προηγούμενης της, με εξαίρεση την πρώτη καμπάνια, στην οποία παρήχθησαν προσωρινές συντεταγμένες μέσα από τη ίδια την επεξεργασία του δικτύου.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά ορισμένα στάδια της επεξεργασία που κρίνεται ότι έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ποιότητα των επιλύσεων του δικτύου.

#### 4.4.1 Επίλυση ασαφειών

Ένας πολύ καλός και αξιόπιστος δείκτης για την ποιότητα της λύσης είναι το ποσοστό επίλυσης των ασαφειών. Στην παρούσα εργασία το ποσοστό επίλυσης ασαφειών από το οποίο και πάνω θεωρείται αποδεκτή η επίλυση είναι στο 70%. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.4)

παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ποσοστών επίλυσης των ασαφειών των βάσεων για όλες τις ημέρες επεξεργασίας, ενώ στο παράθεμα υπάρχουν αναλυτικοί πίνακες με τα ποσοστά επίλυσης όλων των βάσεων για όλες τις ημέρες. Όπως παρατηρείται, τα ποσοστά επίλυσης των ασαφειών της φάσης στη μεγάλη πλειοψηφία των καμπανιών είναι αρκετά ικανοποιητικά. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερα ενθαρρυντικό στοιχείο για την ποιότητα της επίλυσης του δικτύου και την ακρίβεια των τελικών συντεταγμένων των σημείων του τοπικού δικτύου.

Ημέρα επεξεργασίας	Μεσοσταθμική επίλυση ασαφειών (%)
2011, 108	92,69
2011, 109	93,52
2011, 110	92,33
2011, 111	0,00
2011, 112	92,35
2011, 113	93,63
2011, 197	88,87
2011, 198	88,36
2011, 199	86,31
2011, 200	87,42
2011, 201	86,09
2011, 202	88,60
2011, 203	90,07
2011, 289	89,34
2011, 290	90,69
2011, 291	90,80
2011, 292	0,00
2011, 293	89,69

Πίνακας 4.4: Μεσοσταθμική προσέγγιση της επίλυσης των ασαφειών ανά ημέρα  
Weighted average of the ambiguities' solution by day

Παρά ταύτα, στην προσπάθεια επίλυσης διαπιστώθηκαν και ορισμένα προβλήματα σε κάποιες καμπάνιες, τα οποία σχετίζονται κυρίως με τη ποιότητα των αρχικών δεδομένων για τον εκάστοτε σταθμό. Στα προβλήματα αυτά γίνεται εκτενέστερη αναφορά στην εδάφιο 4.4.4.

#### 4.4.2 Τελικές συντεταγμένες

Στους παρακάτω πίνακες παραθέτονται οι συντεταγμένες όλων των σημείων του δικτύου στις τέσσερις αυτές ημέρες στο Σύστημα Αναφοράς ITRF2005, όπως αυτές προέκυψαν από τη συνόρθωση των δικτύων, κατά την οποία οι σταθμοί αναφοράς εξαναγκάζονται σε σταθεροποίηση.

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,681	2026648,231	4174234,345
KASI	4616572,562	1674415,583	4056441,315
PRKV	4435581,305	2188830,500	4013585,920
TUC2	4744543,832	2119411,980	3686258,817

Πίνακας 4.5: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
016

Coordinates of the network's stations at day 016

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,675	2026648,223	4174234,335
KASI	4616572,563	1674415,577	4056441,310
PRKV	4435581,306	2188830,490	4013585,906
TUC2	4744543,836	2119411,974	3686258,807

Πίνακας 4.6: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
017

Coordinates of the network's stations at day 017

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,728	2026648,231	4174234,292
KASI	4616572,617	1674415,589	4056441,270
PRKV	4435581,358	2188830,504	4013585,868
TUC2	4744543,887	2119411,984	3686258,767

Πίνακας 4.7: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
018

Coordinates of the network's stations at day 018

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,672	2026648,223	4174234,334
KASI	4616572,564	1674415,578	4056441,313
PRKV	4435581,307	2188830,496	4013585,914
TUC2	4744543,829	2119411,972	3686258,806

Πίνακας 4.8: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
019

Coordinates of the network's stations at day 019

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,673	2026648,223	4174234,335
KASI	4616572,562	1674415,578	4056441,313
PRKV	4435581,302	2188830,493	4013585,909
TUC2	4744543,830	2119411,972	3686258,806

Πίνακας 4.9: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 020

Coordinates of the network's stations at day 020

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,675	2026648,223	4174234,335
KASI	4616572,561	1674415,577	4056441,312
PRKV	4435581,305	2188830,493	4013585,911
TUC2	4744543,828	2119411,972	3686258,805

Πίνακας 4.10: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 021

Coordinates of the network's stations at day 021

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,675	2026648,224	4174234,336
KASI	4616572,561	1674415,580	4056441,315
PRKV	4435581,309	2188830,497	4013585,915
TUC2	4744543,842	2119411,979	3686258,811

Πίνακας 4.11: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 022

Coordinates of the network's stations at day 022

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,671	2026648,227	4174234,338
KASI	4616572,556	1674415,581	4056441,311
PRKV	4435581,304	2188830,496	4013585,911
TUC2	4744543,833	2119411,975	3686258,805

Πίνακας 4.12: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
107

Coordinates of the network's stations at day 107

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,668	2026648,225	4174234,335
KASI	4616572,559	1674415,582	4056441,313
PRKV	4435581,304	2188830,496	4013585,911
TUC2	4744543,831	2119411,976	3686258,805

Πίνακας 4.13: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
108

Coordinates of the network's stations at day 108

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,672	2026648,227	4174234,337
KASI	4616572,557	1674415,581	4056441,310
PRKV	4435581,302	2188830,495	4013585,908
TUC2	4744543,829	2119411,975	3686258,802

Πίνακας 4.14: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
109

Coordinates of the network's stations at day 109

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,672	2026648,227	4174234,339
KASI	4616572,557	1674415,582	4056441,312
PRKV	4435581,300	2188830,497	4013585,909
TUC2	4744543,826	2119411,974	3686258,802

Πίνακας 4.15: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
110

Coordinates of the network's stations at day 110

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,666	2026648,225	4174234,334
KASI	4616572,556	1674415,581	4056441,312
PRKV	4435581,303	2188830,496	4013585,911
TUC2	4744543,832	2119411,978	3686258,803

Πίνακας 4.16: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
112

Coordinates of the network's stations at day 112

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,663	2026648,225	4174234,332
KASI	4616572,554	1674415,582	4056441,310
PRKV	4435581,298	2188830,496	4013585,909
TUC2	4744543,826	2119411,976	3686258,802

Πίνακας 4.17: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα  
113

Coordinates of the network's stations at day 113



Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,660	2026648,231	4174234,333
KASI	4616572,554	1674415,580	4056441,311
PRKV	4435581,297	2188830,495	4013585,904
TUC2	4744543,823	2119411,978	3686258,791

Πίνακας 4.18: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 197

Coordinates of the network's stations at day 197

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,666	2026648,235	4174234,337
KASI	4616572,561	1674415,584	4056441,314
PRKV	4435581,302	2188830,497	4013585,908
TUC2	4744543,818	2119411,978	3686258,786

Πίνακας 4.19: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 198

Coordinates of the network's stations at day 198

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,668	2026648,234	4174234,339
KASI	4616572,560	1674415,584	4056441,313
PRKV	4435581,308	2188830,500	4013585,913
TUC2	4744543,827	2119411,980	3686258,796

Πίνακας 4.20: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 199

Coordinates of the network's stations at day 199

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,663	2026648,225	4174234,332
KASI	4616572,554	1674415,582	4056441,310
PRKV	4435581,298	2188830,496	4013585,909
TUC2	4744543,826	2119411,976	3686258,802

Πίνακας 4.21: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 200

Coordinates of the network's stations at day 200

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,671	2026648,237	4174234,342
KASI	4616572,546	1674415,575	4056441,303
TUC2	4744543,834	2119411,982	3686258,798

Πίνακας 4.22: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 201

Coordinates of the network's stations at day 201

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,671	2026648,237	4174234,342
KASI	4616572,546	1674415,575	4056441,303
TUC2	4744543,834	2119411,982	3686258,798

Πίνακας 4.23: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 202

Coordinates of the network's stations at day 202

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,663	2026648,234	4174234,335
KASI	4616572,556	1674415,581	4056441,315
PRKV	4435581,303	2188830,497	4013585,909
TUC2	4744543,828	2119411,980	3686258,799

Πίνακας 4.24: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 203

Coordinates of the network's stations at day 203

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,660	2026648,234	4174234,336
KASI	4616572,553	1674415,590	4056441,319
PRKV	4435581,305	2188830,497	4013585,910
TUC2	4744543,826	2119411,977	3686258,791

Πίνακας 4.25: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 289

Coordinates of the network's stations at day 289

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,657	2026648,233	4174234,338
KASI	4616572,553	1674415,589	4056441,316
PRKV	4435581,302	2188830,496	4013585,907
TUC2	4744543,832	2119411,979	3686258,794

Πίνακας 4.26: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 290

Coordinates of the network's stations at day 290

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,662	2026648,236	4174234,337
KASI	4616572,554	1674415,588	4056441,316
PRKV	4435581,302	2188830,497	4013585,906
TUC2	4744543,834	2119411,979	3686258,794

Πίνακας 4.27: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 291

Coordinates of the network's stations at day 291

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,662	2026648,236	4174234,338
KASI	4616572,555	1674415,590	4056441,317
PRKV	4435581,300	2188830,496	4013585,905
TUC2	4744543,833	2119411,979	3686258,793

Πίνακας 4.28: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 292

Coordinates of the network's stations at day 292

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,660	2026648,235	4174234,338
KASI	4616572,560	1674415,593	4056441,320
PRKV	4435581,302	2188830,497	4013585,909
TUC2	4744543,831	2119411,980	3686258,795

Πίνακας 4.29: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 294

Coordinates of the network's stations at day 294

Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
DUTH	4362689,659	2026648,234	4174234,338
KASI	4616572,555	1674415,591	4056441,319
PRKV	4435581,308	2188830,501	4013585,914
TUC2	4744543,832	2119411,981	3686258,793

Πίνακας 4.30: Συντεταγμένες των σημείων του δικτύου την ημέρα 295

Coordinates of the network's stations at day 295

#### 4.4.3 Εξαγωγή αρχείων IONEX

Στο τελευταίο στάδιο της επίλυσης εξήχθησαν τα αρχεία IONEX, για τη χρησιμότητα των οποίων έγινε λόγος στο εδάφιο 2.5. Τα αρχεία αυτά παρήχθησαν στο επιστημονικό λογισμικό πακέτο του Bernese χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα GPSEst. Για την παραγωγή των αρχείων εισηχθήσαν σαν δεδομένα στο πρόγραμμα οι τελικές συνορθωμένες συντεταγμένες των σημείων του δικτύου, ο κώδικας (.psh), τα αρχεία με τις τροχιές των δορυφόρων (.std) και τις πληροφορίες για τους πόλους (.erp) και το αρχείο με τις τιμές των σφαλμάτων μη συγχρονισμού των P<sub>1</sub> και P<sub>1</sub> (.dcb). Η επεξεργασία γίνεται στην L<sub>4</sub> συχνότητα. Στην ενότητα 5 παραθέτονται αναλυτικά τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας για όλες τις ημέρες επεξεργασίας του δικτύου.

#### 4.4.4 Προβλήματα κατά την επίλυση

Στο εδάφιο αυτή περιγράφονται τα διάφορα προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά την επεξεργασία των διαφόρων καμπανιών και ο τρόπος που αυτά αντιμετωπίστηκαν.

- Για τις ημέρες «2011, 201» και «2011,202» δεν βρέθηκαν αρχεία με παρατηρήσεις για τον σταθμό «PRKV». Αυτό είχε ως συνέπεια στις καμπάνιες των ημερών αυτών, το δίκτυο να είναι δεκατριών σταθμών και το τοπικό δίκτυο να αποτελείται από τρία σημεία.
- Την ημέρα 018 διαπιστώθηκαν στο στάδιο της επεξεργασίας της φάσης μεγάλα υπόλοιπα των βάσεων «BUCU-GLSV», «BUCU-PENC», «BUCU-DUTH», «ISTANICO» και «KASI-MATE». Έτσι, αποφασίστηκε να αφαιρεθούν οι βάσεις αυτές και να επιλυθεί το δίκτυο να ληφθούν υπόψη. Έτσι, ο συσχετισμός των σταθμών στη συγκεκριμένη καμπάνια (dip018) είναι ο εξής:
- Στο στάδιο της επίλυσης των ασαφειών υπήρξαν ορισμένα προβλήματα σε κάποιες καμπάνιες, τα οποία σχετίζονται κυρίως με τη ποιότητα των αρχικών δεδομένων για τον εκάστοτε σταθμό. Έτσι, ενώ ο μέσος όρος των ποσοστών επίλυσης για την ημέρα «2011, 106» υποδεικνύει ικανοποιητική επίλυση του δικτύου, στην πραγματικότητα η επίλυση των ασαφειών της βάσης 10 (MATE - NOT1) απέτυχε σε ποσοστό 42,5%. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να επιλυθεί το δίκτυο εξαρχής χωρίς τον σταθμό «MATE».

A/A Βάσης	Σταθμοί
1	BOR1 - WTZR
2	DUTH - KASI
3	DUTH - PRKV
4	ISTA - PRKV
5	MATE - NOT1
6	PENC - WTZR
7	PRKV - TUC2
8	WTZR - ZIMM

Πίνακας 4.31: Οι βάσεις του δικτύου την ημέρα «2011, 018»  
The bases of the network at the ((2011, 018))

Ο πίνακας 4.32 περιέχει την επίλυση των ασαφειών του νέου δικτύου για την ημέρα «2011, 106» που αποτελείται από δεκατρείς σταθμούς και κατ' επέκταση δώδεκα βάσεις (καμπάνια «dip106b»).

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	8	96	8,33	91,67
2	BUCU - DUTH	6	94	6,38	93,62
3	BUCU - GLSV	2	92	2,17	97,83
4	BUCU - PENC	4	92	4,35	95,65
5	DUTH - KASI	4	88	4,55	95,45
6	DUTH - PRKV	10	110	9,09	90,91
7	ISTA - NICO	10	94	10,64	89,36
8	ISTA - PRKV	12	108	11,11	88,89
9	KASI - MATE	8	94	8,51	91,49
10	MATE - NOT1	<b>231</b>	<b>400</b>	<b>57,75</b>	<b>42,25</b>
11	PENC - WTZR	6	94	6,38	93,62
12	PRKV - TUC2	10	108	9,26	90,74
13	WTZR - ZIMM	8	92	8,7	91,3

Πίνακας 4.32: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 106»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 106))

Όπως μπορεί κανείς να διαπιστώσει στον πίνακα 4.33 και η νέα προσπάθεια επίλυσης του δικτύου απέτυχε, αφού στη βάση «KASI-NOT1» δεν επιλύονται οι ασάφειες σε ποσοστό 48,7%. Έτσι, αποφασίστηκε να μην επιλυθεί το δίκτυο για την ημέρα «2011, 106».

Αντιστοίχως, για τις ημέρες «2011, 111» και «2011, 293», όπως φαίνεται και στον

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	8	96	8,33	91,67
2	BUCU - DUTH	4	94	4,26	95,74
3	BUCU - GLSV	4	92	4,35	95,65
4	BUCU - PENC	2	92	2,17	97,83
5	DUTH - KASI	4	88	4,55	95,45
6	DUTH - PRKV	10	110	9,09	90,91
7	ISTA - NICO	10	94	10,64	89,36
8	ISTA - PRKV	10	108	9,26	90,74
9	KASI - NOT1	<b>187</b>	<b>384</b>	<b>48,7</b>	<b>51,3</b>
10	PENC - PRKV	2	94	2,13	97,87
11	PRKV - TUC2	6	108	5,56	94,44
12	WTZR - ZIMM	8	92	8,7	91,3

Πίνακας 4.33: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 106»  
χωρίς τον σταθμό «MATE»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 106)) without  
including the station ((MATE))

πίνακα 4.4, οι ασάφειες δεν επιλύθηκαν για καμία από τις σχηματισμένες βάσεις. Αυτό οφείλεται κυρίως στην κακή ποιότητα των αρχικών δεδομένων για τις ημέρες αυτές. Για τις ημέρες αυτές δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία του δικτύου.

