



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

Η. Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου Αθήνα . Τηλ.: 210 - 772 2666, Fax: 210- 772 2670

Παρακολούθηση, Επεξεργασία και Πιστοποίηση του Μόνιμου Δικτύου GNSS URANUS.

Δ. Παραδείσης, Καθηγητής Ε.Μ.Π
Δ. Αναστασίου
Ξ. Παπανικολάου

Αθήνα, Ιανουάριος 2013

Πίνακας Περιεχομένων

1 Το μόνιμο δίκτυο URANUS.....	5
1.1 Γενικά.....	5
1.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά	6
2 Επεξεργασία δικτύου URANUS.....	8
2.1 Σχήμα Επεξεργασίας.....	9
2.2 Μοντέλα και Επιλογές.....	12
2.2.1 Σύστημα Αναφοράς.....	14
2.2.2 Επίλυση Ακέραιων Ασαφειών Φάσης.....	15
2.3 Διαδικασία επεξεργασίας.....	16
2.3.1 Ultra-rapid Επίλυση.....	19
2.3.2 Final Επίλυση.....	19
2.4 Ποιοτικός Έλεγχος.....	20
3 Χρονοσειρές Θέσης.....	24
3.1 Διαδικασία Παραγωγής Χρονοσειρών.....	24
4 Ένταξη στο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς HTRS07.....	27
4.1 Το ΓΣΑ HTRS07	27
4.2 Διαδικασία Ένταξης του URANUS στο HTRS07.....	28
4.3 Εκτίμηση πεδίου ταχυτήτων.....	30
4.4 Προβλήματα και Μελλοντικές Βελτιώσεις	32
5 Υπολογισμός υψομέτρων	32
6 Βιβλιογραφία.....	34

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1: Το δίκτυο URANUS.....	5
Εικόνα 1.2: Διαθεσιμότητα σταθμών URANUS.....	6
Εικόνα 2.1: Αριθμός σταθμών που συμμετέχουν στην επεξεργασία.....	9
Εικόνα 2.2: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας.....	11
Εικόνα 2.3: Μέσο μήκος προς επεξεργασία βάσεων.....	14
Εικόνα 2.4: Σταθμοί του δικτύου IGS που συμμετέχουν στην επεξεργασία.....	15
Εικόνα 2.5: Μέσο ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης.....	16
Εικόνα 2.6: Κεφαλίδα έκθεσης ημερήσιας επεξεργασίας του δικτύου URANUS	18
Εικόνα 2.7: Στατιστικά στοιχεία της επεξεργασίας του δικτύου.....	19
Εικόνα 2.8: Ανάλυση υπολοίπων για το σταθμό CHIO.....	21
Εικόνα 2.9: Εικόνα 2.8: Ανάλυση υπολοίπων για το σταθμό IOAN.....	22
Εικόνα 2.10: Εικόνα 2.8: Ανάλυση υπολοίπων για το σταθμό XANT.....	23
Εικόνα 2.11: Ημερήσιο σφάλμα συνόρθωσης (RMS) του δικτύου.....	24
Εικόνα 3.1: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό ATHI.....	25
Εικόνα 3.2: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό LEUK.....	26
Εικόνα 3.3: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό THES.....	26
Εικόνα 3.4: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό HRAK.....	27
Εικόνα 4.1: Πεδίο ταχυτήτων για το δίκτυο URANUS ως προς τον σταθμό AUT1.....	32
Εικόνα 5.1: Χάρτης διαφορών αποκλίσεων των διαφορετικών μοντέλων γεωειδούς που συγκρίνονται	37

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμών URANUS.....	7
Πίνακας 4.1: Τυπικό σφάλμα επαναληπτικότητας για τους σταθμούς του δικτύου.....	29
Πίνακας 4.2: Σύγκριση ταχυτήτων δημοσιευμένων από τη EUREF με αυτές που προκύπτουν από την παρεμβολή.....	30
Πίνακας 5.1: Αποχές του γεωειδούς για τους σταθμούς του δικτύου από διαφορετικά μοντέλα.....	33

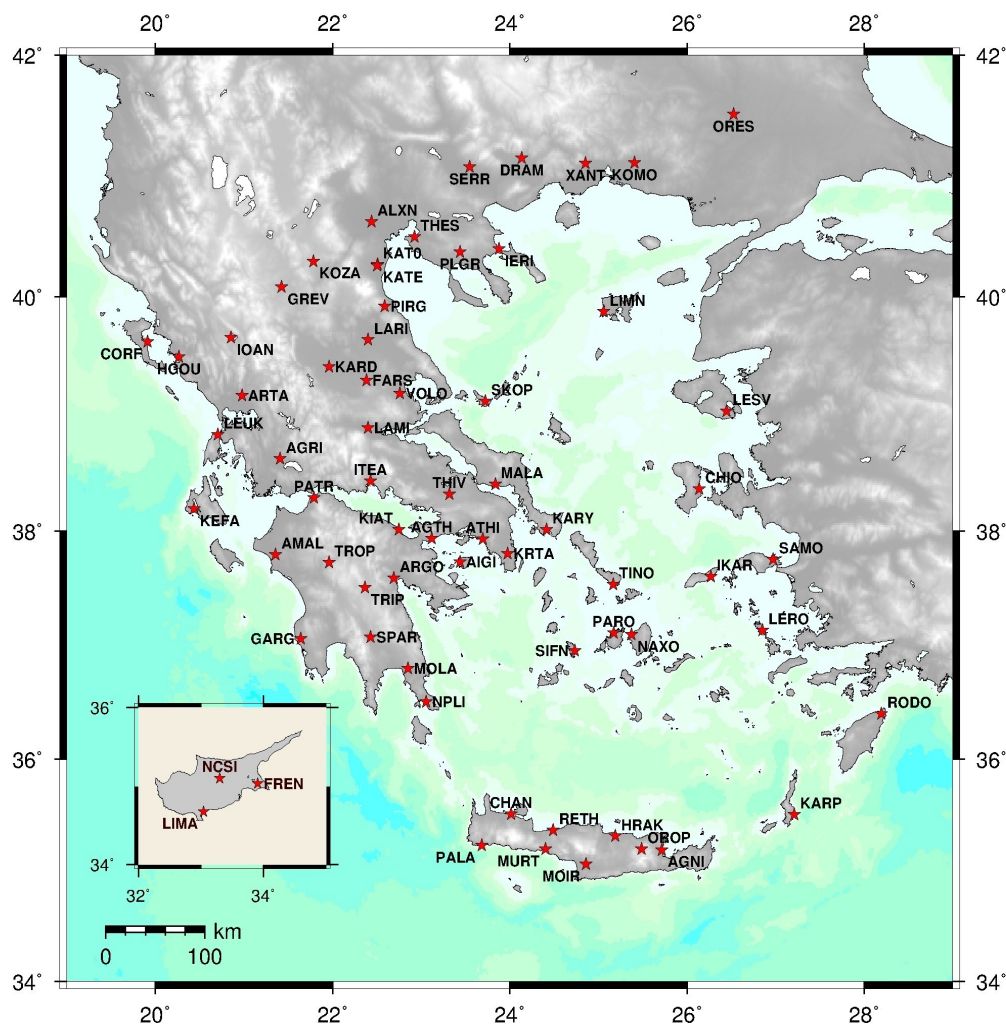
Συντομογραφίες

ΚΔΔ	Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου
IGS	International GNSS Service
EPN	EUREF Permanent Network
GNSS	Global Navigation Satellite System

1 Το μόνιμο δίκτυο URANUS

1.1 Γενικά

Το δίκτυο U.R.A.N.U.S αποτελεί ένα σύγχρονο δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς GNSS σε Ελλάδα και Κύπρο. Αποτελείται σήμερα (Ιανουάριος 2013) από 68 σταθμούς τρεις εκ των οποίων έχουν εγκατασταθεί στην Κύπρο ενώ οι υπόλοιποι καλύπτουν ολόκληρη σχεδόν την περιοχή της Ελλάδας όπως παρουσιάζονται στην *Εικόνα 1.1*.



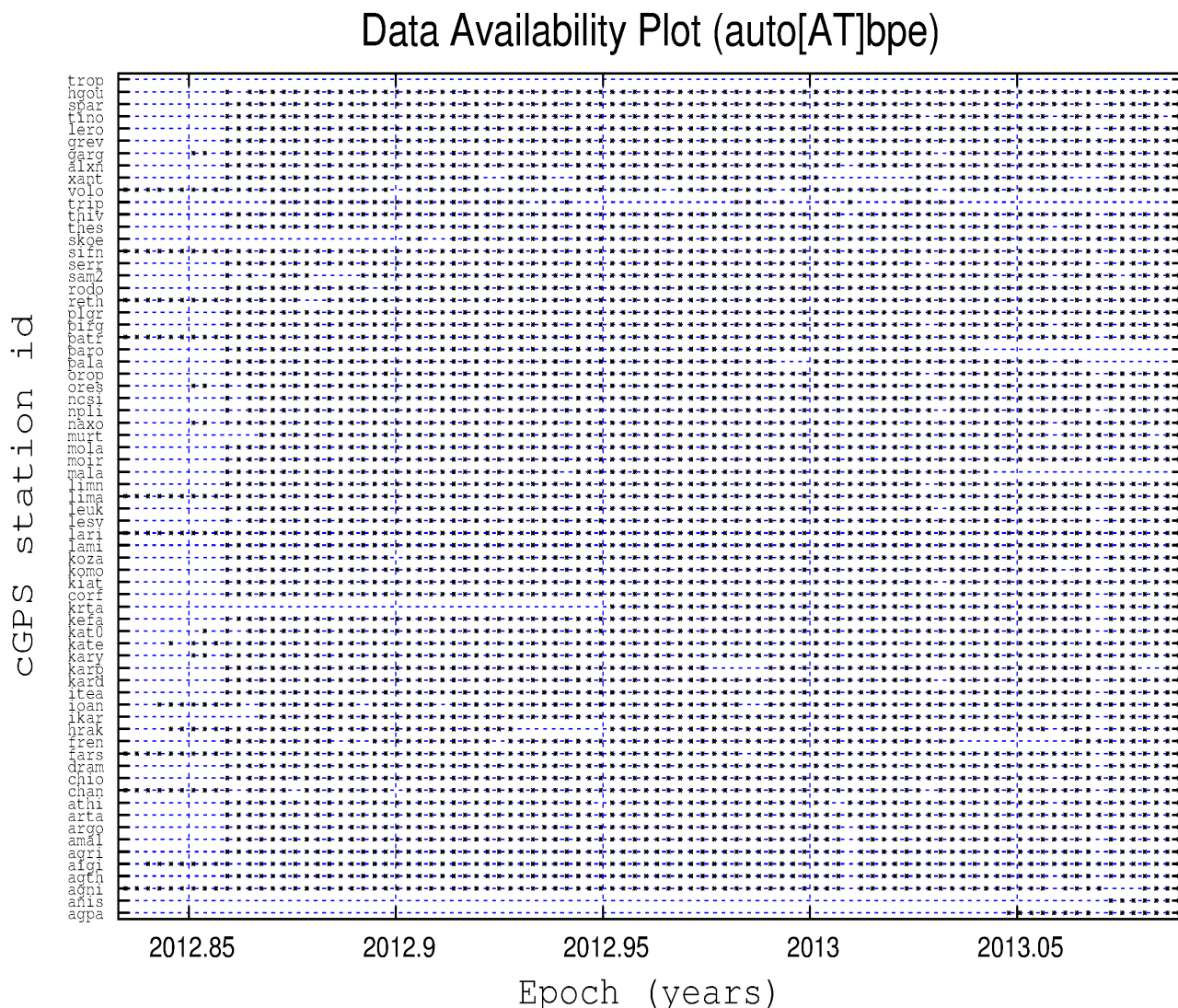
GMT 2013 Feb 01 15:27:51 DSO-HGL/NTUA

Εικόνα 1.1: Το δίκτυο URANUS

Το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου (ΚΔΔ) της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, από τον Ιούλιο του 2012 ανέλαβε την παρακολούθηση, πιστοποίηση και τον έλεγχο του δικτύου μόνιμων σταθμών GNSS URANUS της Tree Company CO A.E.B.E.. Το εργαστήριο στα πλαίσια της συνεργασίας αυτής δύναται να χρησιμοποιήσει μετά από συνεννόηση με την εταιρία, τόσο τα δεδομένα όσο και τα αποτελέσματα, για ερευνητικούς ή/και

εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Στην Εικόνα 1.2 εμφανίζεται η διαθεσιμότητα των δεδομένων για κάθε σταθμό του δικτύου από 1η Νοεμβρίου 2012 έως και 31 Ιανουαρίου 2013.