## 5 Αποτελέσματα IONEX

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κομμάτι της εργασίας, καθώς σε αυτό γίνεται μια προσπάθεια να καταγραφούν και να αξιολογηθούν τα IONEX αποτελέσματα που παρήχθησαν από την επεξεργασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.

### 5.1 Γενικά

Το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων στο επιστημονικό πακέτο Bernese, αφορά στη δημιουργία αρχείων IONEX. Τα αρχεία αυτά, όπως έχει ήδη επισημανθεί, αποτελούνται από χάρτες με τις τιμές της περιεκτικότητας της ιονόσφαιρας σε ηλεκτρόνια εκφρασμένες σε έναν παγκόσμιο γεωμετρικό κানাβο. Τα αρχεία αυτά παράχθηκαν για κάθε μία από τις ημέρες επεξεργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τα σφάλματα μη συγχρονισμού του κώδικα P<sub>1</sub> με τον P<sub>2</sub> και τις συνορθωμένες πλέον συντεταγμένες του δικτύου. Τα αρχεία περιέχουν TEC χάρτες ανά δύο ώρες για ολόκληρο το εικοσιτετράωρο. Συνεπώς, συνολικά παράγονται δεκατρείς χάρτες που προσαρμόζονται κατά το δυνατό καλύτερα στον ελλαδικό χώρο και για τις εικοσιέξι ημέρες για τις οποίες ολοκληρώθηκε η διαδικασία της συνορθώσης του δικτύου. Τα αρχεία με τους χάρτες επισυνάπτονται στο cd της εργασίας. Η τιμή TEC “9999”, που εμφανίζεται σε ορισμένα σημεία του κανάβου, υποδηλώνει την αδυναμία προσδιορισμού των ηλεκτρονίων στα σημεία αυτά, κυρίως λόγω της απόστασής τους από το δίκτυο των GNSS σταθμών με βάση το οποίο παράχθηκαν τα IONEX.

### 5.2 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

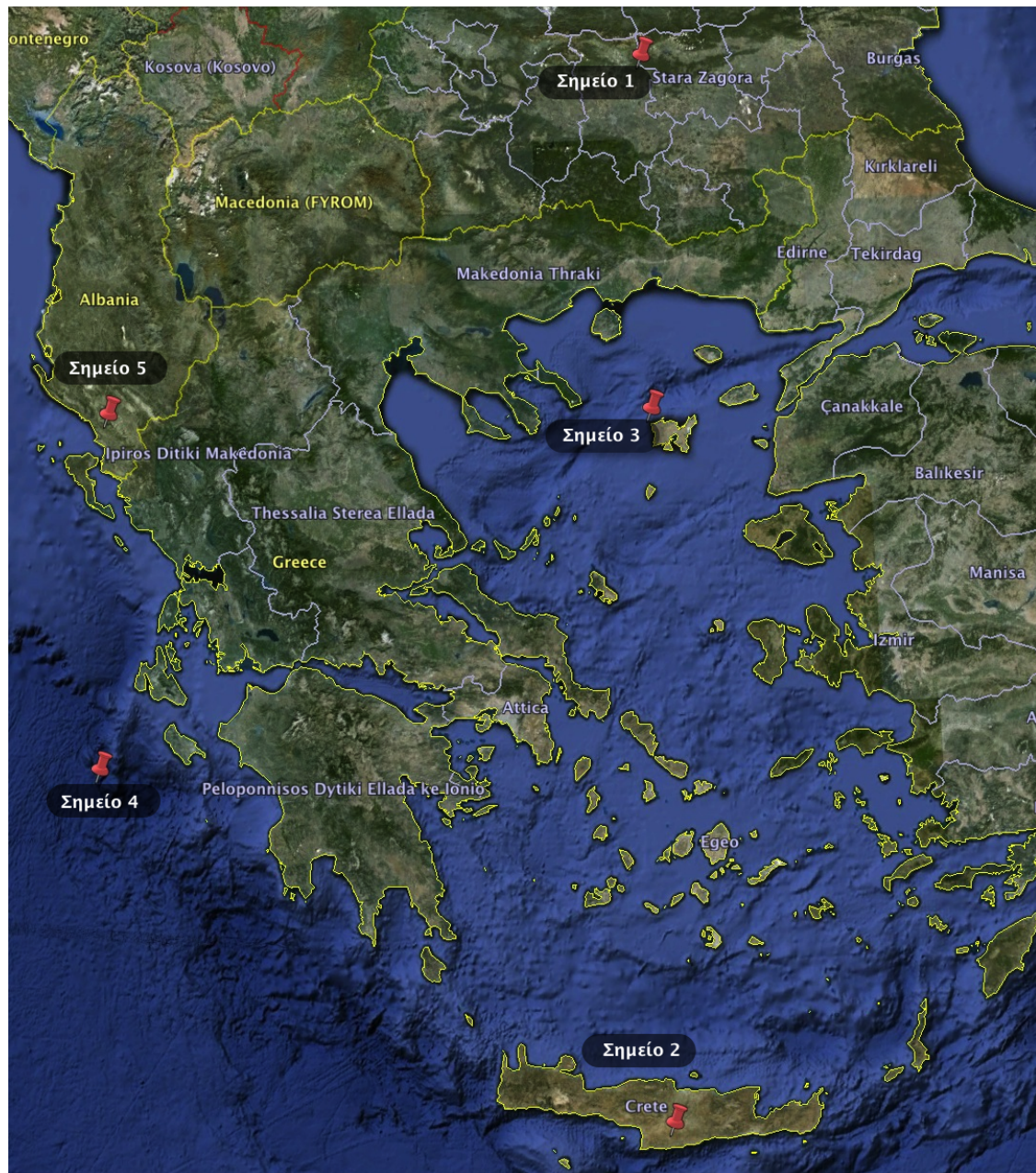
Προκειμένου να μπορέσει να γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων των αρχείων επιλέχθηκαν πέντε σημεία περιμετρικά κατανομημένα στην Ελλάδα. Ο πίνακας 5.1 αφορά στη θέση των σημείων αυτών, ενώ στο σχήμα 16 σημειώνεται η θέση τους πάνω σε δισδιάστατο χάρτη για καλύτερη εποπτική κατανόηση.

Όνομα σημείου	$\varphi$ (°)	$\lambda$ (°)	H (m)
1	42,5	25	450
2	35	25	450
3	40	25	450
4	37,5	20	450
5	40	20	450

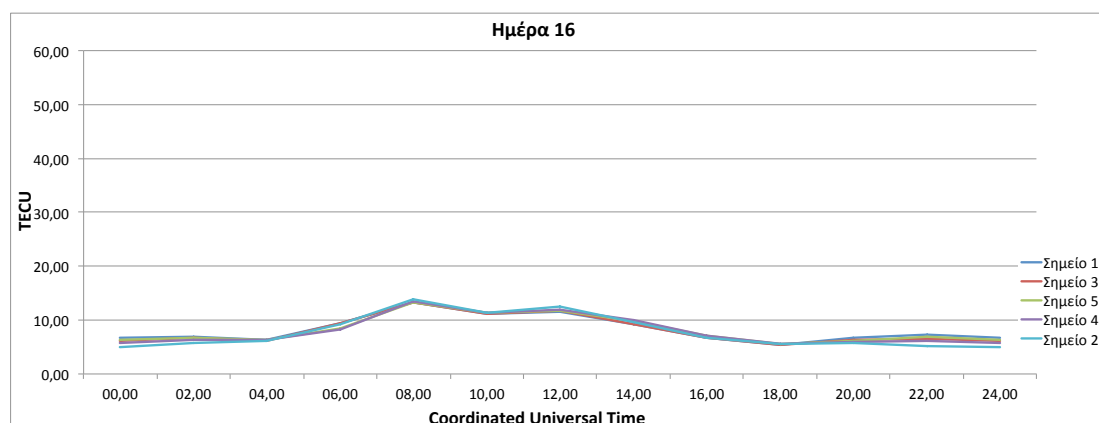
Πίνακας 5.1: Σημεία ελέγχου αποτελεσμάτων  
Control points

Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 17 έως Σχήμα 42) διαφαίνονται σε TECU η ποσότητα E (Εδάφιο 2.4.1) των σημείων αυτών καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και για τις εικοσιέξι αντιπροσωπευτικές ημερομηνίες. Ας σημειωθεί, ότι, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα η ώρα των παρατηρήσεων είναι UTC (Coordinated Universal Time). Επιπλέον, δημιουργήθηκαν πίνακες (Πίνακας 5.2 - Πίνακας 5.27) με στατιστικά στοιχεία της «συμπεριφοράς της





Σχήμα 16: Σημεία ελέγχου πάνω στο χάρτη της Ελλάδας  
Control points arranged onto the greek map



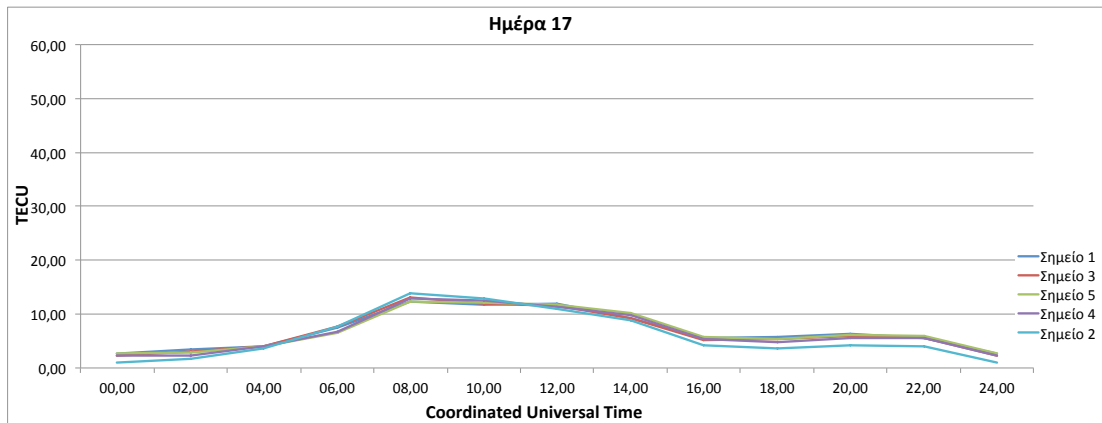
Σχήμα 17: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 16

TEC chart of the 1-5 points on the day 16

ιονόσφαιρας» για τα σημεία αυτά. Η μέση τιμή σε TECU για το εκάστοτε σημείο μέσα στο εικοσιτετράωρο μπορεί να αποτελέσει αντιπροσωπευτικό μέγεθος για την κατάσταση της ιονόσφαιρας στην εγγύ περιοχή του σημείου. Τα σημεία αυτά, όπως και τα υπόλοιπα σημεία των χαρτών TEC που έχουν παραχθεί, βρίσκονται στην ζώνη F της ιονόσφαιρας, καθώς όλα τα σημεία των χαρτών έχουν σταθερό υψόμετρο στα 450 m (οι χάρτες είναι δισδιάστατοι).

ΗΜΕΡΑ 016		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	5,4	4,9	5,4	5,6	5,5
	Μέγιστη	13,2	13,8	13,3	13,4	13,3
	Μέση	8,26	7,81	8,09	8,01	8,18

Πίνακας 5.2: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 016)  
Statistics of the 1-5 points on the day 016

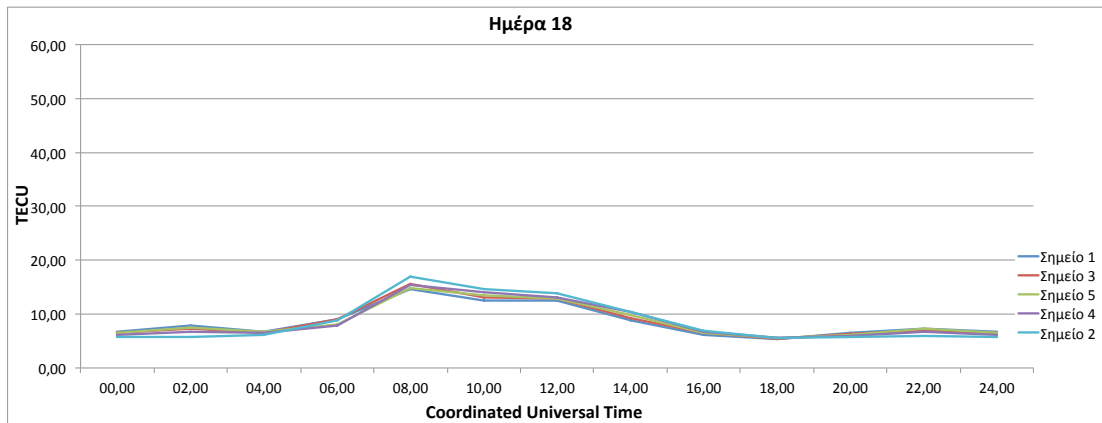


Σχήμα 18: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 17

TEC chart of the 1-5 points on the day 17

ΗΜΕΡΑ 017		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	2,6	1	2,2	2,3	2,7
	Μέγιστη	12,4	13,9	13,1	12,9	12,4
	Μέση	6,81	5,98	6,7	6,58	6,8

Πίνακας 5.3: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 017)  
Statistics of the 1-5 points on the day 017

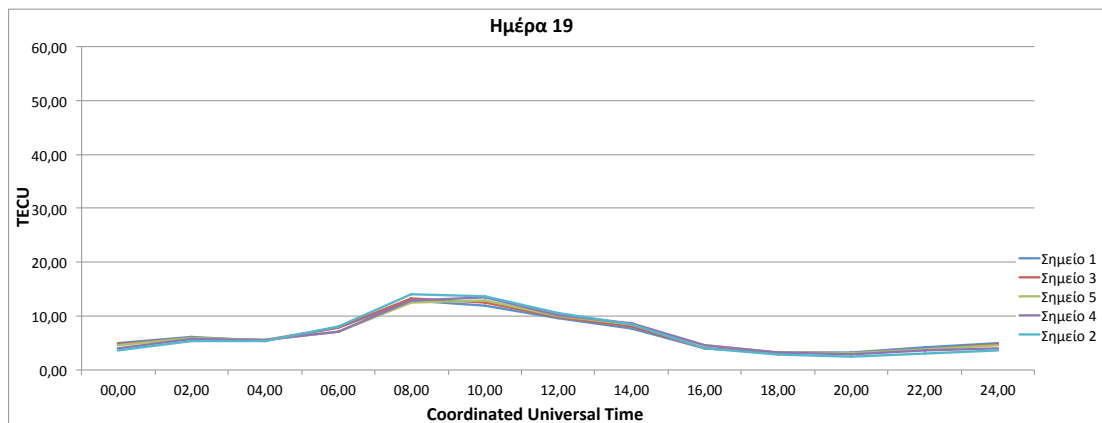


Σχήμα 19: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 18

TEC chart of the 1-5 points on the day 18

ΗΜΕΡΑ 018		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	5,3	5,5	5,4	5,6	5,5
	Μέγιστη	14,6	17	15,6	15,5	14,8
	Μέση	8,53	8,63	8,6	8,58	8,58

Πίνακας 5.4: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 018)  
Statistics of the 1-5 points on the day 018

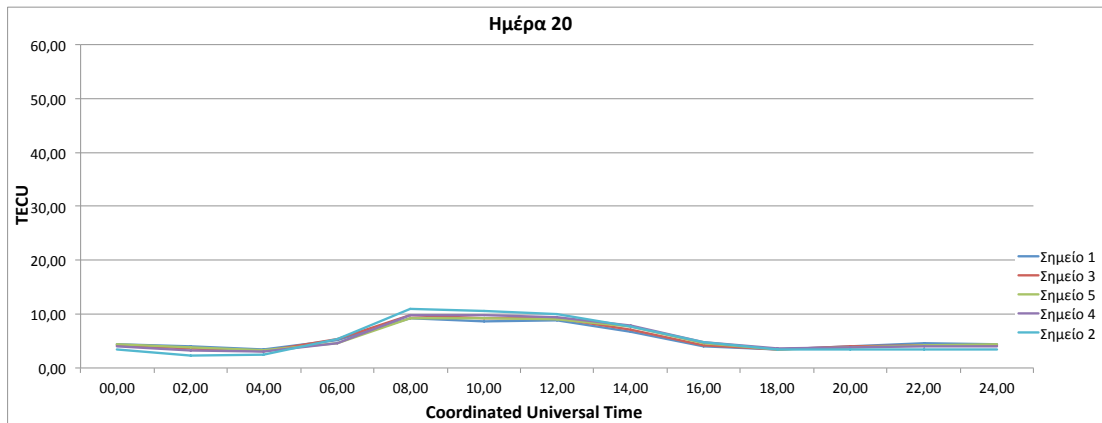


Σχήμα 20: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 19

TEC chart of the 1-5 points on the day 19

ΗΜΕΡΑ 019		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	3,2	2,4	3,1	2,9	3,1
	Μέγιστη	12,9	14	13,3	13,4	12,9
	Μέση	6,64	6,53	6,68	6,62	6,65

Πίνακας 5.5: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 019)  
Statistics of the 1-5 points on the day 019

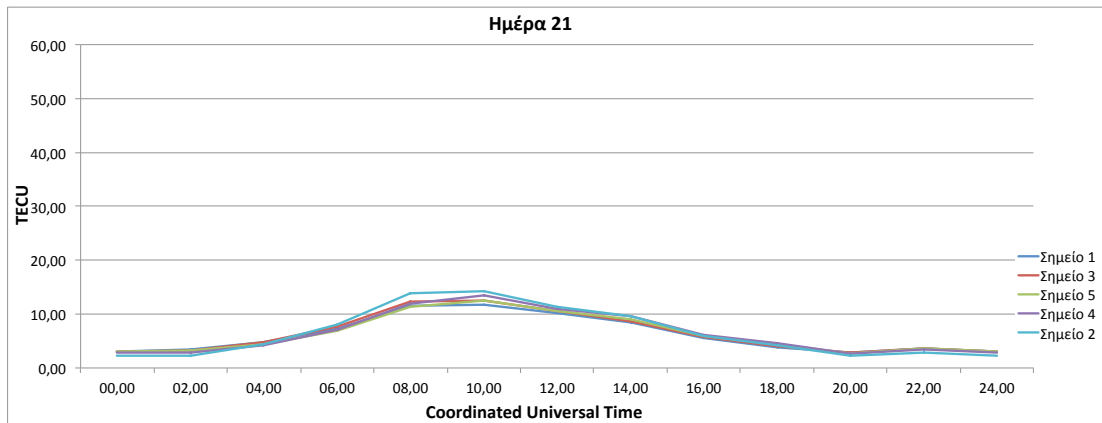


Σχήμα 21: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 20

TEC chart of the 1-5 points on the day 20

ΗΜΕΡΑ 020		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	3,4	2,3	3,1	3	3,3
	Μέγιστη	9,3	11	9,9	9,9	9,2
	Μέση	5,46	5,48	5,53	5,55	5,51

Πίνακας 5.6: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 020)  
Statistics of the 1-5 points on the day 020

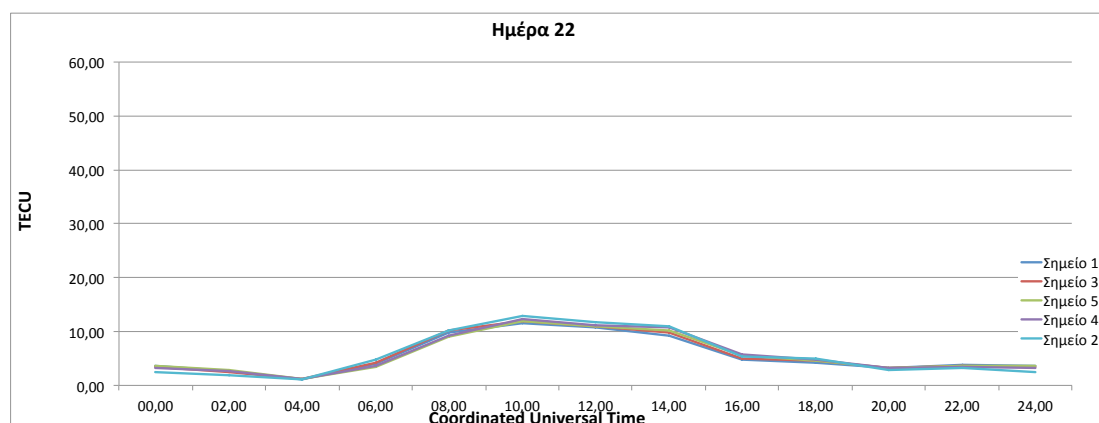


Σχήμα 22: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 21

TEC chart of the 1-5 points on the day 21

ΗΜΕΡΑ 021	Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Ελάχιστη	2,8	2,2	2,8	2,6	2,7
Μέγιστη	11,7	14,3	12,5	13,5	12,6
Μέση	6,12	6,43	6,3	6,37	6,23

Πίνακας 5.7: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 021)  
Statistics of the 1-5 points on the day 021



Σχήμα 23: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 22

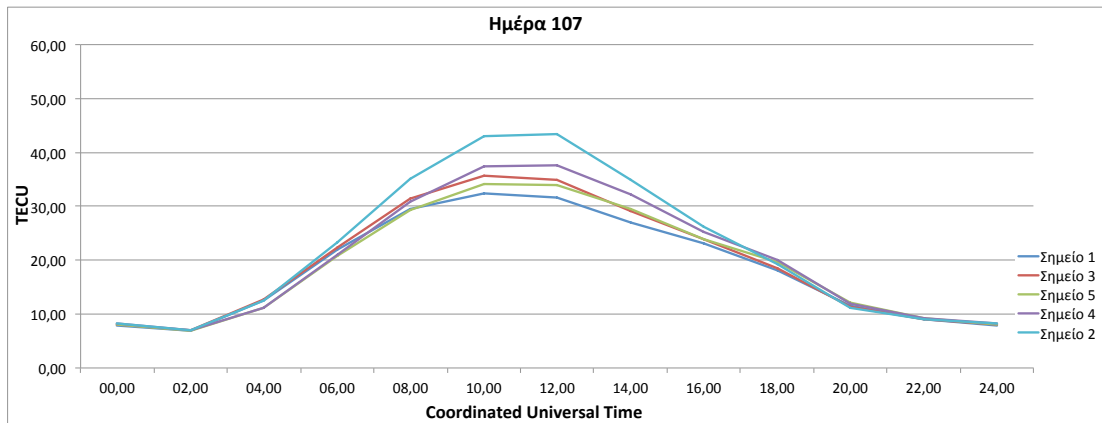
TEC chart of the 1-5 points on the day 22

ΗΜΕΡΑ 22	Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Ελάχιστη	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2
Μέγιστη	11,5	12,8	12	12,4	12
Μέση	5,56	5,73	5,71	5,76	5,68

Πίνακας 5.8: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 022)  
Statistics of the 1-5 points on the day 022

Τα πρώτα επτά διαγράμματα (Σχήμα 17 ως Σχήμα 23) αφορούν στην πρώτη εβδομάδα από τις τέσσερις εβδομάδες επεξεργασίας, που τοποθετείται χρονικά στο χειμώνα. Η ιονόσφαιρα έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε ιόντα την περίοδο αυτή και έχει πολύ μικρές διακυμάνσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, πράγμα αναμενόμενο για την εποχή. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται γύρω στις 8:00 το πρωί σε UTC.



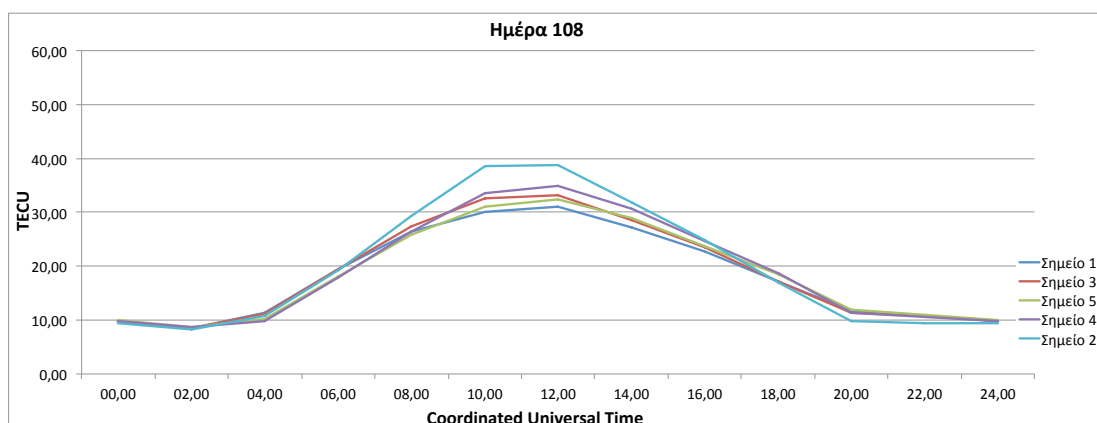


Σχήμα 24: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 107

TEC chart of the 1-5 points on the day 107

ΗΜΕΡΑ 108		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	6,9	7	7	7	6,9
	Μέγιστη	32,4	43,4	35,6	37,6	34,2
	Μέση	18,44	21,67	19,39	20,02	19,01

Πίνακας 5.9: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 107)  
Statistics of the 1-5 points on the day 107

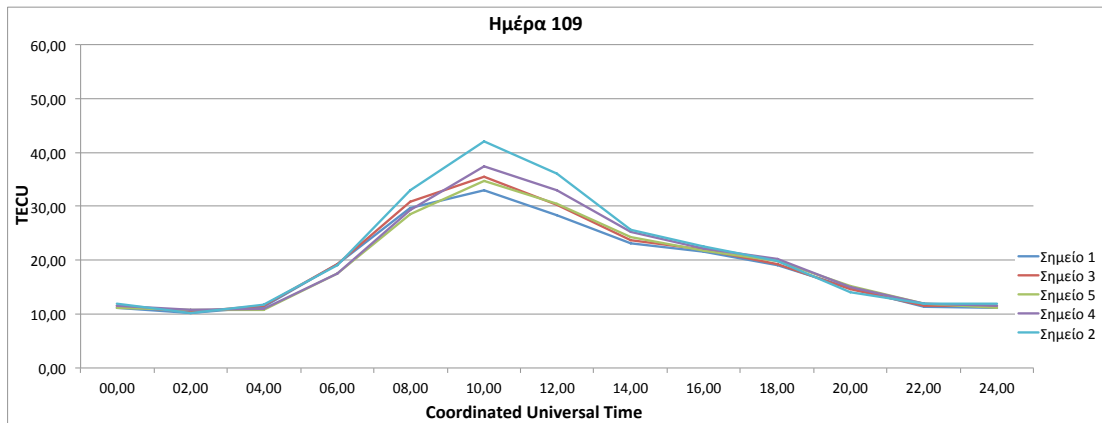


Σχήμα 25: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 108

TEC chart of the 1-5 points on the day 108

ΗΜΕΡΑ 108		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	8,5	8,2	8,5	8,7	8,7
	Μέγιστη	31	38,8	33,1	34,9	32,4
	Μέση	18,15	19,75	18,69	19,02	18,49

Πίνακας 5.10: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 108)  
Statistics of the 1-5 points on the day 108

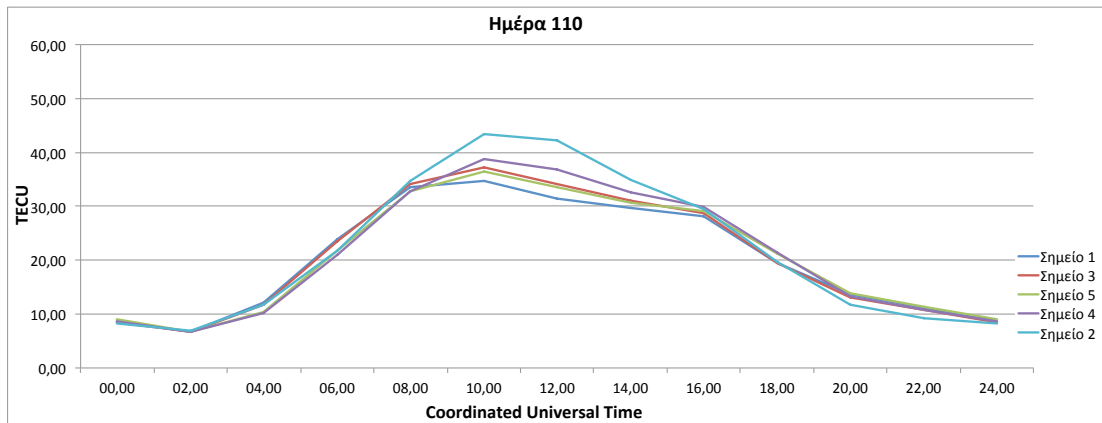


Σχήμα 26: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 109

TEC chart of the 1-5 points on the day 109

ΗΜΕΡΑ 109		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	10,2	10,1	10,4	10,8	10,7
	Μέγιστη	32,9	42	35,5	37,5	34,7
	Μέση	18,78	20,78	19,36	19,75	19,12

Πίνακας 5.11: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 109)  
Statistics of the 1-5 points on the day 109

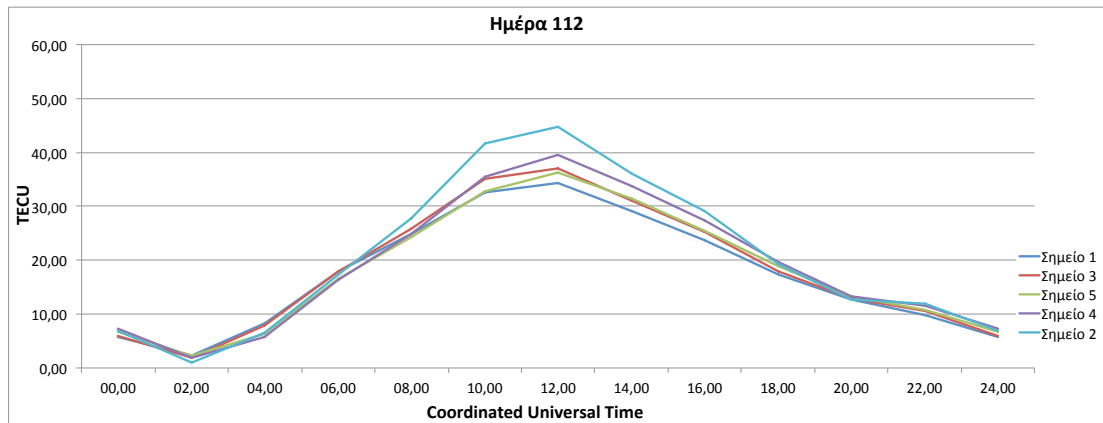


Σχήμα 27: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 110

TEC chart of the 1-5 points on the day 110

ΗΜΕΡΑ 110		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	6,7	6,9	6,7	6,7	6,7
	Μέγιστη	34,8	43,4	37,2	38,8	36,5
	Μέση	20,15	21,74	20,57	20,88	20,45

Πίνακας 5.12: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 110)  
Statistics of the 1-5 points on the day 110