Εικόνα 1.2: Διαθεσιμότητα σταθμών URANUS

1.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι σταθμοί με τους αντίστοιχους τύπους κεραιών και δεκτών που χρησιμοποιούνται. Στους περισσότερους σταθμούς χρησιμοποιούνται οι κεραίες TPSCR.G3 και TPSCR.G5 με θόλο προστασίας TPSH. Αντίστοιχα για το μεγαλύτερο μέρος των σταθμών χρησιμοποιείται ο δέκτης TPS NET-G3A.

Όλες οι κεραίες και οι δέκτες που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο URANUS είναι γεωδαιτικού τύπου με στόχο να εξασφαλίζεται η όσο το δυνατόν υψηλότερη ποιότητα των παρεχόμενων δεδομένων.

α/α	code	Ονομασία	Τύπος δέκτη		Τύπος Κεραίας	
1	AGNI	Άγιος Νικόλαος	TPS	GB-1000	TPSPG_A1+GP	NONE
2	AGRI	Αγρίνιο	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
3	AGTH	Άγιοι Θεόδωροι	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
4	AIGI	Αίγινα	TPS	GB-1000	TPSPG_A1+GP	NONE
5	ALXN	Αλεξάνδρεια	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
6	AMAL	Αμαλιάδα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
7	ARGO	Αργος	TPS	NETG3	TPSCR.G3	TPSH
8	ARTA	Άρτα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
9	ATHI	Αθήνα	TPS	NETG3	TPSCR.G3	TPSH
10	CHAN	Χανιά	TPS	GB-1000	TPSCR.G3	TPSH
11	CHIO	Χίος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
12	CORF	Κέρκυρα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
13	DRAM	Δράμα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
14	FARS	Φάρσαλα	TPS	GB-1000	TPSPG_A1+GP	NONE
15	FREN	Φρενάροι	TPS	NETG3	TPSCR.G3	TPSH
16	GARG	Γαργαλιάνοι	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
17	GREV	Γρεβενά	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
18	HGOU	Ηγουμενίτσα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
19	HRAK	Ηράκλειο	TPS	NETG3	TPSCR.G3	TPSH
20	IERI	Ιερισσός	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
21	IKAR	Ικαρία	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
22	IOAN	Ιωάννινα	TPS	NETG3	TPSCR.G3	TPSH
23	ITEA	Ιτέα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
24	KARD	Καρδίτσα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
25	KARP	Κάρπαθος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
26	KARY	Κάρυστος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
27	KAT0	Κατερίνη II	TPS	NET-G3A	TPSPG_A1	TPSH
28	KATE	Κατερίνη	TPS	NETG3	TPSCR.G3	TPSH
29	KEFA	Κεφαλονιά	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
30	KIAT	Κιάτο	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
31	KOMO	Κομοτινή	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
32	KOZA	Κοζάνη	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
33	KRTA	Κερατέα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
34	LAMI	Λαμία	TPS	NET-G3A	TPSPG_A1+GP	NONE
35	LARI	Λαρίσα	TPS	GB-1000	TPSPG_A1+GP	NONE
36	LERO	Λέρος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
37	LESV	Λέσβος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
38	LEUK	Λευκάδα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
39	LIMA	Λεμεσός	TPS	GB-1000	TPSPG_A1+GP	NONE

Πίνακας 1.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμών URANUS

40	LIMN	Λίμνος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	NONE
41	MALA	Μαλακόντα	TPS	NET-G3A	TPSPG_A1	TPSH
42	MOIR	Μοίρες	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
43	MOLA	Μολάοι	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
44	MURT	Μύρθιος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
45	NAXO	Νάξος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
46	NCSI	Λευκωσία	TPS	NET-G3A	TPSPG_A1+GP	NONE
47	NPLI	Νεάπολη	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
48	ORES	Ορεσιτιάδα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
49	OROP	Οροπέδιο	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
50	PALA	Παλαιοχώρα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
51	PARO	Πάρος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
52	PATR	Πάτρα	TPS	GB-1000	TPSCR3_GGD	CONE
53	PIRG	Πιργετός	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
54	PLGR	Πολύγυρος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
55	RETH	Ρέθυμνο	TPS	GB-1000	TPSCR.G3	TPSH
56	RODO	Ρόδος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
57	SAM2	Σάμος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
58	SERR	Σέρρες	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
59	SIFN	Σίφνος	TPS	GB-1000	TPSPG_A1+GP	NONE
60	SKOE	Σκόπελος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
61	SPAR	Σπάρτη	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
62	THES	Θεσσαλονίκη	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
63	THIV	Θήβα	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
64	TINO	Τίνος	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
65	TRIP	Τρίπολη	TPS	NET-G3A	TPSCR.G5	TPSH
66	TROP	Τρόπαια	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
67	VOLO	Βόλος	TPS	GB-1000	TPSPG_A1+GP	NONE
68	XANT	Ξάνθη	TPS	NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH

2 Επεξεργασία δικτύου URANUS

Όπως προαναφέρθηκε το ΚΔΔ ανέλαβε την παρακολούθηση, πιστοποίηση και έλεγχο του δικτύου μόνιμων σταθμών GNSS URANUS από τον Ιούλιο του 2012. Το εργαστήριο στα πλαίσια αυτής της συνεργασίας χρησιμοποιεί τόσο τα δεδομένα όσο και τα αποτελέσματα για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Το ΚΔΔ, για την επεξεργασία/ανάλυση του δικτύου URANUS, η οποία γίνεται σύμφωνα με τα πλέον σύγχρονα διεθνή πρότυπα, έχει αναπτύξει ευρύ φάσμα προγραμμάτων και υπολογιστικών ρουτινών. Το δίκτυο URANUS, ενσωματώθηκε στο ήδη υπάρχον αυτόματο σχήμα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων (διατηρώντας την αυτοδυναμία του) το οποίο λειτουργεί στο Ε.Μ.Π [16] έχοντας ήδη συνεισφέρει στην παραγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων καθώς και σημαντικής εμπειρίας των στελεχών του.

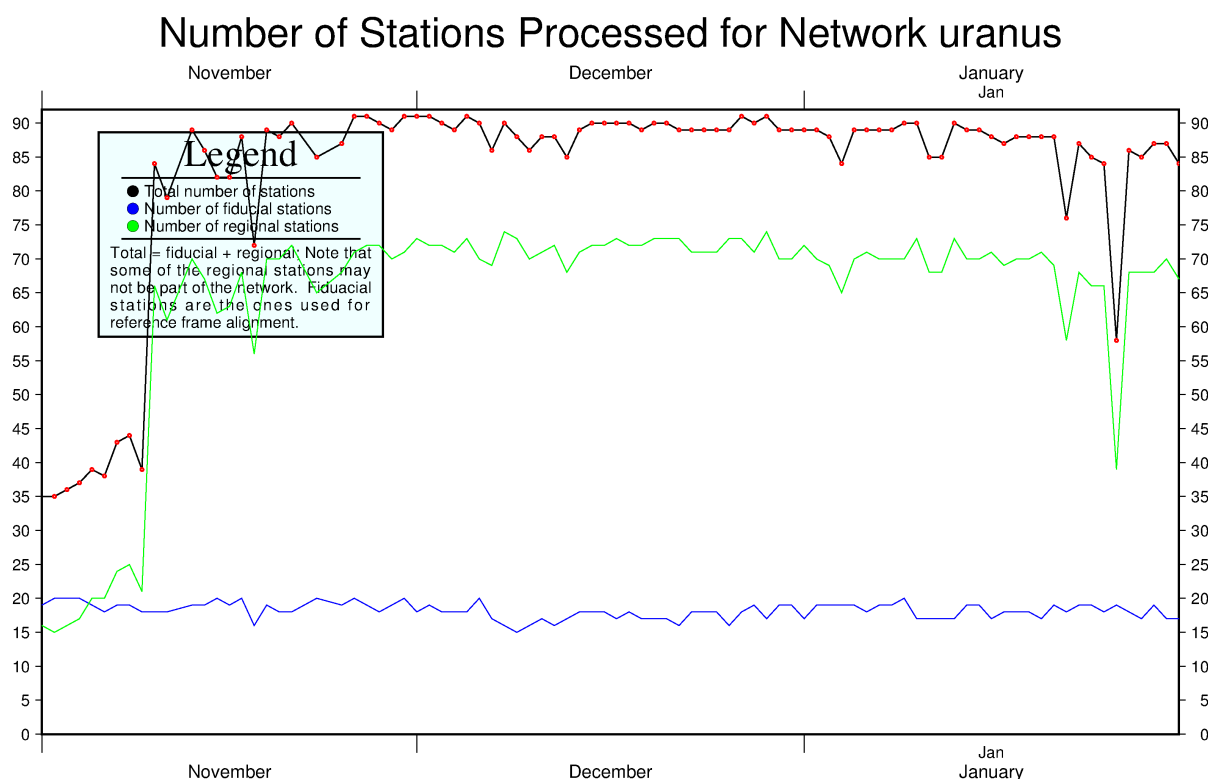
Σκοπός της παρακολούθησης του δικτύου είναι:

1. έλεγχος της εσωτερικής αξιοπιστίας του δικτύου,
2. εκτίμηση της κινηματικής συμπεριφοράς των σταθμών του δικτύου (θέση και ταχύτητα), με στόχο την εύκολη και ακριβή μετάβαση από και προς σύγχρονα γεωδαιτικά datum (παγκόσμια, ευρωπαϊκά, ελληνικά),
3. ανίχνευση παραγόντων που δύνανται να επηρεάσουν την ακρίβεια των προσφερόμενων

γεωδαιτικών προϊόντων,

4. σύνδεση του δικτύου με παγκόσμια ή/και ευρωπαϊκά γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς υψηλής ακρίβειας (π.χ. ITRF),
5. Έμμεση σύνδεση με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς HTRS07 μέσω των σταθμών αναφοράς του δικτύου EPN,
6. παρακολούθηση της συμπεριφοράς των εγκατεστημένων γεωδαιτικών οργάνων,
7. παρακολούθηση της τοπικής συμπεριφοράς των σημείων ενδιαφέροντος,
8. πιστοποίηση του δικτύου URANUS.

Σε μία περιοχή όπως η Ελλάδα, που συνιστά το πιο τεκτονικά ενεργό κομμάτι της Ευρωπαϊκής ηπείρου, τα αναφερθέντα σημεία κρίνονται άκρως απαραίτητα για την εύρυθμη παροχή γεωδαιτικών λύσεων υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας.



Εικόνα 2.1: Αριθμός σταθμών που συμμετέχουν στην επεξεργασία

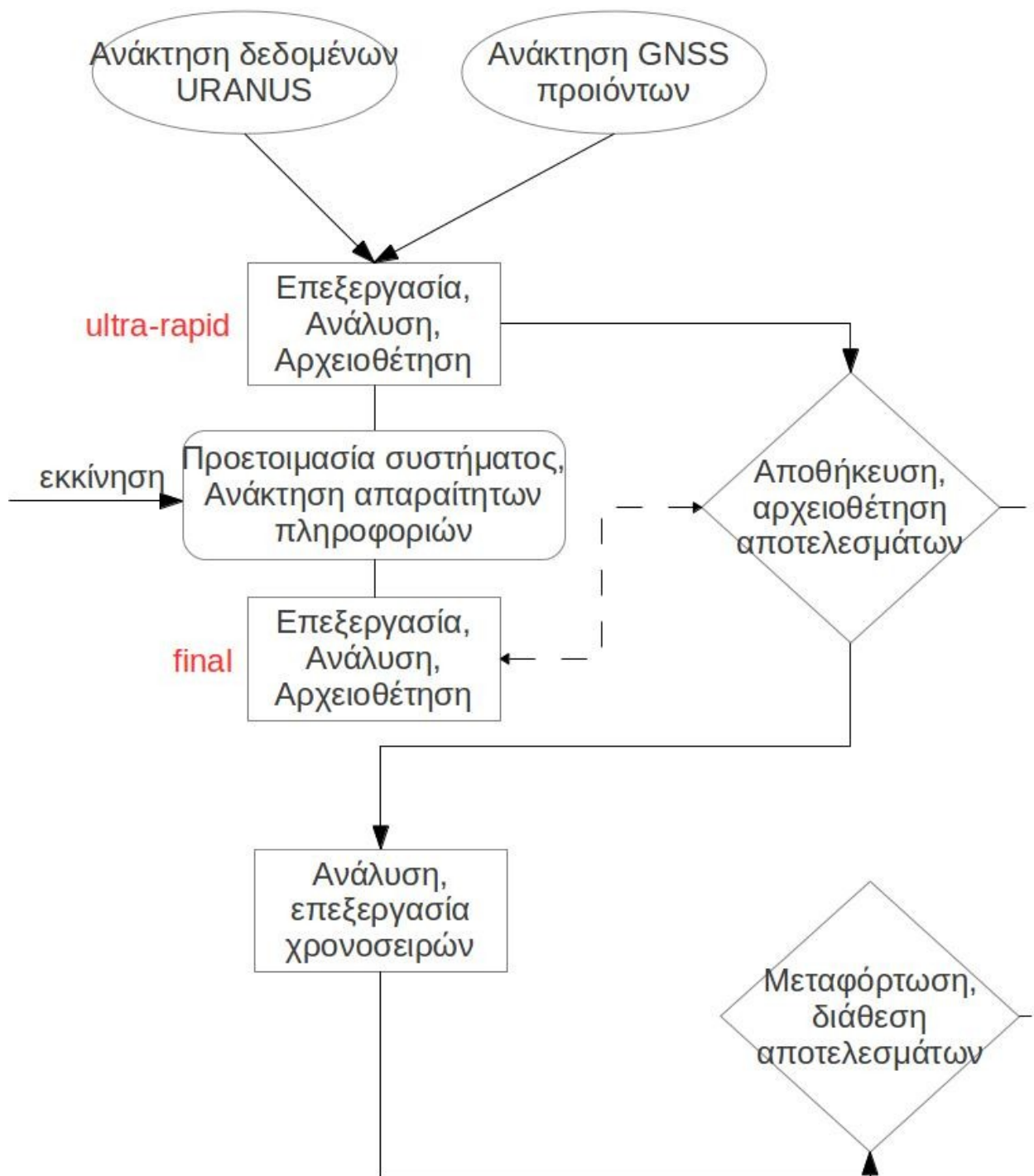
2.1 Σχήμα Επεξεργασίας

Η επεξεργασία των δορυφορικών παρατηρήσεων γίνεται στο Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, στην κεντρική υπολογιστική μονάδα του Κέντρου, σε περιβάλλον UNIX.

Για την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, χρησιμοποιείται το λογισμικό Bernese GNSS

Software v.5.0 (<http://www.bernese.unibe.ch/>) [1], καθώς επίσης και μία πλειάδα προγραμμάτων που έχουν αναπτυχθεί από το εργαστήριο (ΚΔΔ) και εξυπηρετούν ποικίλους σκοπούς. Επιπροσθέτως, γίνεται χρήση και του λογισμικού πακέτου GAMIT/GLOBK [11], κυρίως για τον ποιοτικό έλεγχο της συμπεριφοράς των δεκτών.

Γενικά, η επεξεργασία του δικτύου URANUS, είναι μία αυτοματοποιημένη διαδικασία, ακολουθώντας τα διεθνή επιστημονικά πρότυπα. Πιο αναλυτικά, η ανάλυση του δικτύου γίνεται δύο φορές για κάθε ημέρα λειτουργίας του. Αρχικά, λαμβάνει χώρα η ultra-rapid επίλυση (Κεφ. 2.3.1), η οποία ξεκινά περίπου 8 έως 10 ώρες μετά το πέρας της ημέρας ενδιαφέροντος. Η διαδικασία αυτή, βοηθά στην γρήγορη, έγκαιρη και αξιόπιστη διάγνωση τυχών προβλημάτων. Έπειτα και αφού τα αποτελέσματα της ultra-rapid επίλυσης έχουν αξιολογηθεί και αρχειοθετηθεί, γίνεται η final επίλυση (Κεφ. 2.3.2), η οποία ξεκινά είκοσι ημέρες μετά το πέρας της ημέρας ενδιαφέροντος. Η χρονική καθυστέρηση είναι αναγκαία και ισοδύναμη με την μέση καθυστέρηση διάθεσης των τελικών προϊόντων [5] από τη διεθνή υπηρεσία International GNSS Service (IGS, <http://igsb.jpl.nasa.gov/>) [2]. Η τελευταία αυτή επίλυση, είναι εκείνη που παρέχει τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια.



Εικόνα 2.2: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας

2.2 Μοντέλα και Επιλογές

Η επεξεργασία του δικτύου URANUS γίνεται ακολουθώντας τα τρέχοντα διεθνή πρότυπα, με διαφοροποιήσεις όπου αυτό κρίνεται σκόπιμο, δεδομένων των συνθηκών (π.χ. έκταση δικτύου, παρεχόμενη πληροφορία, λογισμικό επεξεργασίας, κτλ).

Για την εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής ακρίβειας και συνοχής, το ΚΔΔ φροντίζει ώστε τα μοντέλα και το σχήμα επεξεργασίας να ακολουθεί τα προτεινόμενα από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Προσδιορισμού Τροχιών (Center for Orbit Determination in Europe, CODE) [7]. Πιο αναλυτικά, κάποια από τα μοντέλα καθώς και βασικές παράμετροι της επεξεργασίας παρουσιάζονται παρακάτω:

- γωνία αποκοπής 7 μοίρες,
- ρυθμός δειγματοληψίας 3 λεπτά (πλην του βήματος επίλυσης ασαφειών φάσης, όπου λαμβάνονται υπ' όψιν όλες οι διαθέσιμες παρατηρήσεις),
- βασική παρατήρηση για την επεξεργασία, συνιστούν οι διπλές διαφορές φάσεις. Οι παρατηρήσεις κώδικα χρησιμεύουν μόνο για τον συγχρονισμό των χρονομέτρων των δεκτών,
- υπολογισμός βαρών παρατηρήσεων, εξαρτώμενων από την κατακόρυφη γωνία (μοντέλο υπολογισμού βαρών: $1/\cos^2(z)$),
- βαθμονόμηση κεραιών (δεκτών και δορυφόρων) με βάση το πλέον σύγχρονο μοντέλο απόλυτων διορθώσεων (igs08_1711.atx). Το ΚΔΔ κάνει χρήση των αναφερθέντων διορθώσεων μέσω των αντίστοιχων αρχείων μορφής atx [19], που παράγονται και διανέμονται από την υπηρεσία IGS. Οι διορθώσεις αφορούν σε συγκεκριμένα μοντέλα κεραιών και στις περισσότερες των περιπτώσεων εξαρτώνται τόσο από την ζενίθια γωνία όσο και από το αζιμούθιο παρατήρησης. Σε περίπτωση που τέτοιου τύπου βαθμονόμηση δεν περιέχεται στο υπό χρήση αρχείο atx, το ΚΔΔ φροντίζει να προμηθευτεί τις τιμές βαθμονόμησης από άλλες πηγές (π.χ. [20]) και να τις μετατρέψει σε απόλυτου τύπου διορθώσεις³. Αναφέρεται ότι το αρχείο βαθμονόμησης αναβαθμίζεται σε τακτικά χρονικά διαστήματα (π.χ. με την ενσωμάτωση νέων τύπων κεραιών) και το ΚΔΔ μεριμνεί ώστε να χρησιμοποιεί το κατάλληλο κάθε φορά (επιλογή που εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, όπως π.χ. το σύστημα αναφοράς).
- ο υπολογισμός/εκτίμηση της τροποσφαιρικής επίδρασης γίνεται σύμφωνα με τις συναρτήσεις του Niell (Niell mapping functions) [3]. Εκτιμώνται επίσης B-N και A-Δ οριζόντιες παράμετροι καθυστέρησης ανά ημέρα,
- σύστημα αναφοράς: η πλέον σύγχρονη υλοποίηση της υπηρεσίας IGS (igs08) [4], όπου αναφέρονται όλα τα ακριβή προϊόντα. Η επιλογή του συστήματος αναφοράς στο οποίο αναφέρεται η επίλυση είναι κρίσιμης σημασίας. Το ΚΔΔ επιλέγει να χρησιμοποιεί την τρέχουσα κάθε φορά υλοποίηση της IGS, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή συνοχή, και κατά συνέπεια υψηλή ποιότητα αποτελεσμάτων/προϊόντων. Λεπτομέρειες για την επιλογή και χρήση του συστήματος αναφοράς αναφέρονται παρακάτω [2.2.1],
- ωκεάνιες παλίρροιες FES2004 [12]. Το ΚΔΔ, κάνοντας χρήση της υπηρεσίας **ocean tide loading provider** του Αστεροσκοπείου της Ονσάλα (Onsala Space Observatory), συντάσσει αρχεία που περιλαμβάνουν τις μετακινήσεις όλων των σταθμών που συμμετέχουν στην επεξεργασία, λόγω των ωκεάνιων παλίρροιών. Οι διορθώσεις αυτές λαμβάνονται υπ' όψιν στην

³ Η διαδικασία αφορά κυρίως στην μετατροπή σχετικών διορθώσεων (relative antenna corrections) σε απόλυτες διορθώσεις [21].

τελική εκτίμηση των παραμέτρων ενδιαφέροντος.

- πλανητικές εφημερίδες DE200 [13]. Το μοντέλο αυτό, που παράγεται από το Jet Propulsion Laboratory (JPL), περιλαμβάνει θέσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις των κύριων σωμάτων του ηλιακού συστήματος και είναι απαραίτητο για την εκτίμηση τροχιών δορυφόρων GNSS.

Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, γίνεται με τη μέθοδο του σχετικού εντοπισμού, όπου βασική παρατήρηση συνιστούν οι διπλές διαφορές φάσης. Εκτός από τους σταθμούς του δικτύου URANUS, στην επεξεργασία συμμετέχουν:

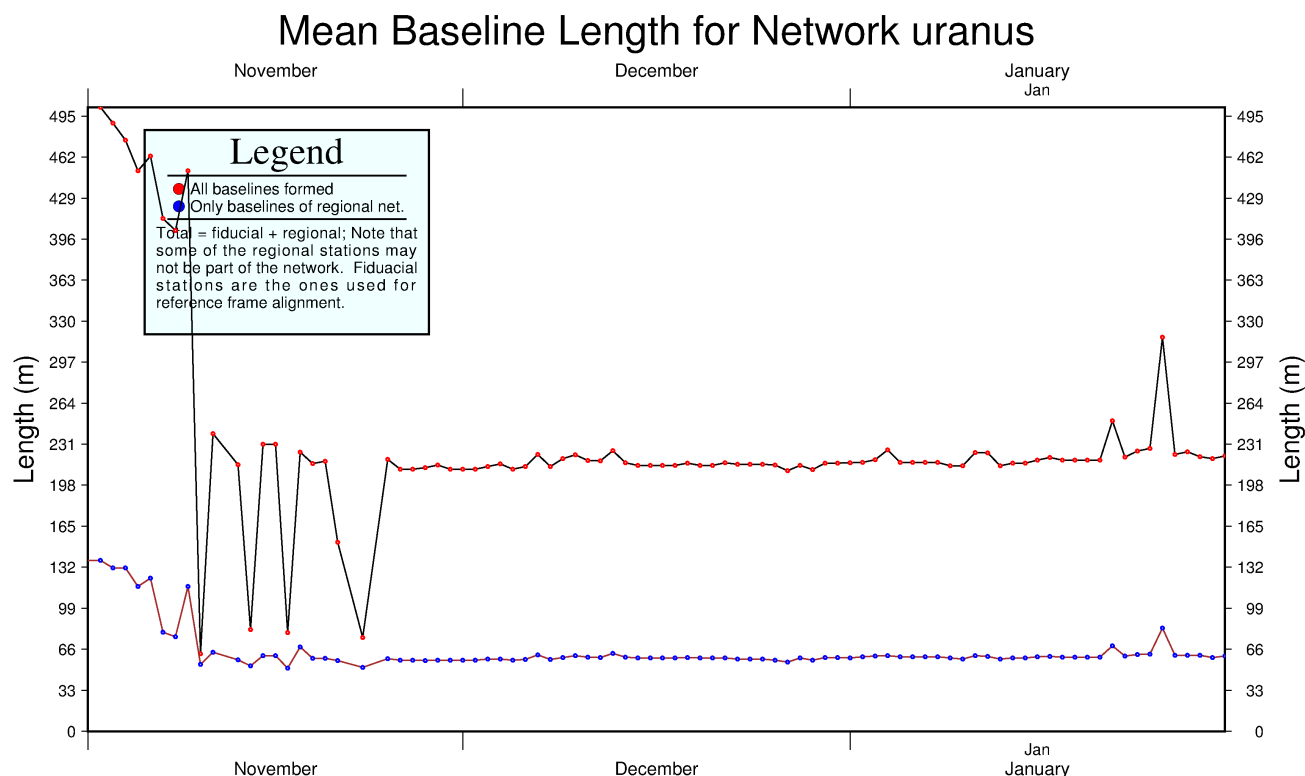
- 20+1 σταθμοί IGS

Οι σταθμοί αυτοί, διεσπαρμένοι ανά την Ευρώπη, ανήκουν στο δίκτυο δεκτών GNSS της υπηρεσίας IGS. Η χρήση αυτών κρίνεται αναγκαία για την υλοποίηση του τρέχοντος συστήματος αναφοράς. Ειδική μέριμνα έχει δοθεί στην επιλογή τους, ώστε (α) να διατηρείται ένας όσο το δυνατόν βέλτιστος γεωμετρικός σχεδιασμός γύρω από το δίκτυο URANUS, (β) οι σταθμοί να μην παρουσιάζουν ασυνέχειες (π.χ. μετακινήσεις ή επίδραση βίαιων γεωφυσικών/τεκτονικών φαινομένων), (γ) να είναι διαθέσιμοι για όλο το χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος. Σε κάθε επίλυση χρησιμοποιούνται 20 σταθμοί IGS, ενώ ανάλογα με τον συνολικό αριθμό των προς επεξεργασία δεδομένων, (δηλαδή αν το συνολικό άθροισμα των προς επίλυση σταθμών είναι μικρότερο ενός κρίσιμου ορίου) δύναται να γίνει χρήση ενός ακόμη.

- 2+3 σταθμοί EUREF

Στο (εκτεταμένο) δίκτυο συμμετέχουν και σταθμοί του EPN (European Permanent Network) της EUREF [10] τοποθετημένοι ανά την Ελλάδα. Συγκεκριμένα, σε κάθε επίλυση αναλύονται οι σταθμοί AUT1 και TUC2, ενώ ανάλογα με τον συνολικό αριθμό των προς επεξεργασία δεδομένων, δύναται να γίνει χρήση τριών ακόμη. Ο σκοπός της συμμετοχής τους, είναι η εύκολη και ακριβής μετάβαση σε άλλα Ελληνικά Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς (κυρίως HTRS07). Αξίζει να σημειωθεί ότι, τόσο οι σταθμοί IGS όσο και αυτοί της EUREF, χρησιμεύουν και για τον ποιοτικό έλεγχο των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας, συγκρίνοντας τα παραγόμενα με αυτά των αρμόδιων υπηρεσιών ανάλυσης (συντεταγμένες, χρονοσειρές).

Παρακάτω, δίνονται περισσότερες πληροφορίες για επιλεγμένα βήματα της επεξεργασίας.



Εικόνα 2.3: Μέσο μήκος προς επεξεργασία βάσεων

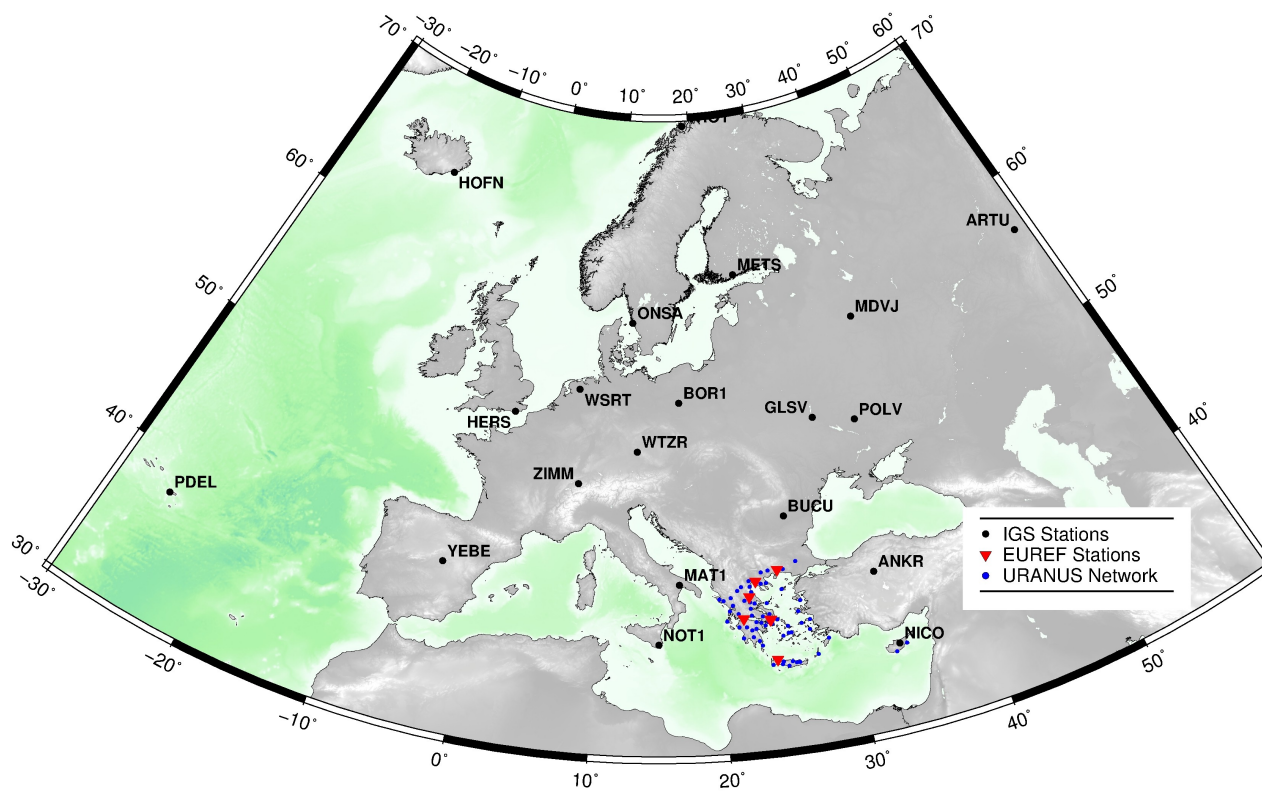
2.2.1 Σύστημα Αναφοράς

Το σύστημα αναφοράς για την επεξεργασία του δικτύου URANUS είναι αυτό που προτείνεται από την διεθνή υπηρεσία IGS κάθε φορά (τρέχον igb08). Όλα τα προϊόντα ακριβείας που δημοσιεύονται από την IGS, αναφέρονται σε αυτό το σύστημα, το οποίο αναβαθμίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η χρήση αυτού του συστήματος για την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, βοηθά στην επίτευξη της μέγιστης δυνατής (εσωτερικής) συνοχής και συνεπώς στην ποιοτικότερη και ακριβέστερη ανάλυση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υπηρεσία IGS έχει υιοθετήσει την χρήση των δικών της υλοποιήσεων από το 2000 και έπειτα, τα οποία προτιμούνται των αντίστοιχων ITRF λόγω μεγαλύτερης εσωτερικής συνοχής. Η παραγωγή των συστημάτων αυτών, γίνεται με συνδυασμό των αποτελεσμάτων επεξεργασίας διαφόρων Κέντρων Ανάλυσης (IGS Analysis Centers), με χρήση των πιο σύγχρονων κάθε φορά μοντέλων και σε στενή σχέση με το αντίστοιχο ITRF. Περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να αναζητηθούν στην βιβλιογραφία (π.χ. [22]).

Το ΚΔΔ, ακολουθώντας τις διεθνείς εξελίξεις στην δορυφορική γεωδαισία, αναβαθμίζει το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία σε κάθε νέα υλοποίηση του συστήματος από την υπηρεσία IGS.

Για την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς, το δίκτυο URANUS συνορθώνεται βάση της μεθόδου των ελάχιστων (εσωτερικών) δεσμεύσεων. Οι δεσμεύσεις ενεργούν πάνω στο βαρύκεντρο του δικτύου

των IGS σταθμών (και όχι μεμονωμένα σε κάθε σταθμό) αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό σε μεγάλο βαθμό τυχόν παραμορφώσεις. Στην περίπτωση δικτύων αυτού του μεγέθους, κρίνεται αρκετή η επιβολή τριών δεσμεύσεων μετάθεσης (no-net-translation), ώστε να συμπίπτει το a-priori βαρύκεντρο με αυτό που προκύπτει από τη συνόρθωση. Το βήμα αυτό, περιλαμβάνει και μία επαναληπτική διαδικασία ανίχνευσης χονδροειδών σφαλμάτων, ώστε να απαλείφονται κάθε φορά οι σταθμοί IGS με τις μεγαλύτερες τιμές υπολοίπων.



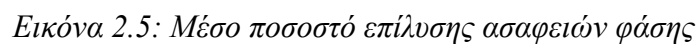
Εικόνα 2.4: Σταθμοί του δικτύου IGS που συμμετέχουν στην επεξεργασία

2.2.2 Επίλυση Ακέραιων Ασαφειών Φάσης

Η επίλυση των ασαφειών φάσης γίνεται ως εξής [7]:

- Η μέθοδος Quasi Ionosphere Free (QIF) χρησιμοποιείται για βάσεις μεγαλύτερες των 200 km.
- Η μέθοδος phase-based widelane/narrowlane χρησιμοποιείται για βάσεις από 10 έως και 200 km.
- Η μέθοδος άμεσης επίλυσης στην L1/L2 χρησιμοποιείται για βάσεις μικρότερες των 10 km.

Το μέσο ποσοστό επίλυσης των ασαφειών, που κυμαίνεται από την 1^η Νοεμβρίου 2012 έως και την 31^η Ιανουαρίου 2013 (ημερομηνία σύνταξης της τεχνικής έκθεσης) στο 94%, κρίνεται ως άκρως ικανοποιητικό και συνιστά μέγεθος που πιστοποιεί στην υψηλή ποιότητα των παρεχόμενων δεδομένων.



Η επεξεργασία του δικτύου γίνεται καθημερινά, δύο φορές τη μέρα σε κεντρική υπολογιστική μονάδα του ΚΔΔ. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αυτή που περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφ. 2.1 και παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2. Τα παραγόμενα αποτελέσματα αρχειοθετούνται και συντάσσεται

έκθεση με όλα τα απαραίτητα στοιχεία (Εικόνα 2.6) της επίλυσης η οποία ελέγχεται για τον εντοπισμό σφαλμάτων στην επίλυση, δυσλειτουργίας κάποιου σταθμού κτλ.

Με το πέρας κάθε βδομάδας συντάσσονται αναλυτικά διαγράμματα με όλα τα στατιστικά στοιχεία (πχ. αριθμός παρατηρήσεων) της επεξεργασίας καθώς και ποιοτικά χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος (πχ. μέσο ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης).

Όλα τα προαναφερθέντα αποτελέσματα γίνονται άμεσα διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του ΚΔΔ.