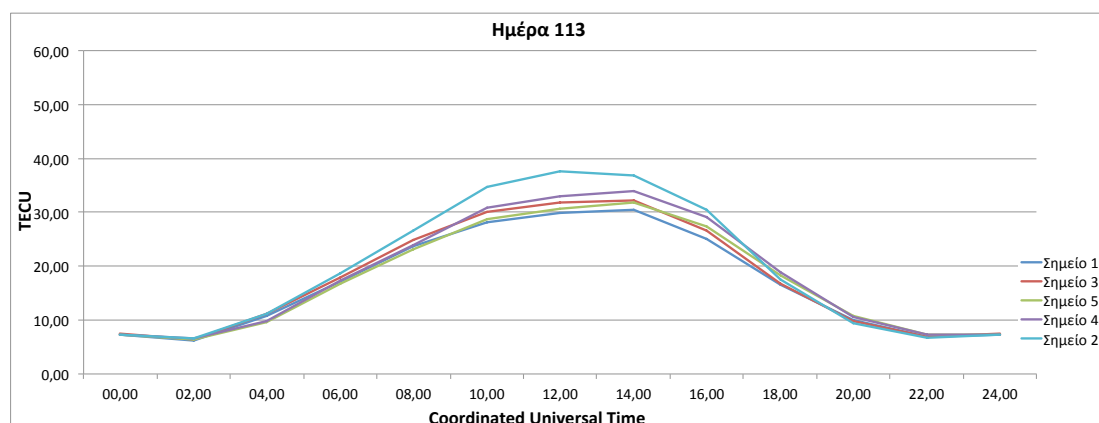


Σχήμα 28: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 112

TEC chart of the 1-5 points on the day 112

ΗΜΕΡΑ 112	Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Ελάχιστη	2,3	1	1,9	1,8	2,2
Μέγιστη	34,3	44,7	37,1	39,6	36,3
Μέση	17,26	20,15	18,1	18,75	17,84

Πίνακας 5.13: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 112)  
Statistics of the 1-5 points on the day 112



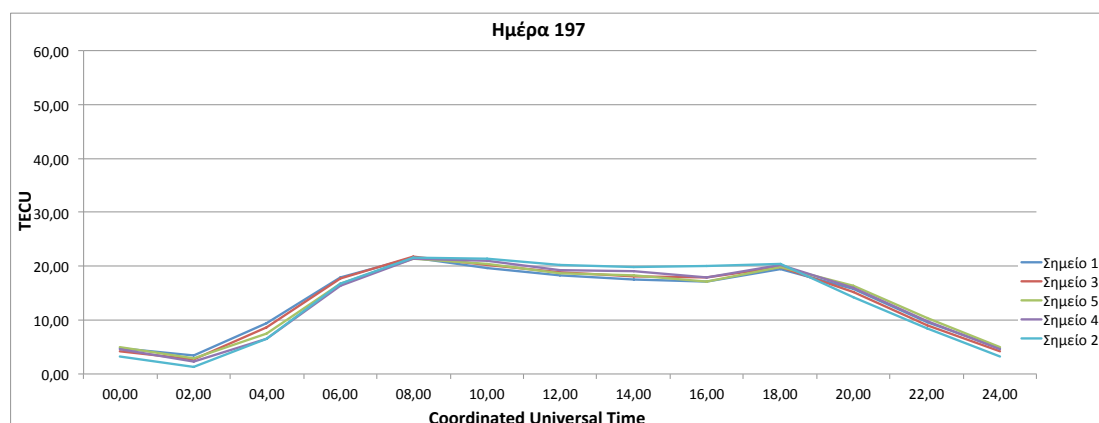
Σχήμα 29: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 113

TEC chart of the 1-5 points on the day 113

ΗΜΕΡΑ 113		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	6,2	6,6	6,4	6,6	6,4
	Μέγιστη	30,5	37,6	32,3	33,9	31,9
	Μέση	16,88	19,33	17,66	18,12	17,35

Πίνακας 5.14: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 113)  
Statistics of the 1-5 points on the day 113

Η εβδομάδα αυτή, που ανήκει στην άνοιξη, παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, και αυτό επιβεβαιώνεται από το ότι μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο η ελάχιστη τιμή E είναι σημαντικά μικρότερη από την μέγιστη τιμή για όλα τα σημεία. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται από τις 10:00 ως τις 12:00.

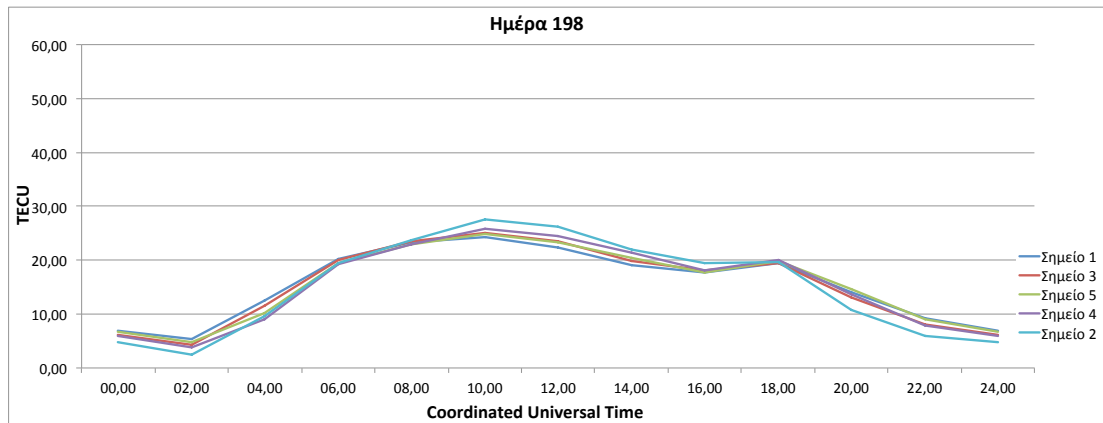


Σχήμα 30: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 197

TEC chart of the 1-5 points on the day 197

ΗΜΕΡΑ 197		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	3,4	1,3	2,7	2,3	2,9
	Μέγιστη	21,5	21,6	21,7	21,3	21,4
	Μέση	13,79	13,64	13,73	13,74	13,82

Πίνακας 5.15: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 197)  
Statistics of the 1-5 points on the day 197



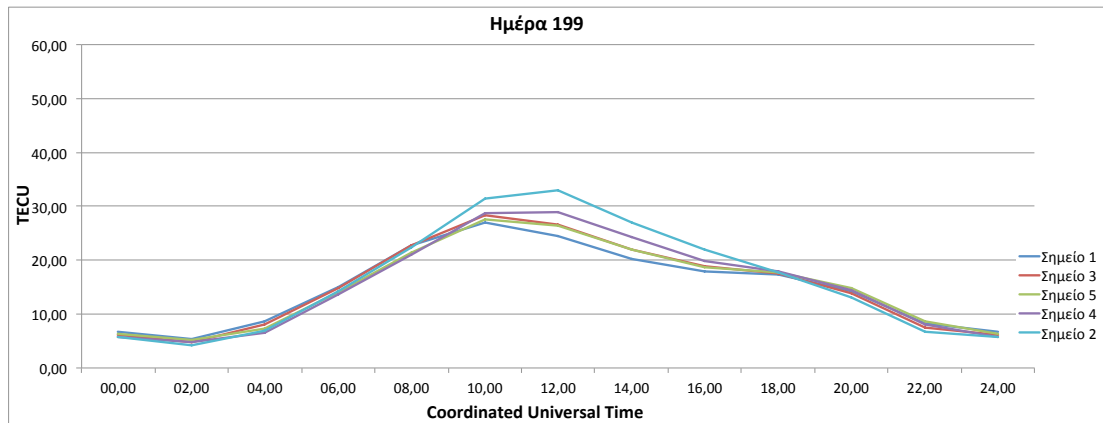
Σχήμα 31: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 198

TEC chart of the 1-5 points on the day 198

ΗΜΕΡΑ 198		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	5,3	2,4	4,3	3,8	4,7
	Μέγιστη	24,2	27,5	25,1	25,9	24,9
	Μέση	15,51	15,11	15,3	15,25	15,42

Πίνακας 5.16: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 198)  
Statistics of the 1-5 points on the day 198



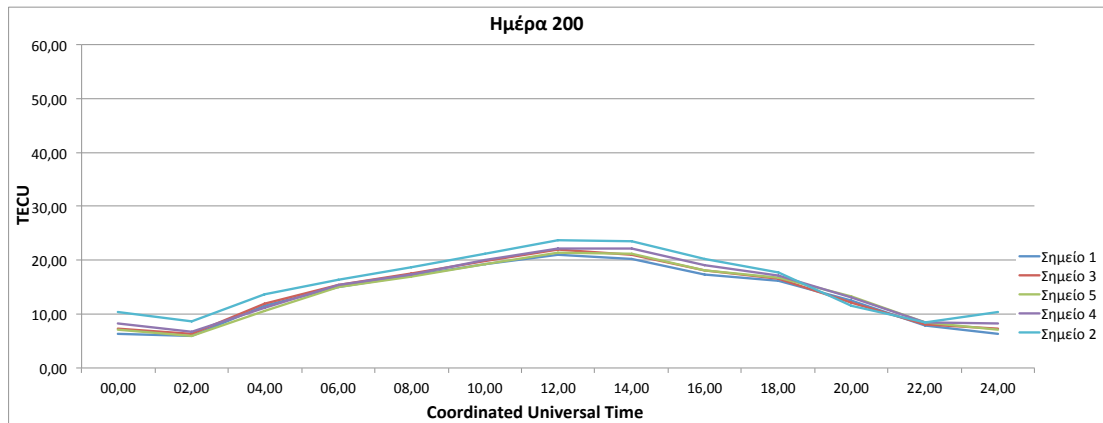


Σχήμα 32: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 199

TEC chart of the 1-5 points on the day 199

ΗΜΕΡΑ 199		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	5,3	4,2	4,7	4,8	5,2
	Μέγιστη	26,9	32,9	28,4	29	27,6
	Μέση	14,98	16,15	15,2	15,39	15,12

Πίνακας 5.17: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 199)  
Statistics of the 1-5 points on the day 199

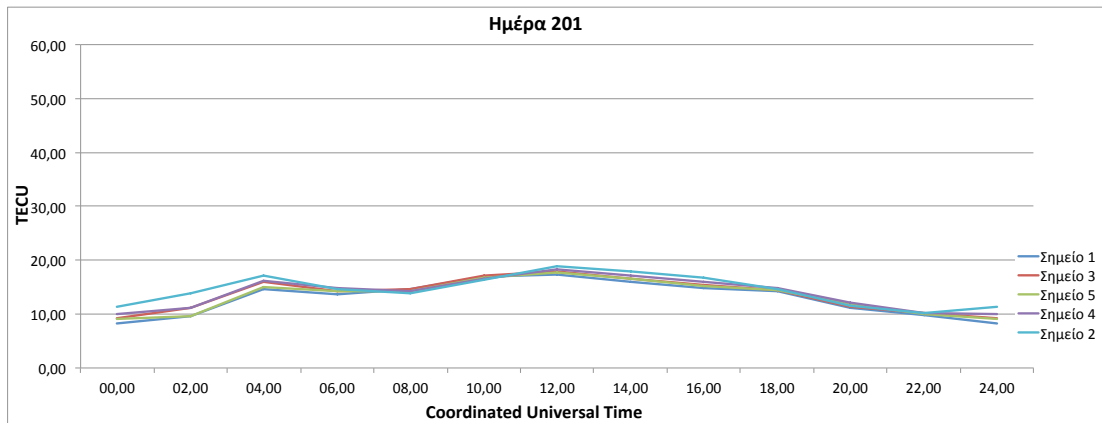


Σχήμα 33: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 200

TEC chart of the 1-5 points on the day 200

ΗΜΕΡΑ 200		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	5,9	8,4	6,3	6,7	5,9
	Μέγιστη	21,1	23,7	21,9	22,2	21,3
	Μέση	13,6	15,74	14,14	14,56	13,94

Πίνακας 5.18: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 200)  
Statistics of the 1-5 points on the day 200

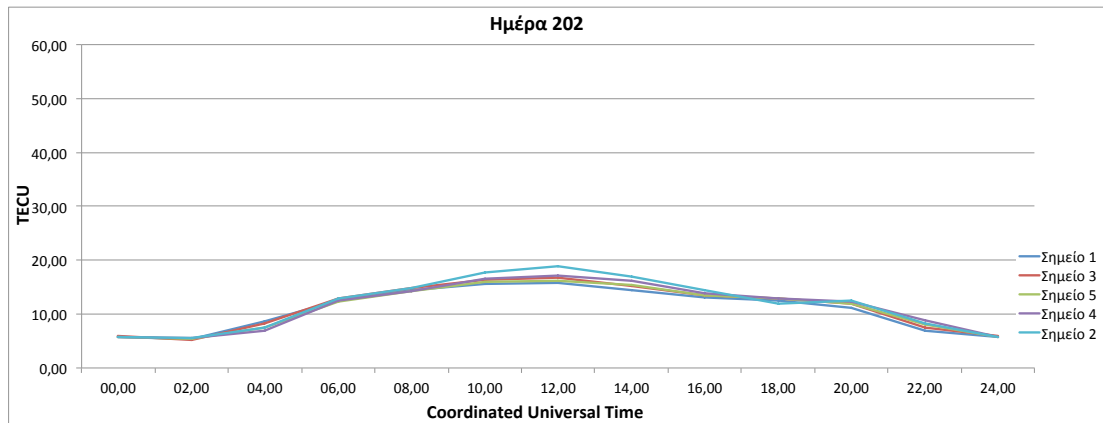


Σχήμα 34: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 201

TEC chart of the 1-5 points on the day 201

ΗΜΕΡΑ 201		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	8,2	10,1	9,2	10	9,1
	Μέγιστη	17,3	18,8	17,9	18,3	17,8
	Μέση	13,03	14,51	13,62	13,96	13,41

Πίνακας 5.19: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 201)  
Statistics of the 1-5 points on the day 201

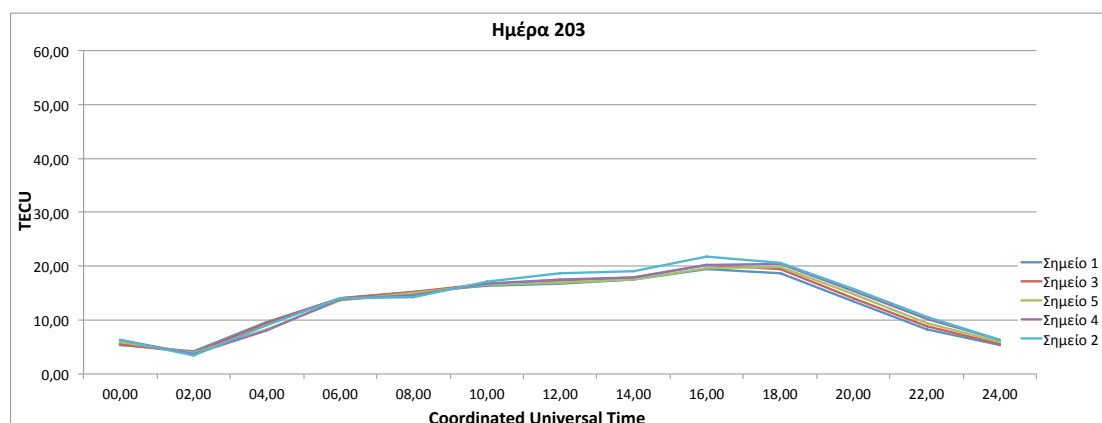


Σχήμα 35: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 202

TEC chart of the 1-5 points on the day 202

ΗΜΕΡΑ 202		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	5,3	5,5	5,2	5,5	5,4
	Μέγιστη	15,8	18,8	16,7	17,1	16,2
	Μέση	10,93	11,75	11,29	11,43	11,15

Πίνακας 5.20: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 202)  
Statistics of the 1-5 points on the day 202



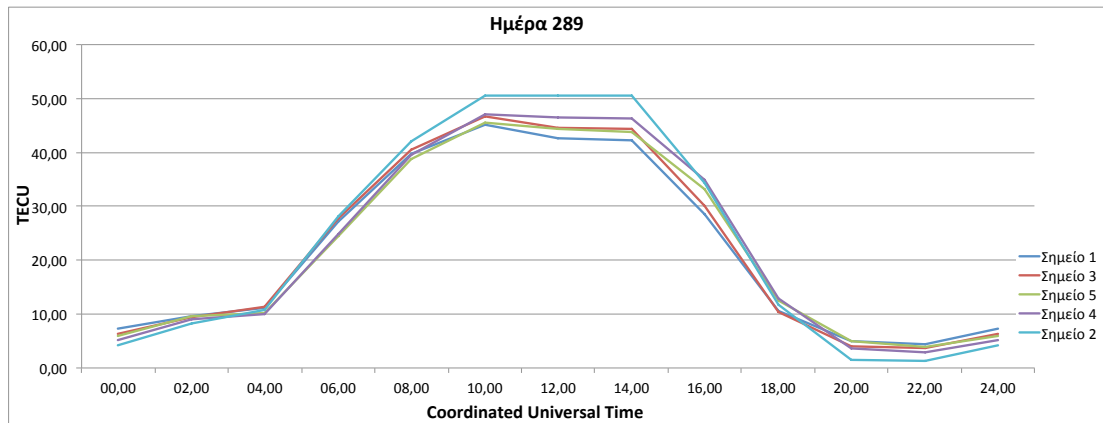
Σχήμα 36: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 203

TEC chart of the 1-5 points on the day 203

ΗΜΕΡΑ 203		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	4,2	3,4	3,9	3,7	3,9
	Μέγιστη	19,5	21,8	20,3	20,5	19,8
	Μέση	12,65	13,62	12,95	13,19	12,88

Πίνακας 5.21: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 203)  
Statistics of the 1-5 points on the day 203

Η εικόνα της ιονόσφαιρας τις ημέρες 197-203 είναι αρκετά ήπια παρότι πρόκειται για ημέρες του καλοκαιριού. Οι διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι μικρές με υψηλότερες τιμές τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες.