Τέλος ανά τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται επεξεργασία όλων των σταθμών για τον ποιοτικό έλεγχο τους όπως περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφ. 2.4.

```

=====
**              Higher Geodesy Laboratory              **
**              Dionysos Satellite Observatory          **
**              National Technical University of Athens  **
=====
**              SUMMARY FILE FOR PROCESSING OF URANUS NTWK      **
**              AUTOMATICALLY GENERATED BY topcon.rapid.sh      **
**              TYPE OF SOLUTION: ULTRA-RAPID                  **
=====

=====
CONTENTS:
=====
    1. General Information
    2. List of Rinex Files
    3. Stations & Satellites Deleted
    4. Clock Synchronization Short Summary
    5. Phase Pre-Processing Statistics
    6. Float Solution Short Summary
    7. Ambiguity Resolution Results
    8. Ambiguity-Fixed Solution Statistics
    9. List of Saved Files
   10. Time & Network Information

=====
1. GENERAL INFORMATION
=====
Date Run      : XX-XXX-2013   at 12:23
Run By       : bpe@vincenty
System      : UNIX LINUX
             : Linux 2.6.32-45-server
Script run   : topcon.final.sh
Campaign     : TOPCON
Last Update  : XXX-2012
Last GEN Upd : XXX-2013
Command used :
Purpose      : processing of URANUS network of cGPS stations placed
in
              Greece. A detailed summary of the processing can be
              found in xxxxxxxxxxxx/uranus.ntua.proc.
Day Processed : 2013 012
              gpsweek=1722, day of week=6
              month=01,   day of month=12
Log file      :
Saved at      : /media/Seagate/solutions/2013/XXX/2013/XXX on this
              system
Product identifier: F[FPR]U130120.XXX
Contact      : danast AT mail.ntua.gr
              xanthos AT mail.ntua.gr

=====
2. LIST OF RINEX FILES
=====
Total number of Rinex files used: 84
A/A Filename
*** *****
001 AGNI0120.130

Εικόνα 2.6: Κεφαλίδα έκθεσης ημερήσιας επεξεργασίας του δικτύου URANUS

```

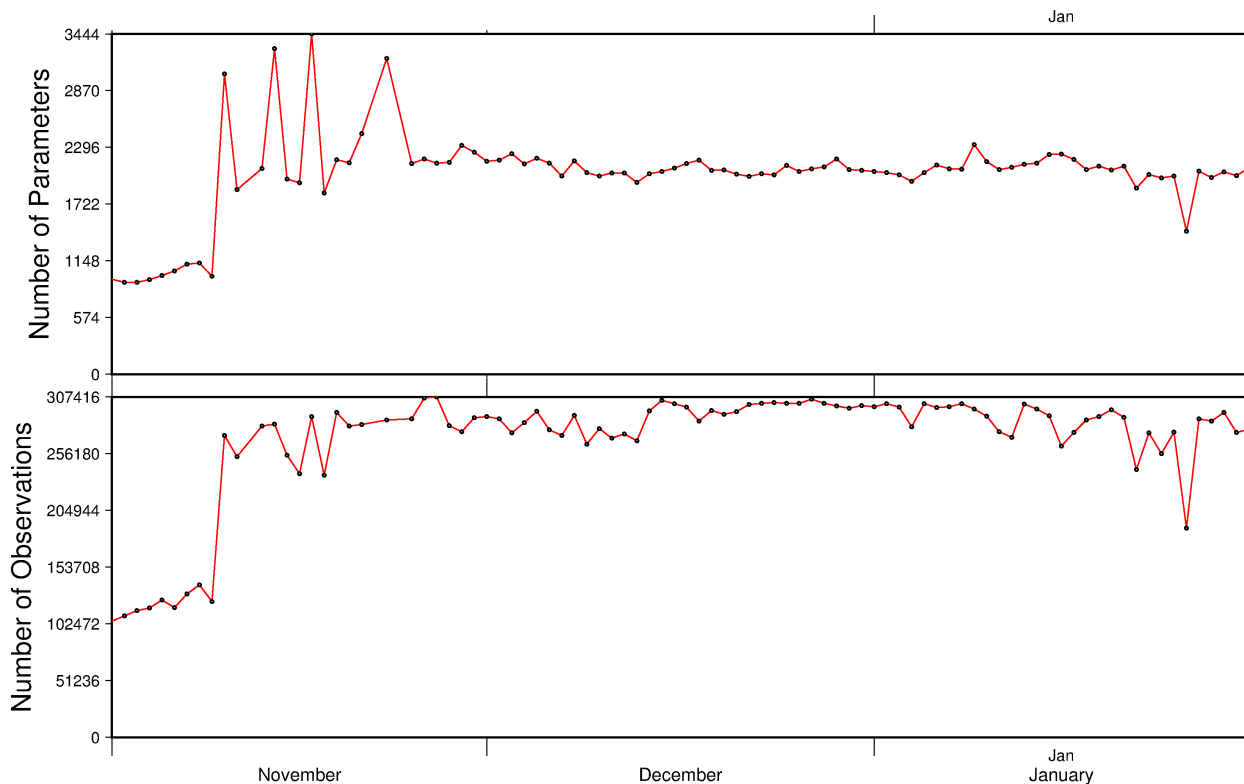
Στα επόμενα κεφάλαια (2.3.1 και 2.3.2) παρουσιάζονται ενδεικτικά τα παραγόμενα προϊόντα από κάθε επίλυση (ultra-rapid και final):

2.3.1 Ultra-rapid Επίλυση

Μερικές ώρες μετά το πέρας της ημέρας ενδιαφέροντος, γίνεται μία πρώτη επίλυση των δεδομένων του δικτύου χρησιμοποιώντας τα ultra-rapid προϊόντα της διεθνούς υπηρεσίας IGS. Τα αποτελέσματα της επίλυσης δεν παρουσιάζονται, αλλά κρατούνται στο Κέντρο όπου και αναλύονται για εξεύρεση τυχόν σφαλμάτων ή/και απρόοπτων φαινομένων. Τα αποτελέσματα της επίλυσης αυτής, χρησιμεύουν ως αρχικές συνθήκες για την τελική επίλυση (βλέπε παρακάτω) ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ακρίβεια και συνοχή. Τα παραγόμενα προϊόντα που αρχειοθετούνται και χρησιμοποιούνται στη τελική επίλυση είναι:

- αρχείο συντεταγμένων
- ιονοσφαιρικοί χάρτες και
- αρχείο κανονικών εξισώσεων

Number of Parameters and Observations for Network uranus



Εικόνα 2.7: Στατιστικά στοιχεία της επεξεργασίας του δικτύου

2.3.2 Final Επίλυση

Είκοσι ημέρες μετά το πέρας της ημέρας ενδιαφέροντος, γίνεται η τελική επίλυση, με χρήση των τελικών (μέγιστης ακρίβειας) προϊόντων της διεθνούς υπηρεσίας IGS. Η συνόρθωση του δικτύου,

γίνεται αρχικά στο τρέχον διεθνές Σύστημα Αναφοράς (για την εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής συνοχής/ακρίβειας), ενώ υπάρχει και η δυνατότητα συνόρθωσης ή/και μετασχηματισμού σε άλλο Σύστημα Αναφοράς. Τα παραγόμενα προϊόντα της τελικής επίλυσης είναι:

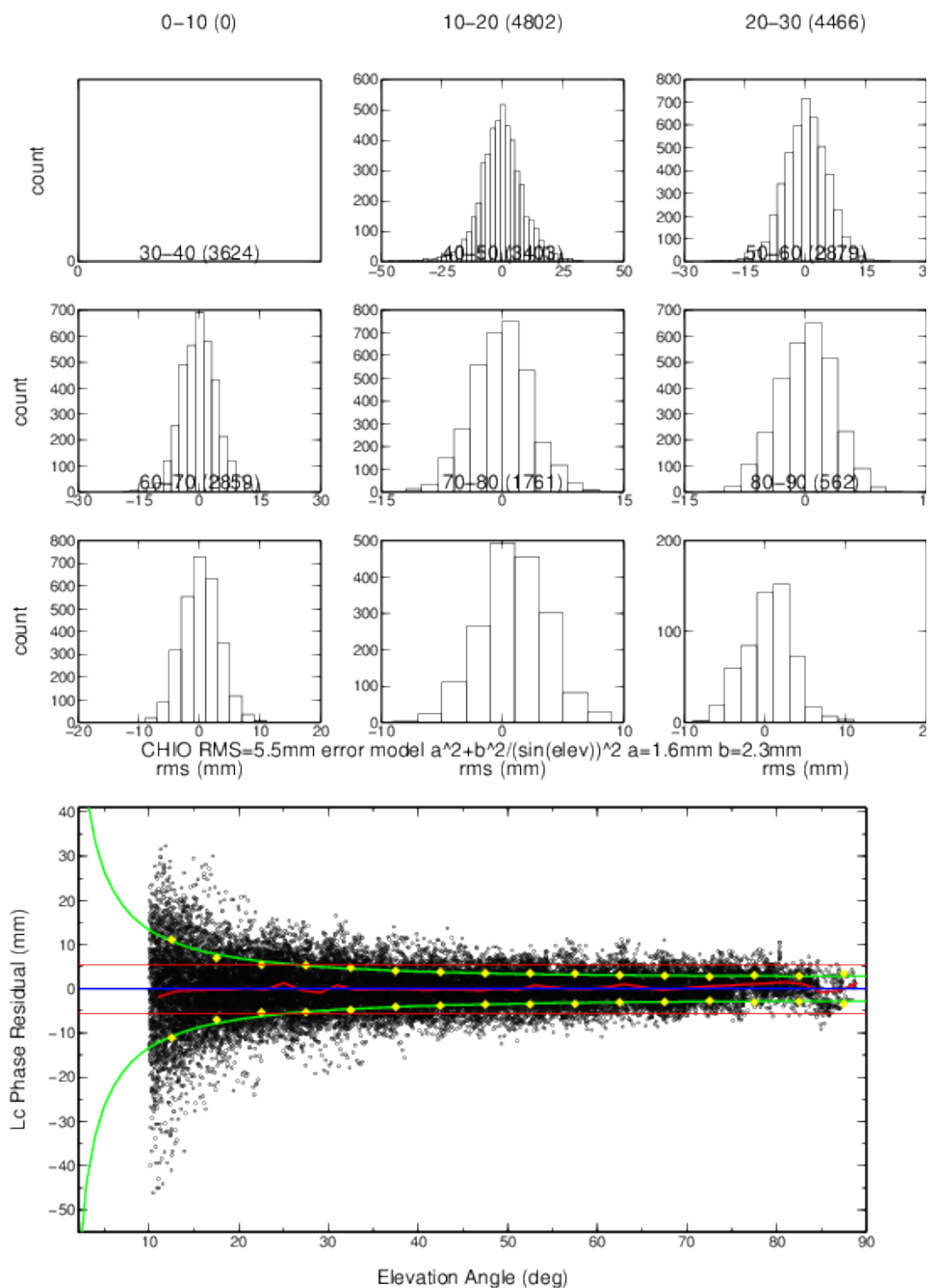
- αρχείο συντεταγμένων
- ιονοσφαιρικοί χάρτες
- αρχείο κανονικών εξισώσεων
- αρχείο τροποσφαιρικών διορθώσεων (Zenith Path Delay)
- αρχεία τύπου SINEX [14].

2.4 Ποιοτικός Έλεγχος

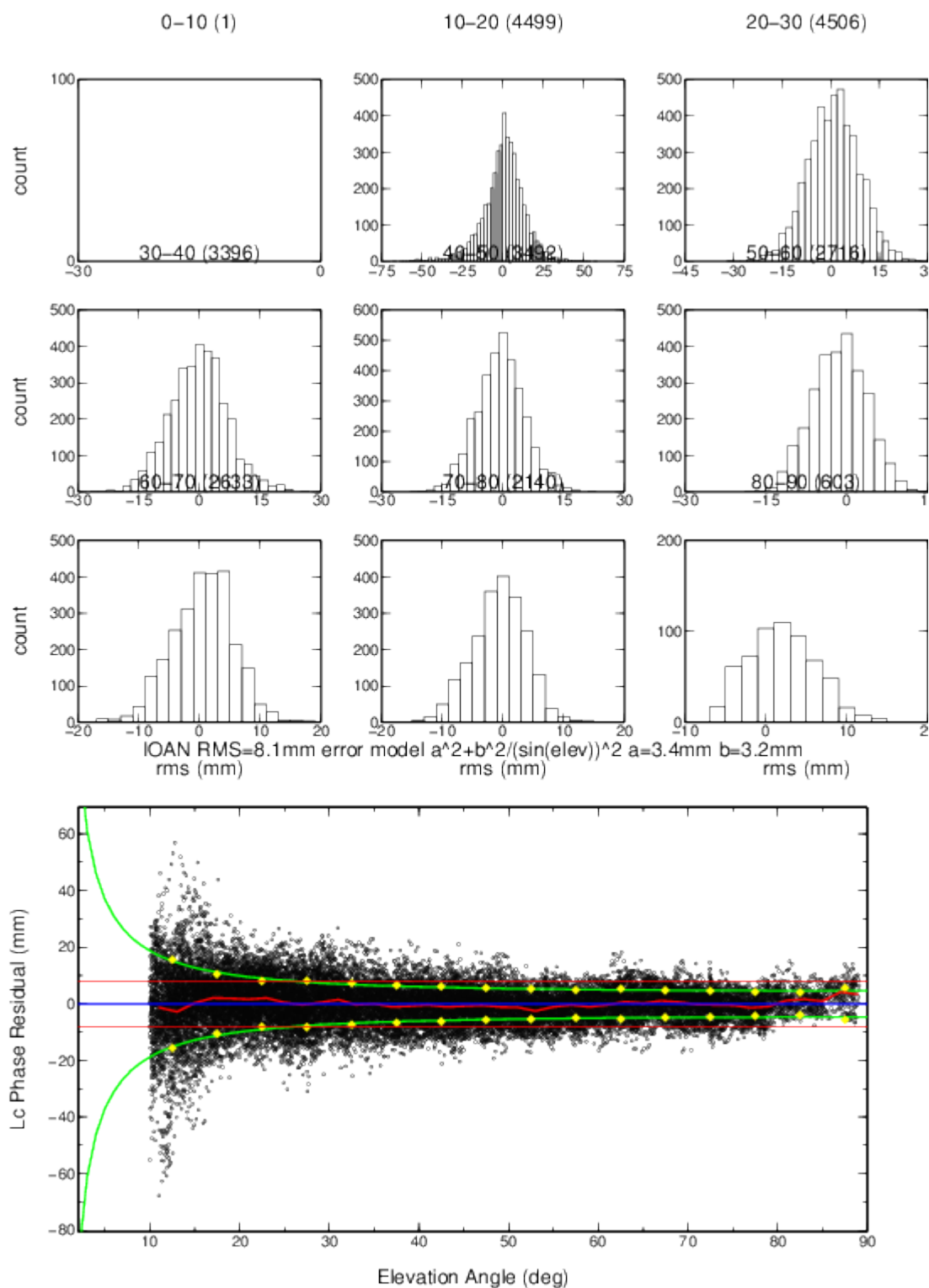
Για τον ποιοτικό έλεγχο του δικτύου, γίνεται περαιτέρω επεξεργασία κάθε σταθμού ξεχωριστά, ώστε να ανιχνευθούν τυχόν προβλήματα ή/και μειονεκτήματα. Αυτά μπορεί να οφείλονται τόσο στον ίδιο το σταθμό (π.χ. firmware), όσο και στο φυσικό περιβάλλον (π.χ. πολυανάκλαση).

Η επεξεργασία γίνεται με τη μέθοδο του απόλυτου προσδιορισμού, όπου χρησιμοποιούνται όλες οι παρατηρήσεις ενός δέκτη (κώδικας και φάση) για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την συμπεριφορά του.

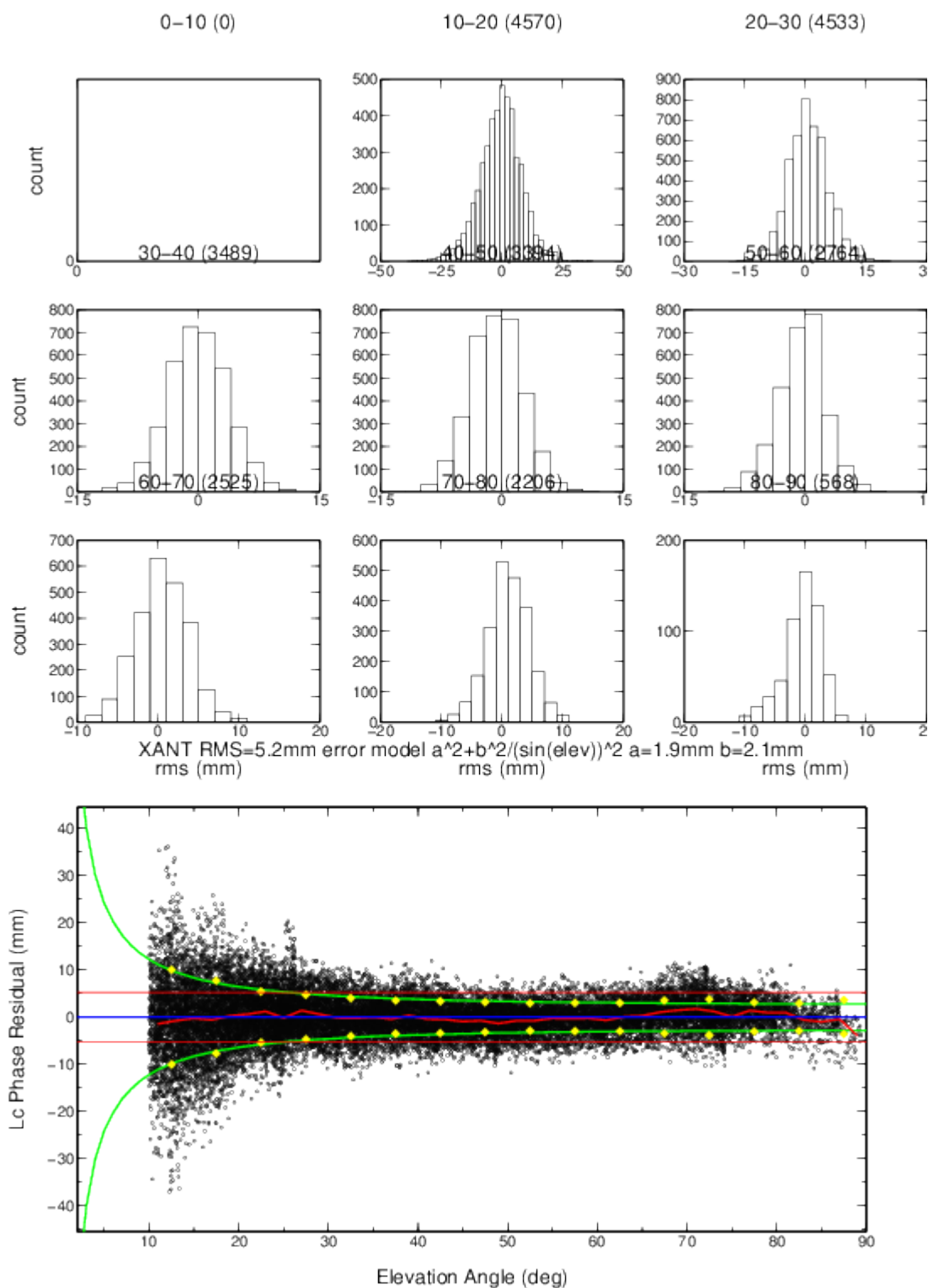
Με την μέθοδο αυτή, γίνεται ανάλυση των παρατηρήσεων και εκτιμώνται τόσο τα σφάλματα του χρονομέτρου του δέκτη όσο και τα διαφορικά σφάλματα κώδικα. Επιπροσθέτως, υπολογίζονται οι αποκλίσεις για κάθε παρατήρηση προς κάθε δορυφόρο και συσχετίζονται με την κατακόρυφη γωνία και το αζιμούθιο παρατήρησης.



Εικόνα 2.8: Ανάλυση υπολοίπων για το σταθμό CHIO

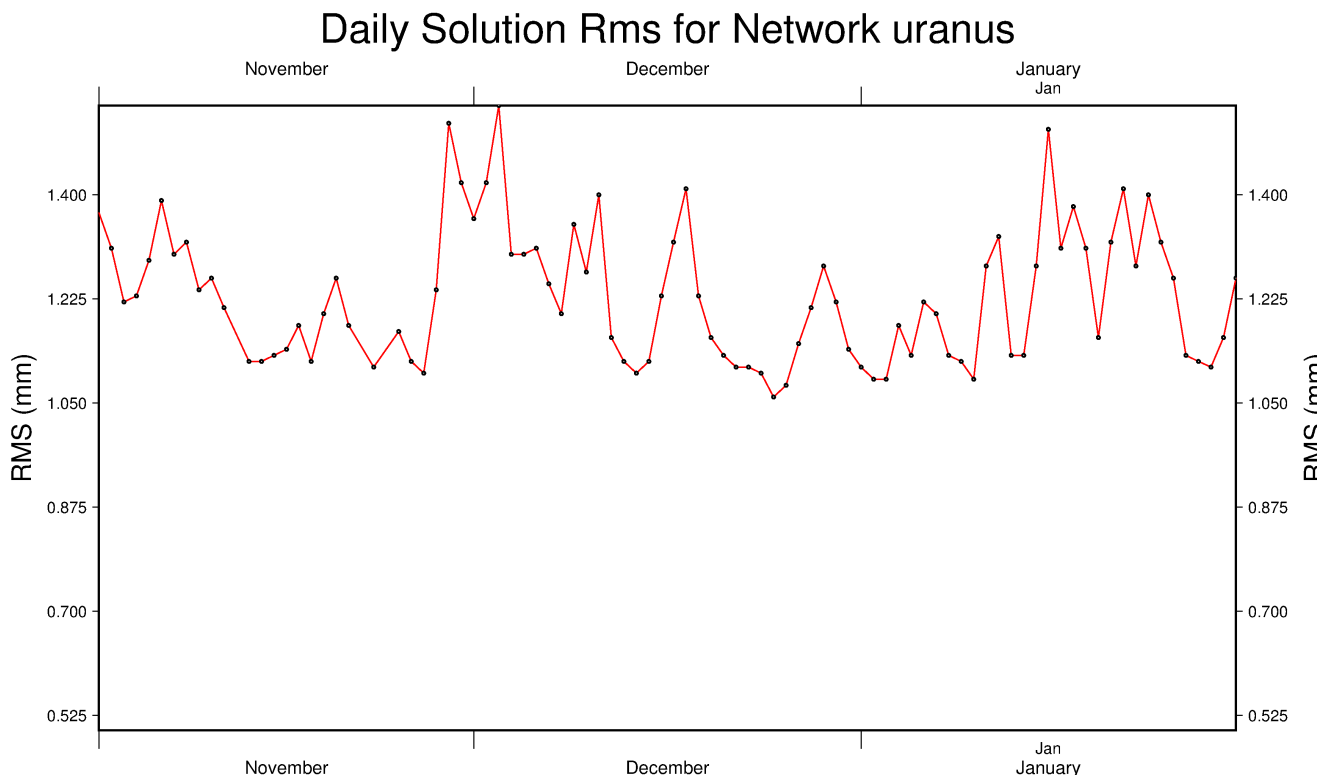


Εικόνα 2.9: Εικόνα 2.8: Ανάλυση υπολοίπων για το σταθμό IOAN



Εικόνα 2.10: Εικόνα 2.8: Ανάλυση υπολοίπων για το σταθμό XANT

Επίσης για την αξιολόγηση και τον έλεγχο της επίλυσης του δικτύου γίνεται η παρακολούθηση της επίλυσης των ασαφειών φάσης για κάθε μέρα επίλυσης καθώς και το μέσο ημερήσιο rms (μέσο τετραγωνικό σφάλμα). Όπως παρουσιάζονται στα διαγράμματα Εικόνα 2.5 και Εικόνα 2.11, το μέσο ποσοστό επίλυσης των ασαφειών φάσης για κάθε μέρα είναι της τάξης του 94% (Κεφ. 2.2.2), ενώ το μέσο ημερήσιο rms για κάθε επίλυση κυμαίνεται από 1 έως 1.50 mm.