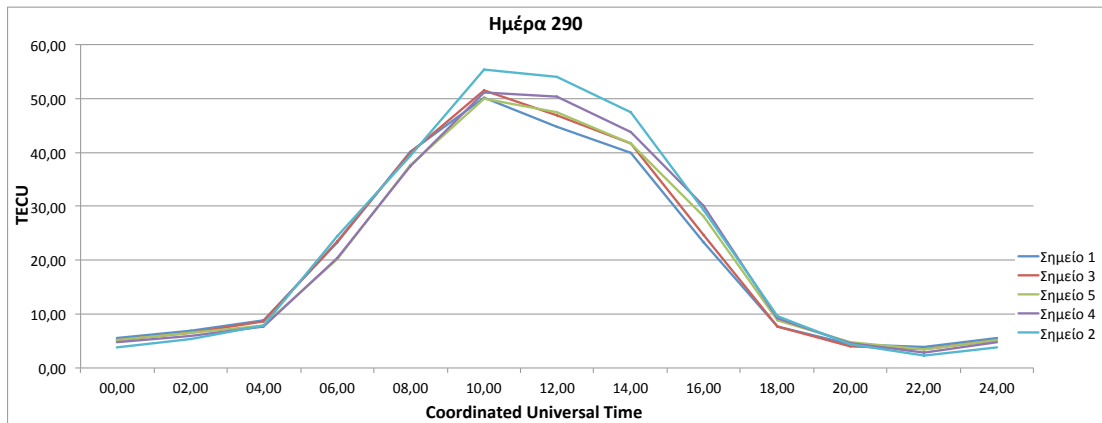


Σχήμα 37: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 289

TEC chart of the 1-5 points on the day 289

ΗΜΕΡΑ 289		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	4,4	1,3	3,7	2,9	3,9
	Μέγιστη	45,1	50,6	46,7	47,1	45,6
	Μέση	21,58	22,93	21,97	22,14	21,78

Πίνακας 5.22: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 289)  
Statistics of the 1-5 points on the day 289

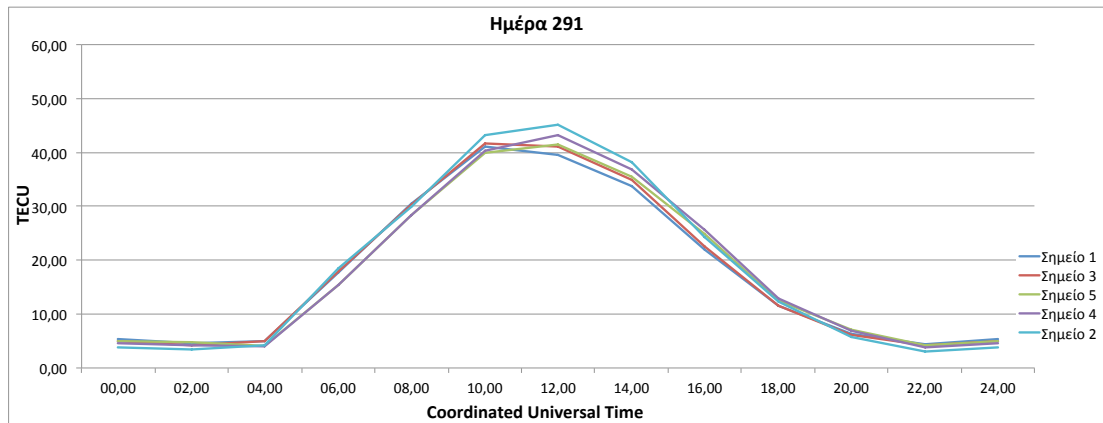


Σχήμα 38: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 290

TEC chart of the 1-5 points on the day 290

ΗΜΕΡΑ 203		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	3,9	2,3	3,5	2,8	3,4
	Μέγιστη	50,1	55,3	51,6	51,2	50
	Μέση	20,33	22,08	20,7	20,99	20,53

Πίνακας 5.23: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 290)  
Statistics of the 1-5 points on the day 290



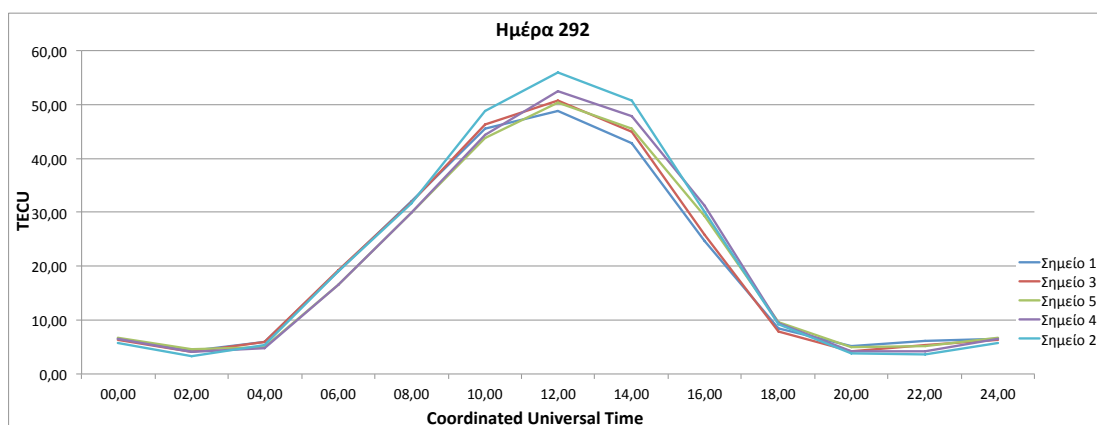
Σχήμα 39: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 291

TEC chart of the 1-5 points on the day 291

ΗΜΕΡΑ 291		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	4,4	3	4,2	3,8	4,1
	Μέγιστη	41	45,2	41,6	43,2	41,5
	Μέση	17,45	18,13	17,63	17,76	17,56

Πίνακας 5.24: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 291)  
Statistics of the 1-5 points on the day 291



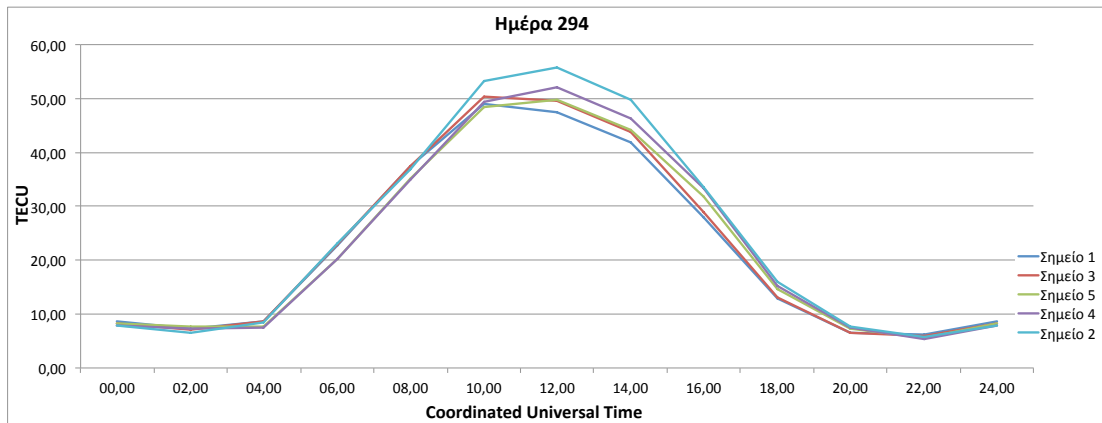


Σχήμα 40: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 292

TEC chart of the 1-5 points on the day 292

ΗΜΕΡΑ 292		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	4,3	3,3	4,1	4,1	4,5
	Μέγιστη	48,9	55,9	50,7	52,5	50,4
	Μέση	19,69	21,02	19,95	20,16	19,85

Πίνακας 5.25: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 292)  
Statistics of the 1-5 points on the day 292

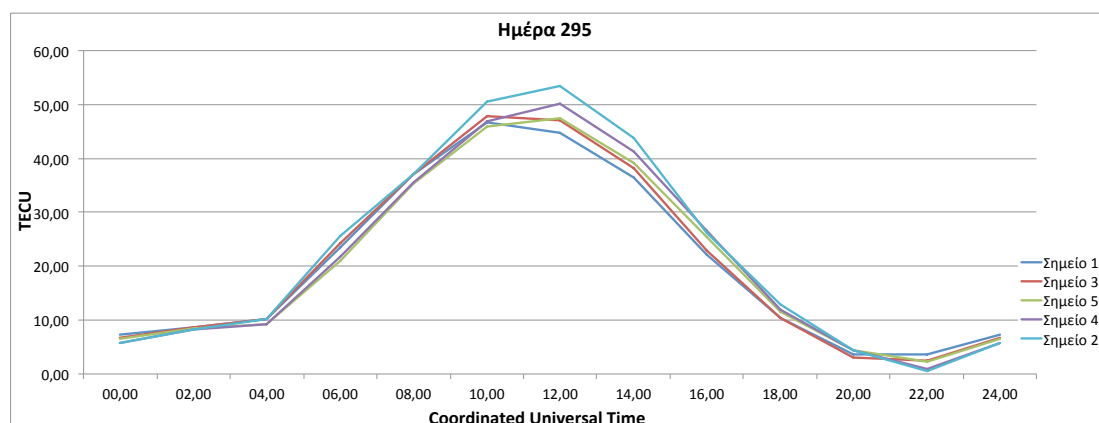


Σχήμα 41: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 294

TEC chart of the 1-5 points on the day 294

ΗΜΕΡΑ 294		Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Τιμή	Ελάχιστη	6,2	5,7	5,9	5,3	5,6
	Μέγιστη	49,1	55,7	50,4	52,1	49,7
	Μέση	21,95	24,01	22,38	22,68	22,18

Πίνακας 5.26: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 294)  
Statistics of the 1-5 points on the day 294



Σχήμα 42: Διάγραμμα τιμών TEC των σημείων 1-5 για την ημέρα 295

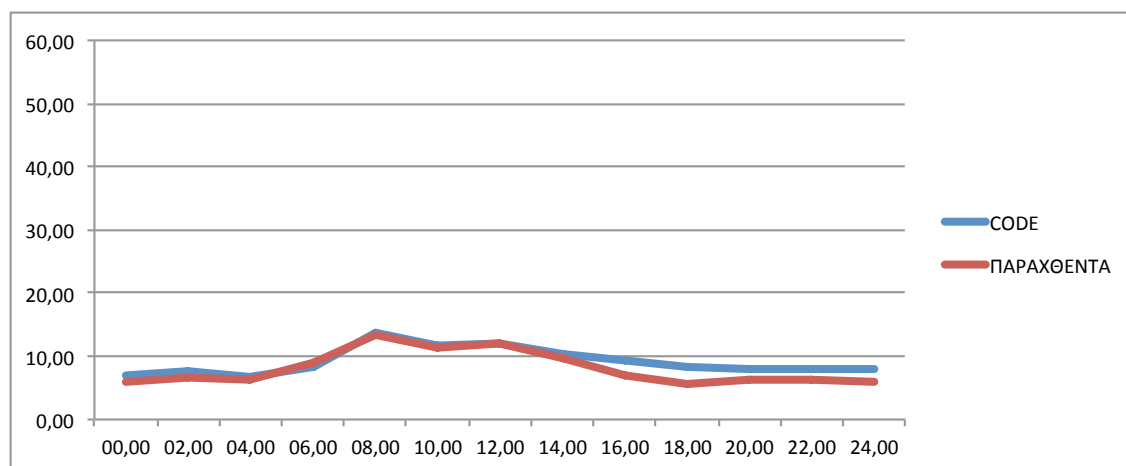
TEC chart of the 1-5 points on the day 295

ΗΜΕΡΑ 295	Σημείο 1	Σημείο 2	Σημείο 3	Σημείο 4	Σημείο 5
Ελάχιστη	3,6	0,5	2,4	0,9	2,2
Τιμή Μέγιστη	46,6	53,5	47,9	50,1	47,4
Μέση	20,12	21,87	20,43	20,65	20,26

Πίνακας 5.27: Στατιστικά στοιχεία για τα σημεία 1-5 (Ημέρα 295)  
Statistics of the 1-5 points on the day 295

Κατά την τελευταία από τις τέσσερις εβδομάδες επεξεργασίας σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές της  $E$  σε σχέση με τις υπόλοιπες τρεις περιόδους, καθώς κατά τις μεσημεριανές ώρες η ποσότητα  $E$  φτάνει στο κάποια σημεία πάνω από 50 TECU. Κάνοντας μια ανασκόπηση στα διαγράμματα στο σύνολό τους διαπιστώνεται ότι όλα διέπονται από κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου η ποσότητα  $E$  μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο και στα πέντε σημεία, συμπέρασμα που εξάγεται εύκολα από τους πίνακες με τα στατιστικά στοιχεία ( $Max_1 \approx Max_2 \approx Max_3 \approx Max_4 \approx Max_5$ ,  $Min_1 \approx Min_2 \approx Min_3 \approx Min_4 \approx Min_5$ ,  $Mean_1 \approx Mean_2 \approx Mean_3 \approx Mean_4 \approx Mean_5$ ), όπως και από τα ίδια τα διαγράμματα.

Αυτό σημαίνει ότι οι διαφορές στην ιονόσφαιρα στον ελλαδικό χώρο είναι πολύ μικρές. Σημαντικό, επίσης, χαρακτηριστικό είναι ότι οι τιμές της ιονόσφαιρας μεγιστοποιούνται κατά τις πρωινές ώρες, ενώ παίρνουν τις μικρότερες τιμές τους κατά τις νυχτερινές ώρες. Επιπλέον, κατά τους χειμερινούς μήνες η τιμή  $TE^{\nu}$  είναι χαμηλότερη κατά μέσο όρο από τον υπόλοιπο χρόνο. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν και το γνωστό θεωρητικό υπόβαθρο της ιονόσφαιρας (Εδάφιο 1.2). Τέλος, διαπιστώνεται ότι το Σημείο 2, το οποίο βρίσκεται νοτιότερα από τα υπόλοιπα κι επομένως πιο κοντά στον Ισημερινό, παρουσιάζει καθ' όλες τις ημέρες τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ηλεκτρόνια από τα υπόλοιπα σημεία.