Εικόνα 2.11: Ημερήσιο σφάλμα συνόρθωσης (RMS) του δικτύου

3 Χρονοσειρές Θέσης

3.1 Διαδικασία Παραγωγής Χρονοσειρών

Οι εκτιμήσεις των παραμέτρων θέσης που προκύπτουν από το σχήμα επεξεργασίας (2.1), χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χρονοσειρών θέσης των σταθμών του δικτύου. Οι χρονοσειρές που ανανεώνονται σε ημερήσια βάση με τα τελευταία αποτελέσματα, αποτελούν κρίσιμο σημείο για τον ποιοτικό έλεγχο τόσο συνολικά του δικτύου, όσο και της επιμέρους συμπεριφοράς κάθε σταθμού.

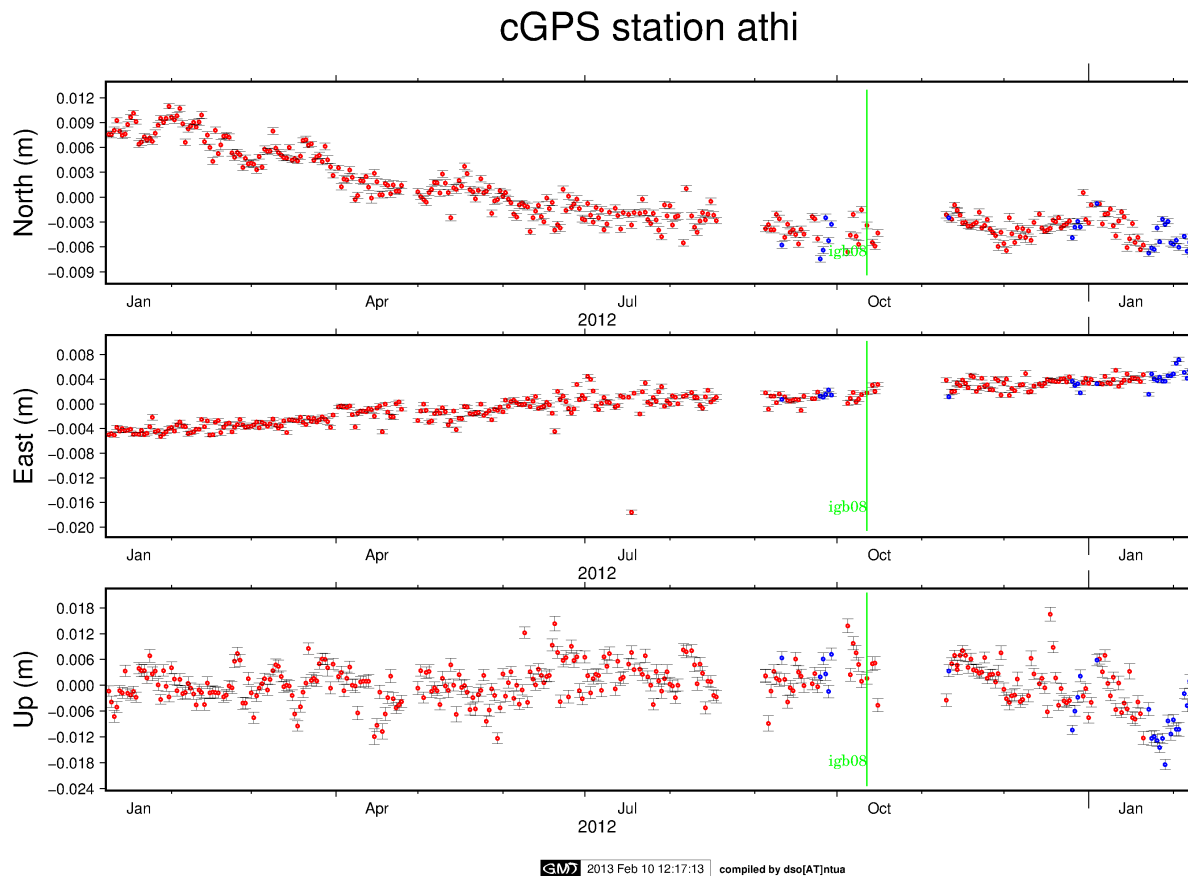
Η παραγωγή των χρονοσειρών έπεται χρονικά της επεξεργασίας όπως παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2. Στην διαδικασία συμμετέχουν τα αποτελέσματα της final επίλυσης (2.3.2) από την αρχή λειτουργίας

του σταθμού, καθώς επίσης και αυτά της ultra-rapid (2.3.1) με χρονική καθυστέρηση μικρότερη των 20 ημερών. Η χρήση των ultra-rapid αποτελεσμάτων, κρίνεται σκόπιμη για την άμεση πρόληψη, διάγνωση και αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.

Επιπροσθέτως, οι χρονοσειρές θέσης αποτελούν το πλέον κατάλληλο μέσο για την εκτίμηση τεκτονικών ταχυτήτων, παράμετροι οι οποίες επιτρέπουν την ακριβή ένταξη του δικτύου σε άλλα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς.

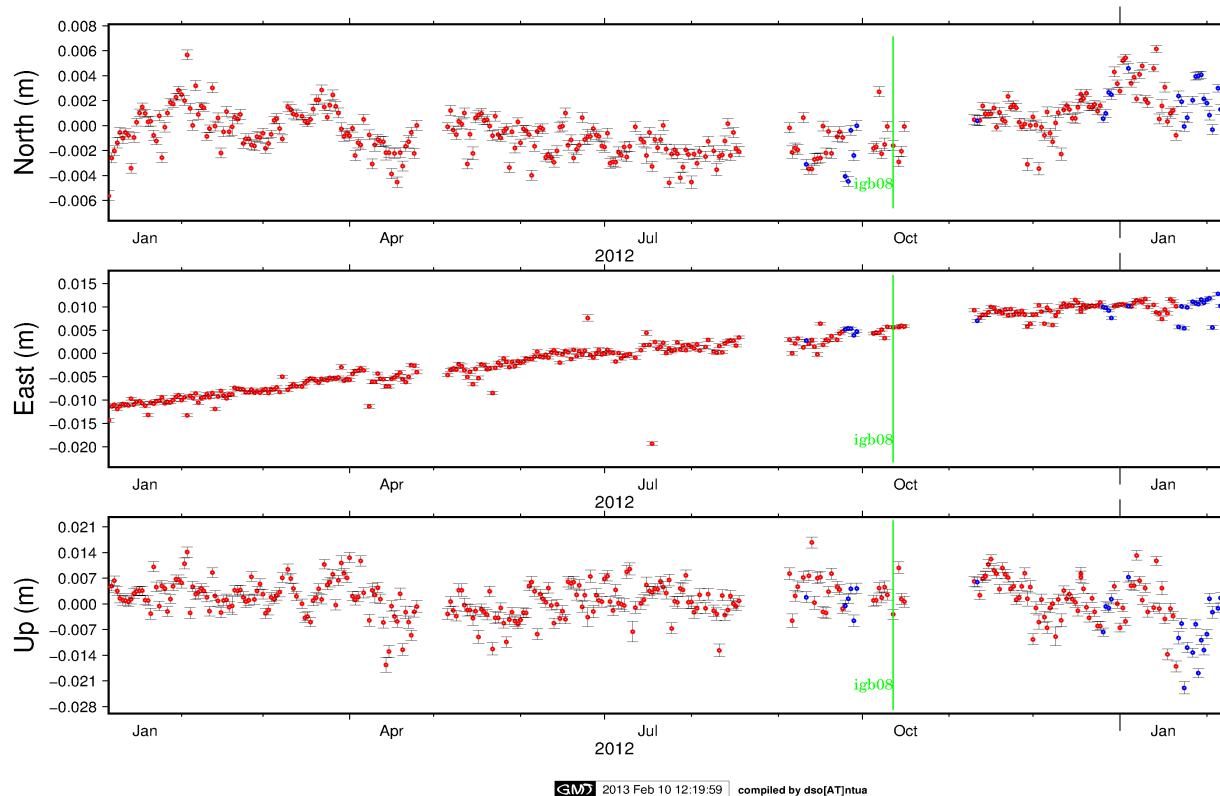
Οι χρονοσειρές θέσης σχηματίζονται για κάθε σταθμό ξεχωριστά, σε τοποκεντρικό σύστημα, μετά από επεξεργασία των εκτιμήσεων συντεταγμένων και των αντίστοιχων μέτρων ακριβείας (τυπικά σφάλματα).

Στις εικόνες 3.1 έως 3.4, παρουσιάζονται ενδεικτικά οι χρονοσειρές θέσης για τέσσερις από τους σταθμούς του δικτύου, για το χρονικό διάστημα από τον Ιανουάριο του 2012 έως και τον Ιανουάριο του 2013. Με μπλε χρώμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ultra-rapid επίλυσης των τελευταίων 20 ημερών ενώ με κόκκινο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της final λύσης.



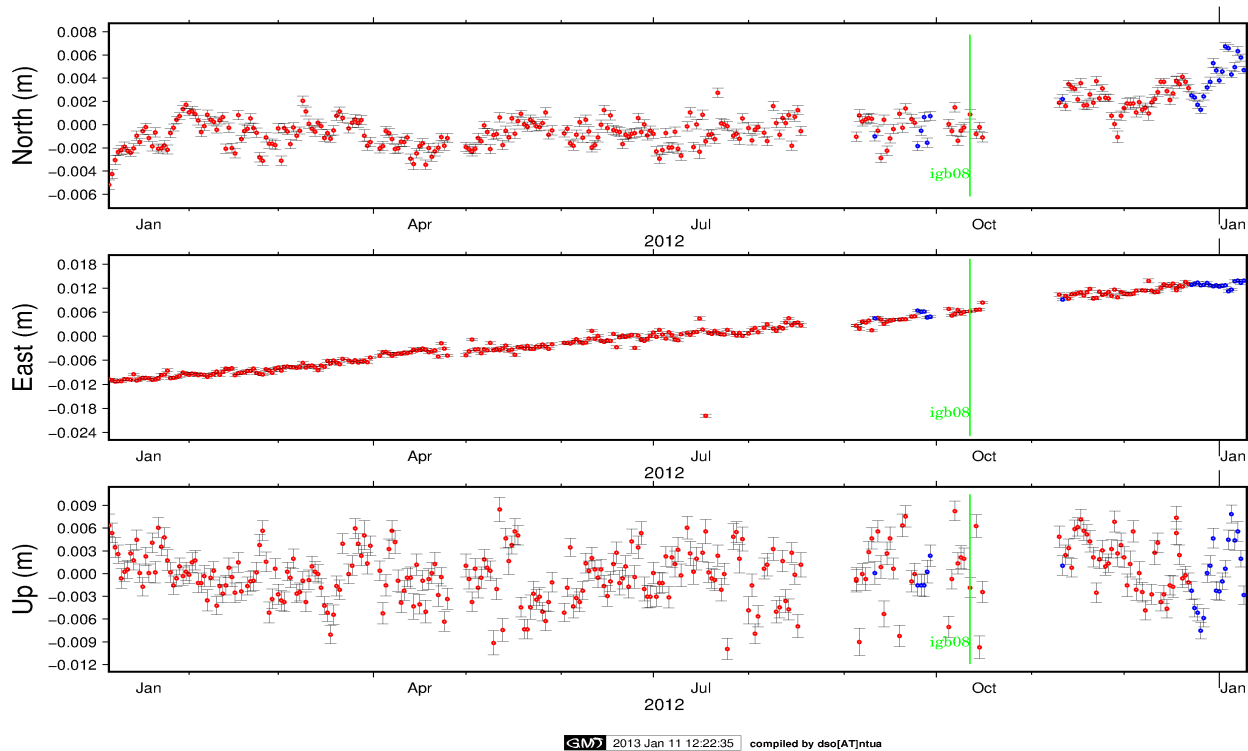
Εικόνα 3.1: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό ΑΤΗΙ