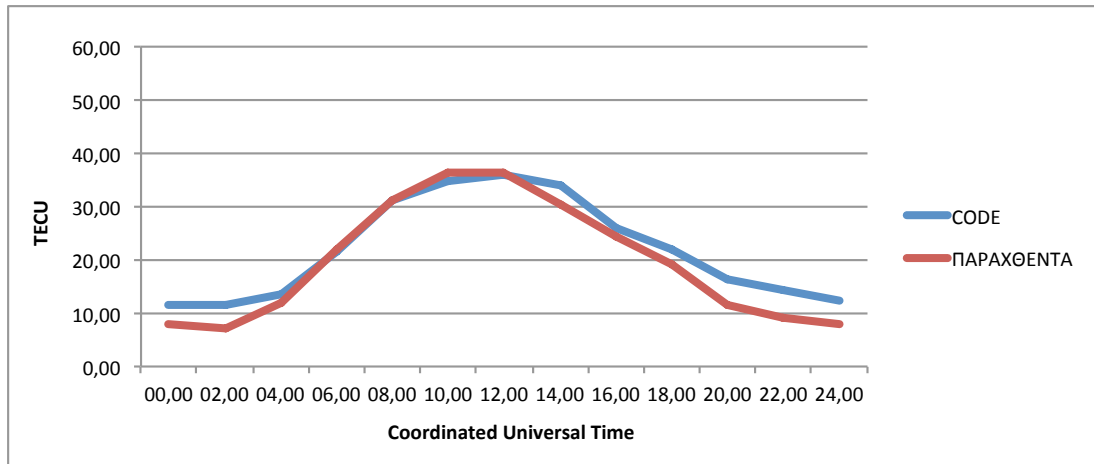
Σχήμα 43: Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 016  
 Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 016

### 5.3 Έλεγχος αποτελεσμάτων

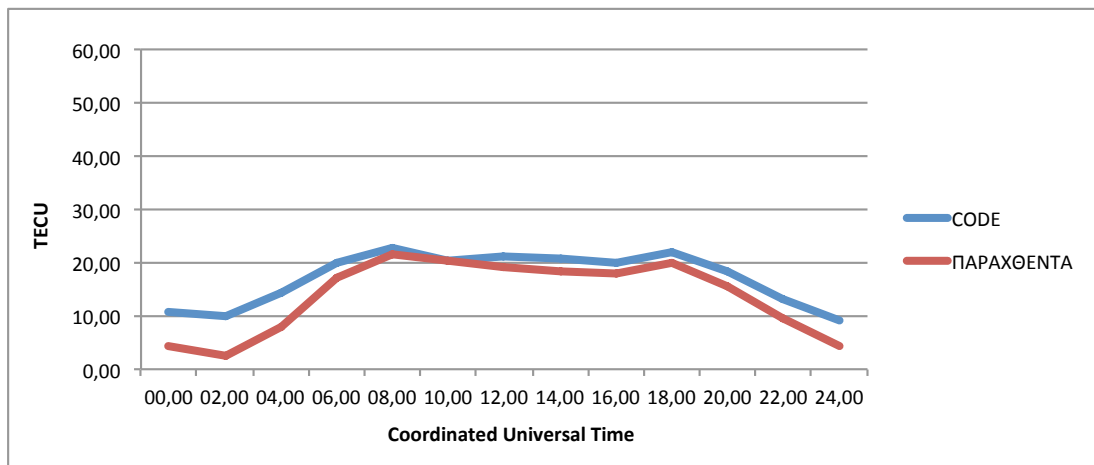
Σημαντικό κομμάτι της εργασίας αυτής αποτέλεσε η σύγκριση των παραχθέντων αρχείων IONEX με έτοιμα παγκόσμια IONEX που διατίθενται στο διαδίκτυο ελεύθερα. Για τη σύγκριση αυτή επιλέχθηκαν τα παγκόσμια ιονοσφαιρικά μοντέλα της CODE (Center for Orbit Determination in Europe), που αποτελούν καλό δείκτη για τη αξιοπιστία των παραχθέντων μοντέλων. Το ζήτημα προσεγγίστηκε σε δύο επίπεδα. Καταρχήν δημιουργήθηκαν γραφικές παραστάσεις όπου αντιπαρατέθηκαν οι τιμές TEC για τα πέντε επιλεγμένα σημεία για τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημέρες (μία για κάθε εποχή) και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επίλυση μίας ανεξάρτητης του δικτύου, που έχει επιλυθεί, βάσης με τη χρήση των αρχείων αυτών.

#### 5.3.1 Διαγράμματα συγκρινόμενων IONEX

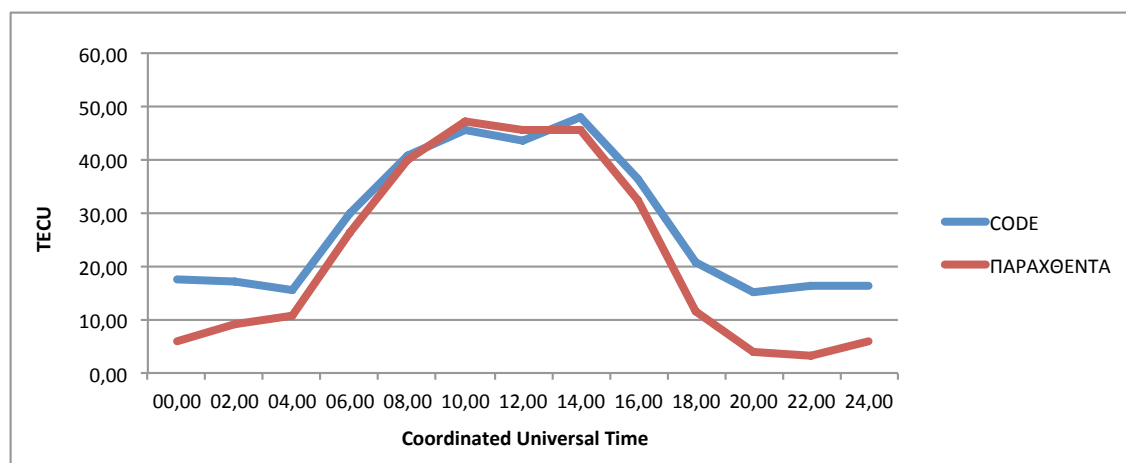
Η αντιπαραθέση και των πέντε σημείων των δύο συγκρινόμενων αρχείων σε ένα διάγραμμα είναι πρακτικά αδύνατη, καθώς οι γραφικές παραστάσεις τείνουν να συμπίπτουν. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε η μέση τιμή των τιμών TEC των σημείων 1-5, όπως αυτή προκύπτει από τα IONEX της CODE και τα παραχθέντα IONEX. Κατά μία έννοια αναπαριστάται γραφικά η εικόνα της ιονόσφαιρας στη γενική περιοχή, όπως αυτή συντίθεται από την εικόνα στα επιμέρους σημεία, για τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημερομηνίες (Σχήμα 43 έως Σχήμα 46). Αξιοσημείωτο είναι ότι οι δύο καμπύλες συμπίπτουν, πράγμα που διαφαίνεται και στους πίνακες 3.28 και 3.29, όπου παραθέτονται στατιστικά στοιχεία για τις καμπύλες αυτές, όπως η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, όπως ήταν αναμενόμενο και οι δύο καμπύλες έχουν μέγιστη



Σχήμα 44: Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 107  
 Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 107



Σχήμα 45: Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 197  
 Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 197



Σχήμα 46: Διάγραμμα τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο για την ημέρα 289

Chart with the weighted average of the TEC rates in Greece on the day 289

IONEX THE CODE		Ημέρα 016	Ημέρα 107	Ημέρα 197	Ημέρα 289
Τιμή	Ελάχιστη	5,5	6,96	2,52	2,52
	Μέγιστη	13,4	35,78	22,96	48,18
	Μέση	9,15	21,89	17,11	27,94

Πίνακας 5.28: Στατιστικά στοιχεία των τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο με βάση τα IONEX της CODE

Statistics of the TEC average rates in Greece according to the CODE's IONEX

ΠΑΡΑΧΘΕΝΤΑ IONEX		Ημέρα 016	Ημέρα 107	Ημέρα 197	Ημέρα 289
Τιμή	Ελάχιστη	6,74	11,36	9,1	15,14
	Μέγιστη	13,4	35,78	22,96	48,18
	Μέση	8,07	19,7	13,74	22,08

Πίνακας 5.29: Στατιστικά στοιχεία των τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο με βάση τα παραχθέντα IONEX

Statistics of the TEC average rates in Greece according to the produced IONEX

τιμή τις πρωινές ώρες και χαμηλότερες τις βραδινές.

### 5.3.2 Επίπτωση ιονόσφαιρας στην επίλυση ασαφειών

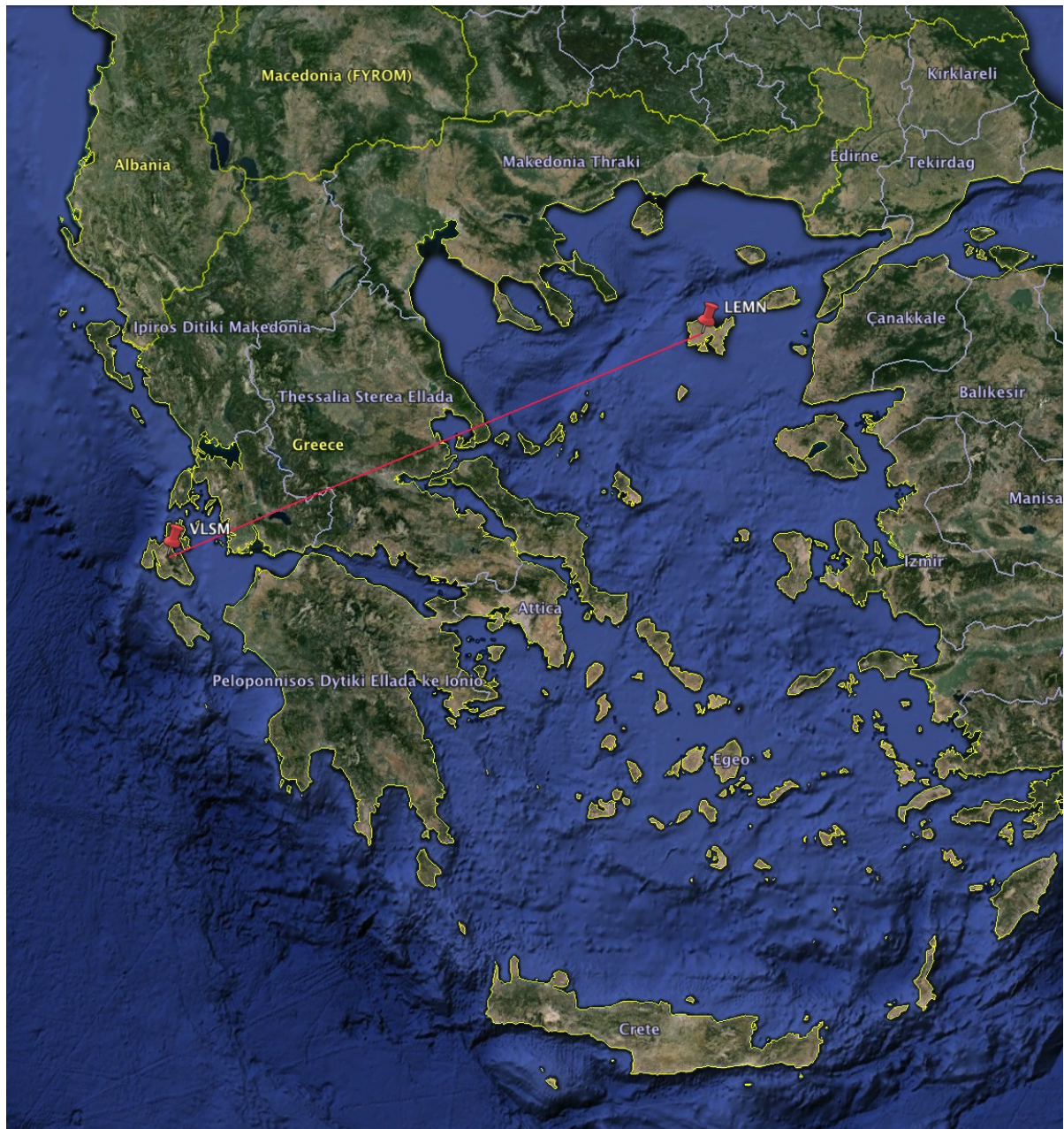
Σε ένα δεύτερο επίπεδο σύγκρισης των ιονοσφαιρικών μοντέλων που παρήχθησαν με αντίστοιχα της CODE επιλύθηκε μία ανεξάρτητη βάση στο λογισμικό πακέτο Bernese. Σημειώνεται ότι, καθώς η έκδοση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε δεν επιτρέπει την επεξεργασία IONEX αρχείων, χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα ION. Η βάση που επιλέχθηκε να λυθεί είναι μεγάλου μήκους (400 km) και αποτελείται από τους σταθμούς LEMN και VLMS (Σχήμα 47).

Η βάση επιλύθηκε σε τέσσερις ημερομηνίας χρησιμοποιώντας κάθε φορά και τα δύο μοντέλα ιονόσφαιρας και τελικά πραγματοποιήθηκε σύγκριση των ποσοστών των επιλυμένων ασαφειών με τα δύο μοντέλα. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.30).

		Ημέρα 016	Ημέρα 107	Ημέρα 197	Ημέρα 289
Μοντέλο	παραχθέν (%)	97,78	95,45	93,02	91,11
	της CODE (%)	97,78	95,45	93,02	93,33

Πίνακας 5.30: Ποσοστά επίλυσης ασαφειών με χρήση των δύο ιονοσφαιρικών μοντέλων  
Percentage of ambiguities' solution using the two ionospheric models

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, τα δύο μοντέλα σε τοπικό επίπεδο δεν διαφέρουν ιδιαίτερω μεταξύ τους, καθώς το πλήθος των ασαφειών που επιλύονται είναι σχεδόν το ίδιο. Το τελευταίο αποτελεί βαρόμετρο για την αξιοπιστία των παραχθέντων ιονοσφαιρικών μοντέλων. Τέλος, στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.31) Πίνακας παρουσιάζεται η θέση του σταθμού VLMS, όπως αυτή προέκυψε από την επίλυση της βάσης με τα δύο συγκρινόμενα μοντέλα. Η ταύτιση των αποτελεσμάτων είναι της τάξεως του χιλιοστού, σφάλμα αποδεκτό για την ακρίβεια που έχει το GPS στην συγκεκριμένη μεθοδολογία.



Σχήμα 47: Η βάση μεγάλου μήκους που επιλύθηκε για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων  
The solved long base used for the result comparison



Μοντέλο	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
2011, 16 Παραχθέν	4699991,597	1765547,738	3921162,223			
2011, 16 CODE	4699991,597	1765547,731	3921162,217	0,000	0,007	0,006
2011, 107 Παραχθέν	4699991,605	1765547,740	3921162,231			
2011, 107 CODE	4699991,605	1765547,740	3921162,231	0,000	0,000	0,000
2011, 197 Παραχθέν	4699991,593	1765547,745	3921162,221			
2011, 197 CODE	4699991,592	1765547,749	3921162,223	0,002	0,004	0,002
2011, 289 Παραχθέν	4699991,594	1765547,742	3921162,222			
2011, 289 CODE	4699991,594	1765547,742	3921162,222	0,001	0,000	0,000

Πίνακας 5.31: Η θέση του σταθμού VLSM χρησιμοποιώντας τα δύο συγκρινόμενα μοντέλα

The position of the VLSM station using the two compared models

## 6 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, στην παρούσα εργασία επιδιώχθηκε η δημιουργία ιονοσφαιρικών μοντέλων που να προσεγγίζουν καλά την κατάσταση της ιονόσφαιρας στην Ελλάδα στις διάφορες εποχές του έτους. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα δίκτυο δεκατεσσάρων σημείων αποτελούμενο από δέκα σταθμούς αναφοράς της IGS και από τέσσερις ελληνικούς σταθμούς προσαρμοσμένους κατά το δυνατόν καλύτερα στην περιφέρεια της χώρας. Οι τέσσερις αυτοί σταθμοί είναι σταθμοί της EUREF και του NOA και αποτελούν το τοπικό δίκτυο (Σχήμα 15).

Τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι τα αρχεία IONEX, ένα για κάθε μία από τις ημέρες επεξεργασίας, με την περιεκτικότητα της ιονόσφαιρας σε ηλεκτρόνια ανά δύο ώρες μέσα στη διάρκεια της ημέρας. Οι χάρτες TEC των IONEX είναι εκφρασμένοι σε πλέγμα γεωγραφικών συντεταγμένων για όλα τα σημεία της γης. Βέβαια, οι τιμές TEC των αρχείων προσεγγίζουν καλά μόνο τα σημεία στα γεωγραφικά μήκη και πλάτη της Ελλάδας. Η μελέτη των αρχείων αυτών δίνει διάφορες πληροφορίες για την ιονόσφαιρα στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι η εποχή με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ιόντα στην ιονόσφαιρα είναι το φθινόπωρο. Αυτό φαίνεται καθαρά και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.1) Επιπλέον, έγινε αντιληπτό ότι κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται τη νύχτα, ενώ οι υψηλότερες τις μεσημεριανές ώρες. Το σημαντικότερο συμπέρασμα, βέβαια, είναι ότι η ιονόσφαιρα στην Ελλάδα παρουσιάζει πολύ μικρές διαφοροποιήσεις κατά γεωγραφικό μήκος και πλάτος.

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
Μέση Τιμή	6,76	19,19	13,84	20,69

Πίνακας 6.1: Στατιστικά στοιχεία των τιμών TEC μεσοσταθμικά στον ελλαδικό χώρο ανά εποχή  
Statistics of the average TEC rates in Greece by epoch

Σημαντικό κομμάτι της μελέτης αποτέλεσε η σύγκριση των παραχθέντων IONEX με έτοιμα IONEX της CODE που διατίθενται ελεύθερα στον διαδίκτυο. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιήθηκε σε δύο επίπεδα, με σκοπό να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία των παραχθέντων αρχείων. Έτσι, τόσο τα διαγράμματα που παρήχθησαν με την παράθεση των τιμών των δύο συγκρινόμενων IONEX για τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημερομηνίες (Εδάφιο 5.3.1), όσο και η επίλυση μιας ανεξάρτητης βάσης μεγάλου μήκους με τα δύο αρχεία για τις ημερομηνίες αυτές (Εδάφιο 5.3.2), επιβεβαιώνει ότι τα αρχεία αυτά παρέχουν πρακτικά την ίδια ακρίβεια για τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη της Ελλάδας. Μάλιστα, κατά την επίλυση της ανεξάρτητης βάσης χρησιμοποιώντας είτε το ένα είτε το άλλο αρχείο επιλύεται σχεδόν το ίδιο ποσοστό ασφαιρών και προσδιορίζεται με την ίδια ακρίβεια η θέση του σταθμού ως προς τον οποίον επιλύεται το δίκτυο.

Ας σημειωθεί σαν τελικό σχόλιο ότι δεν έχει δημιουργηθεί προς το παρόν κανένα πληροφοριακό σύστημα που να παρέχει πληροφορίες για την ιονοσφαιρική δραστηριότητα με τη μορφή των χαρτών TEC για τον ελλαδικό χώρο συγκεκριμένα, παρά το γεγονός της ση-

μαντικότητα αυτών των πληροφοριών, όπως αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά στο Εδάφιο 2.5.

## Αναφορές

- [1] K. Rawer, *Wave Propagation in the Ionosphere*, Dordrecht 1993
- [2] S. Schaer, *Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System*, Bern 1999
- [3] Loc.gov, 2011, *What is GPS? Everyday Mysteries*, <http://www.loc.gov/rr/scitech/mysteries/global.html>, πρόσβαση 29/05/2013
- [4] Α. Ζησόπουλος — Δ. Παραδείσης, ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ (DGPS), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006
- [5] Χ. Πικριδάς — Α. Φωτίου, Μελέτη της Ιονοσφαιρικής Επίδρασης στο Σχετικό Προσδιορισμό Θέσης με το Σύστημα GPS: Εφαρμογή στην Ευρύτερη Περιοχή της Θεσσαλονίκης από Δεδομένα Μόνιμου Σταθμού GPS, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Τεύχος 1-2, Α.Π.Θ. 2003
- [6] Sopac.ucsd.edu, *Data Browser: Data By Day/Week*, <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataByDate.cgi>, πρόσβαση 20/11/2012
- [7] <ftp://igs.bkg.bund.de/EUREF/obs/>, πρόσβαση 20/11/2012
- [8] <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/product/>, πρόσβαση 20/11/2012
- [9] Gein.noa.gr, *NOANET GREECE GNSS NETWORK*, [http://www.gein.noa.gr/services/GPS/NOA\\_GPS/nea\\_gps\\_files/data.html](http://www.gein.noa.gr/services/GPS/NOA_GPS/nea_gps_files/data.html), πρόσβαση 20/11/2012
- [10] Igsb.jpl.nasa.gov, *IGS Overview*, <http://igscb.jpl.nasa.gov/overview/viewindex.html>, πρόσβαση 28/5/2013
- [11] *International GPS Service*, McGraw-Hill Yearbook of Science Technology, Reprinted 2003, [ftp://igs.org/pub/resource/pubs/IGS\\_McGrawHill\\_Ybook.pdf](ftp://igs.org/pub/resource/pubs/IGS_McGrawHill_Ybook.pdf), πρόσβαση 28/5/2013
- [12] Xenon.colorado.edu, *Pseudorange Bias of L1 Frequency*, [http://xenon.colorado.edu/public\\_bias.html](http://xenon.colorado.edu/public_bias.html), πρόσβαση 28/5/2013
- [13] Epnbc.oma.be, *EUREF Permanent GNSS Network*, <http://www.epnbc.oma.be/>, πρόσβαση 28/5/2013
- [14] Euref.eu, *euref.eu*, <http://www.euref.eu/>, πρόσβαση 28/5/2013
- [15] Astro.noa.gr, *IAA-NOA Network*, [http://www.astro.noa.gr/NoaNet/iaa\\_net\\_gr.htm](http://www.astro.noa.gr/NoaNet/iaa_net_gr.htm), πρόσβαση 29/5/2013
- [16] Oocities.org, *ΔΙΑΔΟΣΗ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΩΝ*, [http://www.oocities.org/supercomgr/theory\\_freq.htm](http://www.oocities.org/supercomgr/theory_freq.htm), πρόσβαση 10/12/2012

- [17] Iono.noa.gr, *Athens Digisonde*, <http://www.iono.noa.gr/>, πρόσβαση 10/12/2013
- [18] Iono.jpl.nasa.gov, *NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology*, <http://iono.jpl.nasa.gov/index.html>, πρόσβαση 10/12/2013
- [19] Gdgps.net, *Athens Digisonde*, <http://www.iono.noa.gr/>, πρόσβαση 10/12/2013
- [20] Gdgps.net, *GDGPS: Global Ionospheric (TEC) Maps*, <http://www.gdgps.net/products/tec-maps.html>, πρόσβαση 13/12/2013
- [21] Colorado.edu, *Global Positioning System Overview*, <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>, πρόσβαση 13/12/2013
- [22] Swpc.noaa.gov, *TEC Maps Image Animation*, <http://www.swpc.noaa.gov/ustec/images/index.html>, πρόσβαση 13/12/2013
- [23] Rolf Dach - Urs Hugentobler - Pierre Fridez - Michael Meindi, *Bernese GPS Software, Version 5.0*, Astronomical Institute, University of Bern 2007
- [24] Rolf Dach - Urs Hugentobler - Peter Walser, *Bernese GPS Software, Version 5.0-Tutorial*, Astronomical Institute, University of Bern 2009
- [25] Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος, *Τοπογραφία*, Γκιούρδας Εκδοτική 2006
- [26] Α. Φωτίου — Χ. Πικρίδας, *GPS ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ*, Εκδόσεις Ζήτη 2006

## Συντομογραφίες

IONEX	IONosphere EXchange
ΜΣΘ	Μέση Στάθμη Θάλασσας
ESF	Equatorial Spread F
TIDS	Travelling Ionosphere Distributions
IAG	International Association of Geodesy
IGS	International GPS Service
ITRS	International Terrestrial Reference System
ERPs	Earth Rotation Parameters
LOD	Length of Day
SINEX	Solution Independent EXchange
RINEX	Receiver INdependent EXchange
GIMs	Global Ionosphere Maps
DCBs	Differential Code Biases
ETRS	European Terrestrial Reference System
EVRS	European Vertical Reference System
GNSS	Global Navigation Satellite System
EPN	EUREF Permanent Network
NOA	National Observatory of Athens
NOANET	NOA NETwork
TEC	Total Electron Content
PRN	Pseudo Random Number
RMS	Root Mean Square
SA	Selective Availability
VRS	Virtual reference Site
GDGPS	Global Differential GPS
GDOP	Geometric Dilution of Precision
FARA	FAst Ambiguity Resolution Approach
LAMBDA	Least-squares AMBiguity Decorrelation Adjustment
QIF	Quasi Ionosphere Free
TDOP	Time Dilution of Precision
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
VDOP	Vertical Dilution of Precision
RTK	Real Time Kinematic
AIUB	Astronomical Institute of the University of Bern
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
UTC	Coordinated Universal Time
CODE	Center for Orbit Determination in Europe

## Μέρος III Παράρτημα

## Ασάφειες φάσης

Ο αλγόριθμος επίλυσης των ασαφειών φάσης που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι ο QIF. Παρακάτω παραθέτονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της επίλυσης των ασαφειών για όλες τις βάσεις του δικτύου και για όλες τις ημέρες επίλυσης.

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	10	92	10,87	89,13
2	BUCU - DUTH	6	98	6,12	93,88
3	BUCU - GLSV	20	98	20,41	79,59
4	BUCU - PENC	18	98	18,37	81,63
5	DUTH- KASI	12	86	13,95	86,05
6	DUTH - PRKV	4	90	4,44	95,56
7	ISTA - NICO	6	90	6,67	93,33
8	ISTA - PRKV	6	90	6,67	93,33
9	KASI - MATE	26	102	25,49	74,51
10	MATE -NOT1	18	94	19,15	80,85
11	PENC - WTZR	8	92	8,70	91,30
12	PRKV - TUC2	11	80	13,75	86,25
13	WTZR - ZIMM	18	94	19,15	80,85

Πίνακας Γ'.1: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 016»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 016))



A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	78	7,69	92,31
2	BUCU - DUTH	16	86	18,60	81,40
3	BUCU - GLSV	20	84	23,81	76,19
4	BUCU - PENC	16	80	20,00	80,00
5	DUTH- KASI	6	76	7,89	92,11
6	DUTH - PRKV	6	82	7,32	92,68
7	ISTA - NICO	12	82	14,63	85,37
8	ISTA - PRKV	8	82	9,76	90,24
9	KASI - MATE	12	84	14,29	85,71
10	MATE -NOT1	24	92	26,09	73,91
11	PENC - WTZR	20	76	26,32	73,68
12	PRKV - TUC2	10	76	13,16	86,84
13	WTZR - ZIMM	4	78	5,13	94,87

Πίνακας Γ'.2: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 017»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 017))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	26	110	23,64	76,36
2	DUTH - KASI	10	90	11,11	88,89
3	DUTH - PRKV	14	94	14,89	85,11
4	ISTA - PRKV	16	100	16,00	84,00
5	MATE - NOT1	20	96	20,83	79,17
6	PENC - WTZR	34	114	29,82	70,18
7	PRKV - TUC2	12	90	13,33	86,67
8	WTZR - ZIMM	28	110	25,45	74,55

Πίνακας Γ'.3: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 018»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 018))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	2	88	2,27	97,73
2	BUCU - DUTH	2	86	2,33	97,67
3	BUCU - GLSV	2	84	2,38	97,62
4	BUCU - PENC	2	86	2,33	97,67
5	DUTH- KASI	2	84	2,38	97,62
6	DUTH - PRKV	0	86	0,00	100,00
7	ISTA - NICO	4	92	4,35	95,65
8	ISTA - PRKV	2	88	2,27	97,73
9	KASI - MATE	26	104	25,00	75,00
10	MATE -NOT1	20	98	20,41	79,59
11	PENC - WTZR	2	88	2,27	97,73
12	PRKV - TUC2	4	86	4,65	95,35
13	WTZR - ZIMM	2	86	2,33	97,67

Πίνακας Γ'.4: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 019»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 019))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	92	6,52	93,48
2	BUCU - DUTH	2	92	2,17	97,83
3	BUCU - GLSV	4	90	4,44	95,56
4	BUCU - PENC	4	88	4,55	95,45
5	DUTH- KASI	0	86	0,00	100,00
6	DUTH - PRKV	2	94	2,13	97,87
7	ISTA - NICO	4	94	4,26	95,74
8	ISTA - PRKV	4	94	4,26	95,74
9	KASI - MATE	16	108	14,81	85,19
10	MATE -NOT1	16	102	15,69	84,31
11	PENC - WTZR	10	96	10,42	89,58
12	PRKV - TUC2	6	88	6,82	93,18
13	WTZR - ZIMM	12	114	10,53	89,47

Πίνακας Γ'.5: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 020»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 020))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	8	94	8,51	91,49
2	BUCU - DUTH	6	94	6,38	93,62
3	BUCU - GLSV	4	94	4,26	95,74
4	BUCU - PENC	2	90	2,22	97,78
5	DUTH- KASI	4	86	4,65	95,35
6	DUTH - PRKV	6	92	6,52	93,48
7	ISTA - NICO	4	94	4,26	95,74
8	ISTA - PRKV	6	92	6,52	93,48
9	KASI - MATE	18	118	15,25	84,75
10	MATE -NOT1	23	122	18,85	81,15
11	PENC - WTZR	4	98	4,08	95,92
12	PRKV - TUC2	4	87	4,60	95,40
13	WTZR - ZIMM	6	100	6,00	94,00

Πίνακας Γ'.6: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 021»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 021))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	8	92	8,70	91,30
2	BUCU - DUTH	2	96	2,08	97,92
3	BUCU - GLSV	4	92	4,35	95,65
4	BUCU - PENC	2	90	2,22	97,78
5	DUTH- KASI	6	94	6,38	93,62
6	DUTH - PRKV	8	102	7,84	92,16
7	ISTA - NICO	4	94	4,26	95,74
8	ISTA - PRKV	6	96	6,25	93,75
9	KASI - MATE	6	94	6,38	93,62
10	MATE -NOT1	18	98	18,37	81,63
11	PENC - WTZR	4	92	4,35	95,65
12	PRKV - TUC2	8	90	8,89	91,11
13	WTZR - ZIMM	6	90	6,67	93,33

Πίνακας Γ'.7: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 022»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 022))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	96	6,25	93,75
2	BUCU - DUTH	8	96	8,33	91,67
3	BUCU - GLSV	8	92	8,70	91,30
4	BUCU - PENC	4	92	4,35	95,65
5	DUTH- KASI	4	90	4,44	95,56
6	DUTH - PRKV	6	112	5,36	94,64
7	ISTA - NICO	6	96	6,25	93,75
8	ISTA - PRKV	8	112	7,14	92,86
9	KASI - MATE	4	90	4,44	95,56
10	MATE -NOT1	37	224	16,52	83,48
11	PENC - WTZR	6	94	6,38	93,62
12	PRKV - TUC2	10	108	9,26	90,74
13	WTZR - ZIMM	8	92	8,70	91,30

Πίνακας Γ'.8: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 107»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 107))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	4	94	4,26	95,74
2	BUCU - DUTH	2	96	2,08	97,92
3	BUCU - GLSV	12	106	11,32	88,68
4	BUCU - PENC	6	96	6,25	93,75
5	DUTH- KASI	8	92	8,70	91,30
6	DUTH - PRKV	2	94	2,13	97,87
7	ISTA - NICO	8	100	8,00	92,00
8	ISTA - PRKV	6	100	6,00	94,00
9	KASI - MATE	8	94	8,51	91,49
10	MATE -NOT1	96	442	21,72	78,28
11	PENC - WTZR	4	92	4,35	95,65
12	PRKV - TUC2	2	86	2,33	97,67
13	WTZR - ZIMM	10	106	9,43	90,57

Πίνακας Γ'.9: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 108»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 108))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	2	98	2,04	97,96
2	BUCU - DUTH	4	96	4,17	95,83
3	BUCU - GLSV	8	94	8,51	91,49
4	BUCU - PENC	8	96	8,33	91,67
5	DUTH- KASI	4	92	4,35	95,65
6	DUTH - PRKV	4	96	4,17	95,83
7	ISTA - NICO	2	92	2,17	97,83
8	ISTA - PRKV	2	92	2,17	97,83
9	KASI - MATE	2	100	2,00	98,00
10	MATE -NOT1	124	436	28,44	71,56
11	PENC - WTZR	4	98	4,08	95,92
12	PRKV - TUC2	10	104	9,62	90,38
13	WTZR - ZIMM	4	96	4,17	95,83

Πίνακας Γ'.10: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 109»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 109))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	4	98	4,08	95,92
2	BUCU - DUTH	12	96	12,50	87,50
3	BUCU - GLSV	10	94	10,64	89,36
4	BUCU - PENC	10	96	10,42	89,58
5	DUTH- KASI	4	92	4,35	95,65
6	DUTH - PRKV	6	96	6,25	93,75
7	ISTA - NICO	8	92	8,70	91,30
8	ISTA - PRKV	4	92	4,35	95,65
9	KASI - MATE	0	100	0,00	100,00
10	MATE -NOT1	18	436	4,13	95,87
11	PENC - WTZR	10	98	10,20	89,80
12	PRKV - TUC2	12	104	11,54	88,46
13	WTZR - ZIMM	12	96	12,50	87,50

Πίνακας Γ'.11: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 110»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 110))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	98	98	100,00	0,00
2	BUCU - DUTH	104	104	100,00	0,00
3	BUCU - GLSV	98	98	100,00	0,00
4	BUCU - PENC	96	96	100,00	0,00
5	DUTH- KASI	96	96	100,00	0,00
6	DUTH - PRKV	102	102	100,00	0,00
7	ISTA - NICO	102	102	100,00	0,00
8	ISTA - PRKV	94	94	100,00	0,00
9	KASI - MATE	90	90	100,00	0,00
10	MATE -NOT1	106	106	100,00	0,00
11	PENC - WTZR	104	104	100,00	0,00
12	PRKV - TUC2	104	104	100,00	0,00
13	WTZR - ZIMM	102	102	100,00	0,00

Πίνακας Γ'.12: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 111»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 111))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	94	6,38	93,62
2	BUCU - DUTH	6	94	6,38	93,62
3	BUCU - GLSV	2	92	2,17	97,83
4	BUCU - PENC	4	90	4,44	95,56
5	DUTH- KASI	6	90	6,67	93,33
6	DUTH - PRKV	6	94	6,38	93,62
7	ISTA - NICO	10	104	9,62	90,38
8	ISTA - PRKV	6	92	6,52	93,48
9	KASI - MATE	4	90	4,44	95,56
10	MATE -NOT1	16	94	17,02	82,98
11	PENC - WTZR	6	92	6,52	93,48
12	PRKV - TUC2	12	98	12,24	87,76
13	WTZR - ZIMM	10	94	10,64	89,36

Πίνακας Γ'.13: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 112»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 112))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	94	6,38	93,62
2	BUCU - DUTH	4	94	4,26	95,74
3	BUCU - GLSV	2	92	2,17	97,83
4	BUCU - PENC	4	90	4,44	95,56
5	DUTH- KASI	6	90	6,67	93,33
6	DUTH - PRKV	6	94	6,38	93,62
7	ISTA - NICO	8	104	7,69	92,31
8	ISTA - PRKV	4	92	4,35	95,65
9	KASI - MATE	4	90	4,44	95,56
10	MATE -NOT1	16	94	17,02	82,98
11	PENC - WTZR	4	92	4,35	95,65
12	PRKV - TUC2	6	98	6,12	93,88
13	WTZR - ZIMM	8	94	8,51	91,49

Πίνακας Γ'.14: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 113»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 113))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	94	6,38	93,62
2	BUCU - DUTH	10	94	10,64	89,36
3	BUCU - GLSV	12	92	13,04	86,96
4	BUCU - PENC	4	90	4,44	95,56
5	DUTH- KASI	10	90	11,11	88,89
6	DUTH - PRKV	10	94	10,64	89,36
7	ISTA - NICO	14	104	13,46	86,54
8	ISTA - PRKV	14	92	15,22	84,78
9	KASI - MATE	8	90	8,89	91,11
10	MATE -NOT1	14	94	14,89	85,11
11	PENC - WTZR	12	92	13,04	86,96
12	PRKV - TUC2	12	98	12,24	87,76
13	WTZR - ZIMM	10	94	10,64	89,36

Πίνακας Γ'.15: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 197»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 197))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	8	92	8,70	91,30
2	BUCU - DUTH	4	96	4,17	95,83
3	BUCU - GLSV	10	90	11,11	88,89
4	BUCU - PENC	4	88	4,55	95,45
5	DUTH- KASI	8	98	8,16	91,84
6	DUTH - PRKV	12	112	10,71	89,29
7	ISTA - NICO	14	72	19,44	80,56
8	ISTA - PRKV	10	66	15,15	84,85
9	KASI - MATE	8	88	9,09	90,91
10	MATE -NOT1	14	92	15,22	84,78
11	PENC - WTZR	12	94	12,77	87,23
12	PRKV - TUC2	22	96	22,92	77,08
13	WTZR - ZIMM	8	86	9,30	90,70

Πίνακας Γ'.16: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 198»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 198))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	10	92	10,87	89,13
2	BUCU - DUTH	10	90	11,11	88,89
3	BUCU - GLSV	6	90	6,67	93,33
4	BUCU - PENC	6	88	6,82	93,18
5	DUTH- KASI	12	92	13,04	86,96
6	DUTH - PRKV	14	86	16,28	83,72
7	ISTA - NICO	6	58	10,34	89,66
8	ISTA - PRKV	18	56	32,14	67,86
9	KASI - MATE	10	88	11,36	88,64
10	MATE -NOT1	24	96	25,00	75,00
11	PENC - WTZR	8	92	8,70	91,30
12	PRKV - TUC2	12	84	14,29	85,71
13	WTZR - ZIMM	10	88	11,36	88,64

Πίνακας Γ'.17: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 199»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 199))



A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	8	90	8,89	91,11
2	BUCU - DUTH	6	92	6,52	93,48
3	BUCU - GLSV	10	88	11,36	88,64
4	BUCU - PENC	8	86	9,30	90,70
5	DUTH- KASI	12	94	12,77	87,23
6	DUTH - PRKV	10	98	10,20	89,80
7	ISTA - NICO	10	46	21,74	78,26
8	ISTA - PRKV	12	50	24,00	76,00
9	KASI - MATE	10	90	11,11	88,89
10	MATE -NOT1	12	92	13,04	86,96
11	PENC - WTZR	10	92	10,87	89,13
12	PRKV - TUC2	14	94	14,89	85,11
13	WTZR - ZIMM	8	90	8,89	91,11

Πίνακας Γ'.18: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 200»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 200))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	10	90	11,11	88,89
2	BUCU - DUTH	8	90	8,89	91,11
3	BUCU - GLSV	14	90	15,56	84,44
4	BUCU - PENC	12	88	13,64	86,36
5	DUTH- ISTA	6	60	10,00	90,00
6	DUTH - KASI	12	94	12,77	87,23
7	ISTA - NICO	4	62	6,45	93,55
8	KASI - MATE	20	94	21,28	78,72
9	KASI - TUC2	14	92	15,22	84,78
10	MATE - NOT1	26	106	24,53	75,47
11	PENC - WTZR	18	98	18,37	81,63
12	WTZR - ZIMM	8	88	9,09	90,91

Πίνακας Γ'.19: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 201»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 201))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	90	6,67	93,33
2	BUCU - DUTH	6	100	6,00	94,00
3	BUCU - GLSV	10	110	9,09	90,91
4	BUCU - PENC	10	100	10,00	90,00
5	DUTH- ISTA	10	90	11,11	88,89
6	DUTH - KASI	14	92	15,22	84,78
7	ISTA - NICO	12	96	12,50	87,50
8	KASI - MATE	16	102	15,69	84,31
9	KASI - TUC2	8	88	9,09	90,91
10	MATE - NOT1	16	102	15,69	84,31
11	PENC - WTZR	12	94	12,77	87,23
12	WTZR - ZIMM	12	92	13,04	86,96

Πίνακας Γ'.20: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 202»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 202))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	4	90	4,44	95,56
2	BUCU - DUTH	4	90	4,44	95,56
3	BUCU - GLSV	6	90	6,67	93,33
4	BUCU - PENC	8	90	8,89	91,11
5	DUTH- KASI	12	92	13,04	86,96
6	DUTH - PRKV	4	52	7,69	92,31
7	ISTA - NICO	6	88	6,82	93,18
8	ISTA - PRKV	6	52	11,54	88,46
9	KASI - MATE	12	94	12,77	87,23
10	MATE -NOT1	28	140	20,00	80,00
11	PENC - WTZR	14	98	14,29	85,71
12	PRKV - TUC2	6	52	11,54	88,46
13	WTZR - ZIMM	6	86	6,98	93,02

Πίνακας Γ'.21: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 203»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 203))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	8	90	8,89	91,11
2	BUCU - DUTH	8	92	8,70	91,30
3	BUCU - GLSV	8	102	7,84	92,16
4	BUCU - PENC	6	98	6,12	93,88
5	DUTH- KASI	8	88	9,09	90,91
6	DUTH - PRKV	8	88	9,09	90,91
7	ISTA - NICO	14	74	18,92	81,08
8	ISTA - PRKV	8	88	9,09	90,91
9	KASI - MATE	10	108	9,26	90,74
10	MATE -NOT1	28	114	24,56	75,44
11	PENC - WTZR	10	92	10,87	89,13
12	PRKV - TUC2	14	104	13,46	86,54
13	WTZR - ZIMM	2	76	2,63	97,37

Πίνακας Γ'.22: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 289»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 289))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	90	6,67	93,33
2	BUCU - DUTH	8	102	7,84	92,16
3	BUCU - GLSV	2	90	2,22	97,78
4	BUCU - PENC	6	88	6,82	93,18
5	DUTH- KASI	8	100	8,00	92,00
6	DUTH - PRKV	10	102	9,80	90,20
7	ISTA - NICO	12	90	13,33	86,67
8	ISTA - PRKV	8	88	9,09	90,91
9	KASI - MATE	10	96	10,42	89,58
10	MATE -NOT1	22	112	19,64	80,36
11	PENC - WTZR	10	92	10,87	89,13
12	PRKV - TUC2	10	92	10,87	89,13
13	WTZR - ZIMM	4	74	5,41	94,59

Πίνακας Γ'.23: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 290»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 290))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	94	6,38	93,62
2	BUCU - DUTH	6	94	6,38	93,62
3	BUCU - GLSV	8	88	9,09	90,91
4	BUCU - PENC	6	88	6,82	93,18
5	DUTH- KASI	2	92	2,17	97,83
6	DUTH - PRKV	8	96	8,33	91,67
7	ISTA - NICO	16	110	14,55	85,45
8	ISTA - PRKV	10	90	11,11	88,89
9	KASI - MATE	14	104	13,46	86,54
10	MATE -NOT1	24	124	23,08	76,92
11	PENC - WTZR	10	98	8,06	91,94
12	PRKV - TUC2	8	100	8,16	91,84
13	WTZR - ZIMM	2	72	2,00	98,00

Πίνακας Γ'.24: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 291»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 291))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	6	90	6,67	93,33
2	BUCU - DUTH	6	92	6,52	93,48
3	BUCU - GLSV	4	92	4,35	95,65
4	BUCU - PENC	6	88	6,82	93,18
5	DUTH- KASI	4	90	4,44	95,56
6	DUTH - PRKV	6	90	6,67	93,33
7	ISTA - NICO	16	114	14,04	85,96
8	ISTA - PRKV	8	98	8,16	91,84
9	KASI - MATE	6	94	6,38	93,62
10	MATE -NOT1	20	112	21,28	78,72
11	PENC - WTZR	10	96	8,93	91,07
12	PRKV - TUC2	8	88	8,33	91,67
13	WTZR - ZIMM	2	74	2,27	97,73

Πίνακας Γ'.25: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 292»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 292))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	90	90	100,00	0,00
2	BUCU - DUTH	86	86	100,00	0,00
3	BUCU - GLSV	84	84	100,00	0,00
4	BUCU - PENC	88	88	100,00	0,00
5	DUTH- KASI	86	86	100,00	0,00
6	DUTH - PRKV	88	88	100,00	0,00
7	ISTA - NICO	150	150	100,00	0,00
8	ISTA - PRKV	122	122	100,00	0,00
9	KASI - MATE	96	96	100,00	0,00
10	MATE -NOT1	106	106	100,00	0,00
11	PENC - WTZR	100	100	100,00	0,00
12	PRKV - TUC2	104	104	100,00	0,00
13	WTZR - ZIMM	74	74	100,00	0,00

Πίνακας Γ'.26: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 293»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 293))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	4	90	4,44	95,56
2	BUCU - DUTH	2	86	2,33	97,67
3	BUCU - GLSV	8	86	9,30	90,70
4	BUCU - PENC	4	86	4,65	95,35
5	DUTH- KASI	12	88	13,64	86,36
6	DUTH - PRKV	4	90	4,44	95,56
7	ISTA - NICO	22	116	18,97	81,03
8	ISTA - PRKV	12	100	12,00	88,00
9	KASI - MATE	10	90	11,11	88,89
10	MATE -NOT1	22	100	24,44	75,56
11	PENC - WTZR	12	96	12,00	88,00
12	PRKV - TUC2	16	108	16,67	83,33
13	WTZR - ZIMM	0	74	0,00	100,00

Πίνακας Γ'.27: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 294»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 294))

A/A Βάσης	Σταθμοί	Άλυτες ασάφειες	Σύνολο ασαφειών	Ποσοστό αποτυχίας (%)	Ποσοστό επίλυσης (%)
1	BOR1 - WTZR	4	90	4,44	95,56
2	BUCU - DUTH	0	88	0,00	100
3	BUCU - GLSV	4	86	4,65	95,35
4	BUCU - PENC	6	86	6,98	93,02
5	DUTH- KASI	4	90	4,44	95,56
6	DUTH - PRKV	4	88	4,55	95,45
7	ISTA - NICO	14	82	17,07	82,93
8	ISTA - PRKV	2	84	2,38	97,62
9	KASI - MATE	8	98	8,16	91,84
10	MATE -NOT1	18	106	18,37	81,63
11	PENC - WTZR	14	100	13,21	86,79
12	PRKV - TUC2	10	102	10,00	90,00
13	WTZR - ZIMM	0	74	0,00	100,00

Πίνακας Γ'.28: Επίλυση ασαφειών για την ημέρα «2011, 295»  
Ambiguities' solution for the day ((2011, 295))