cGPS station leuk



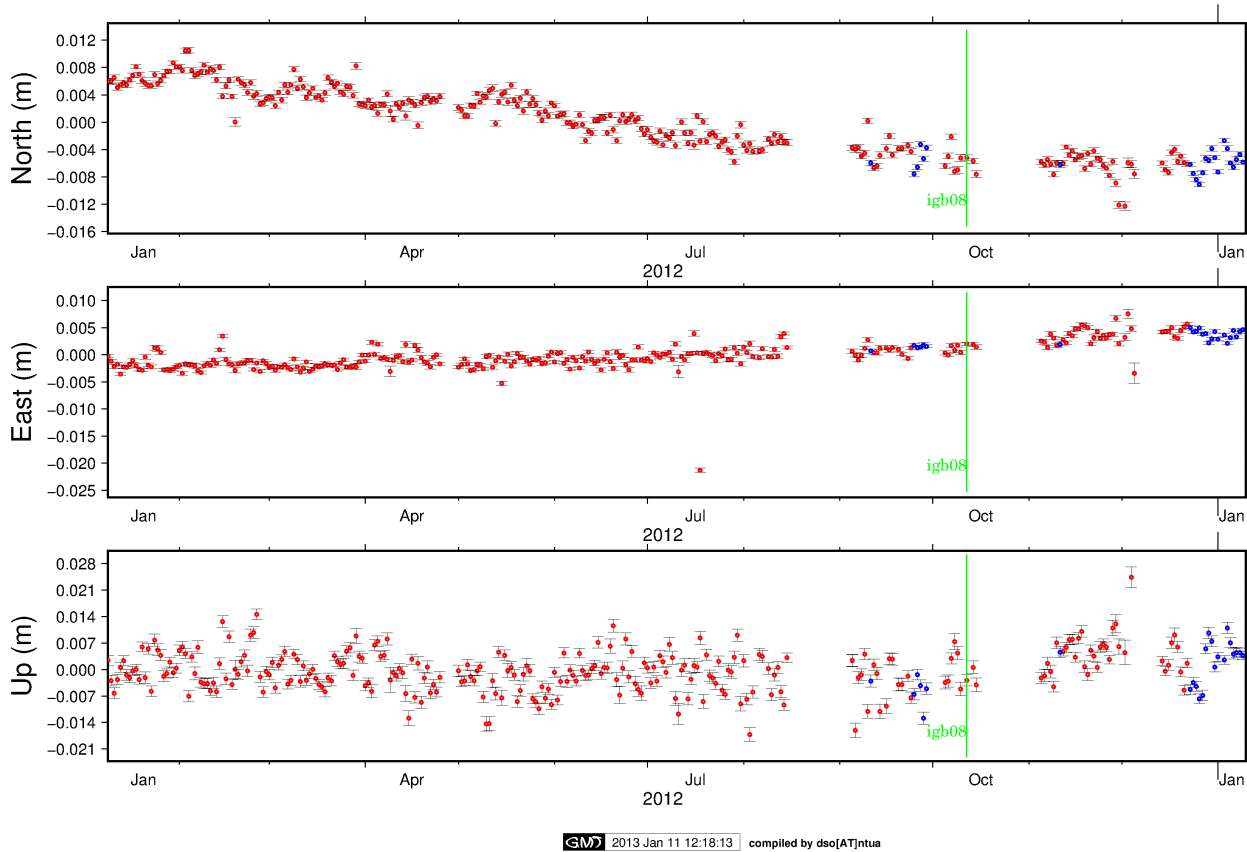
Εικόνα 3.2: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό LEUK

cGPS station thes



Εικόνα 3.3: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό THES

cGPS station hrak



Εικόνα 3.4: Χρονοσειρά θέσης για το σταθμό HRAK

4 Ένταξη στο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς HTRS07

4.1 Το ΓΣΑ HTRS07

Το HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007) είναι η υλοποίηση του ETRS89 την εποχή 2007.5. Η υλοποίησή του γίνεται με τις συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς του δικτύου HEPOS. Οι συντεταγμένες του HTRS07 είναι εκφρασμένες στο ETRF2005 το οποίο ήταν το τρέχον πλαίσιο την εποχή υλοποίησης του συστήματος [9]. Το HTRS είναι ένα στατικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, δηλαδή δεν συμπεριλαμβάνονται ταχύτητες των σταθμών αναφοράς ώστε οι συντεταγμένες να μεταφέρονται στην εποχή που γίνεται κάθε εργασία όπως γίνεται με τα σύγχρονα διεθνή γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς.

Για την υλοποίηση του HTRS07 χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός του δικτύου EUREF AUT1 ως σταθερός σταθμός την εποχή 2007.5. Ως προβολή χρησιμοποιήθηκε η Εγκάρσια Μερκατορική με μια ζώνη για όλη την Ελλάδα με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=24^\circ$ και ξεχωριστά η περιοχή του Καστελόριζου με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0=30^\circ$. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι παράμετροι μετασχηματισμού από το HTRS07 στο επίσημο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) [8]. Οι παράμετροι αυτές είναι που χρησιμοποιούνται πλέον από το εμπορικό πακέτο της εταιρείας για τον μετασχηματισμό

μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87.

4.2 Διαδικασία Ένταξης του URANUS στο HTRS07

Για την ένταξη του δικτύου URANUS στο σύστημα αναφοράς HTRS07, έγινε επεξεργασία των συστημάτων κανονικών εξισώσεων που προέκυψαν από τις επιλύσεις των ημερών 21^η Δεκεμβρίου 2012 έως και την 08^η Ιανουαρίου 2013. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τις ημέρες μετά την 23^η Δεκεμβρίου 2012, τα αποτελέσματα (κανονικές εξισώσεις) που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτά που προέκυψαν από την ultra-rapid επίλυση, ενώ για το προηγούμενο διάστημα ήταν διαθέσιμες οι final επιλύσεις.

Η διαδικασία υπολογισμού συντεταγμένων του δικτύου URANUS στο σύστημα HTRS07, αποτελείται από δύο διαδοχικά βήματα: (α) συνόρθωση του δικτύου για την εκτίμηση συντεταγμένων σε ένα “χρονικά μετατεθειμένο” HTRS07, (β) αναγωγή των συντεταγμένων που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα στην εποχή αναφοράς του HTRS07, δηλαδή το 2007.5. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι επιμέρους ενέργειες που έλαβαν χώρα για κάθε ένα από τα δύο βήματα.

Τα συστήματα των κανονικών εξισώσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω, συνορθώθηκαν συνολικά, κρατώντας σταθερές τις συνταγμένες του σταθμού AUT1 στο σύστημα αναφοράς ETRF2005 την εποχή 2007.5. Με τη διαδικασία αυτή (που προσομοιάζει όσο το δυνατόν καλύτερα την αρχική διαδικασία συνόρθωσης του HTRS07), προέκυψαν οι συντεταγμένες του δικτύου URANUS σε ένα “χρονικά μετατεθειμένο” σύστημα σε σχέση με το HTRS07, που όμως πρέπει να αναχθεί λόγω των τεκτονικών μετατοπίσεων στο διάστημα 2007.5 από την εποχή της συνόρθωσης⁴. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα τυπικά σφάλματα των ημερήσιων αποκλίσεων όπως προέκυψαν από τη διαδικασία της συνόρθωσης.

⁴ Στην πραγματικότητα, οι τεκτονικές ταχύτητες που χρησιμοποιούνται για την αναγωγή είναι υπολογισμένες ως προς τον σταθμό AUT1.

station	dn (mm)	de (mm)	du (mm)	station	dn (mm)	de (mm)	du (mm)
agni	1.56	1.01	5.37	lero	1.39	1.30	3.60
agri	0.69	0.75	1.97	lesv	1.01	1.00	3.92
agth	0.95	1.04	2.86	leuk	0.96	0.69	3.42
aigi	0.44	0.66	2.46	lima	1.46	1.06	4.39
alxn	0.68	0.44	2.48	limn	0.83	1.32	3.82
amal	0.68	0.87	3.27	mala	1.61	1.62	3.61
argo	0.89	0.73	2.73	moir	1.70	1.24	6.21
arta	0.61	0.86	2.60	mola	1.52	1.29	3.03
athi	1.11	0.65	2.60	murt	2.20	1.28	10.17
chan	0.92	0.74	3.07	naxo	0.98	0.87	3.47
chio	0.88	0.76	2.82	ncsi	0.95	1.47	5.68
corf	1.52	0.78	4.68	nppli	1.80	1.58	5.47
dram	0.65	0.71	3.31	ores	0.60	0.75	3.42
fars	0.81	0.85	2.23	orop	1.56	0.97	5.93
fren	1.11	1.49	5.22	pala	1.86	1.61	4.40
garg	0.85	0.82	2.88	paro	0.93	0.92	3.30
grev	0.87	1.05	4.38	patr	0.78	1.60	4.18
hgou	1.04	1.04	3.29	pirg	0.88	1.09	3.73
hrak	1.43	0.98	5.31	plgr	0.80	1.10	2.67
ieri	1.19	0.52	3.02	reth	1.15	0.76	3.60
ikar	2.69	1.84	5.69	rodo	1.11	1.26	5.34
ioan	1.29	1.03	2.59	sam2	2.12	1.47	4.04
itea	0.80	0.87	2.13	serr	1.29	0.44	2.41
kard	0.58	0.79	3.20	sifn	0.89	1.16	4.01
karp	1.10	2.63	5.44	skoe	1.35	1.21	2.96
kary	2.14	1.27	4.75	spar	0.97	0.84	2.51
kat0	0.65	0.83	3.05	thes	0.73	0.66	2.42
kate	0.48	0.58	3.71	thiv	1.00	0.71	2.61
kefa	0.81	1.14	3.61	tin0	1.38	1.05	5.16
kiat	0.49	0.73	3.19	trip	1.43	1.15	5.41
komo	0.93	0.44	4.75	trop	1.22	1.14	3.68
koza	0.63	0.60	3.72	vol0	0.62	0.72	2.92
krta	1.13	0.97	3.68	xant	0.81	0.90	1.89
lami	0.70	0.72	2.32	lari	0.54	0.61	3.28
MEAN				1.08	1.00	3.75	

Πίνακας 4.1: Τυπικό σφάλμα επαναληπτικότητας για τους σταθμούς του δικτύου

Ο λόγος που είναι απαραίτητη αυτή η αναγωγή είναι το ότι το HTRS07 είναι ένα στατικό σύστημα με συντεταγμένες “πακτωμένες” την εποχή 2007.5. Η γεωγραφική θέση ενός σημείου όμως, είναι δυναμικό μέγεθος, που μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Έτσι, είναι απαραίτητη η αναγωγή των συντεταγμένων των σταθμών του δικτύου από την εποχή της συνόρθωσης στην εποχή αναφοράς του HTRS07.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε από το ΚΔΔ πλήθος τεκτονικών ταχυτήτων, που καλύπτουν όλο το εύρος του ελλαδικού χώρου, με σκοπό την δημιουργία ενός καννάβου ταχυτήτων. Με παρεμβολή

στον κάνναβο αυτό, εκτιμήθηκαν οι ταχύτητες για κάθε έναν από τους σταθμούς του δικτύου URANUS. Τα δεδομένα που λήφθηκαν υπ' όψιν στην διαδικασία, προέρχονται από ανάλυση του ΚΔΔ άλλων (δορυφορικών και μη) γεωδαιτικών δικτύων καθώς επίσης και δημοσιευμένες εργασίες (Κεφ. 4.3).

4.3 Εκτίμηση πεδίου ταχυτήτων

Για την εκτίμηση του πεδίου ταχυτήτων χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δεδομένα τεκτονικών ταχυτήτων από 140 σταθμούς είτε μόνιμους είτε περιοδικών μετρήσεων. Από αυτούς οι 44 είναι μόνιμοι σταθμοί που συμμετέχουν στην αυτόματη επεξεργασία που γίνεται στο ΚΔΔ και έχουν δεδομένα από 5 έως 12 χρόνια [ενδεικτικά 17, 18 και 15].

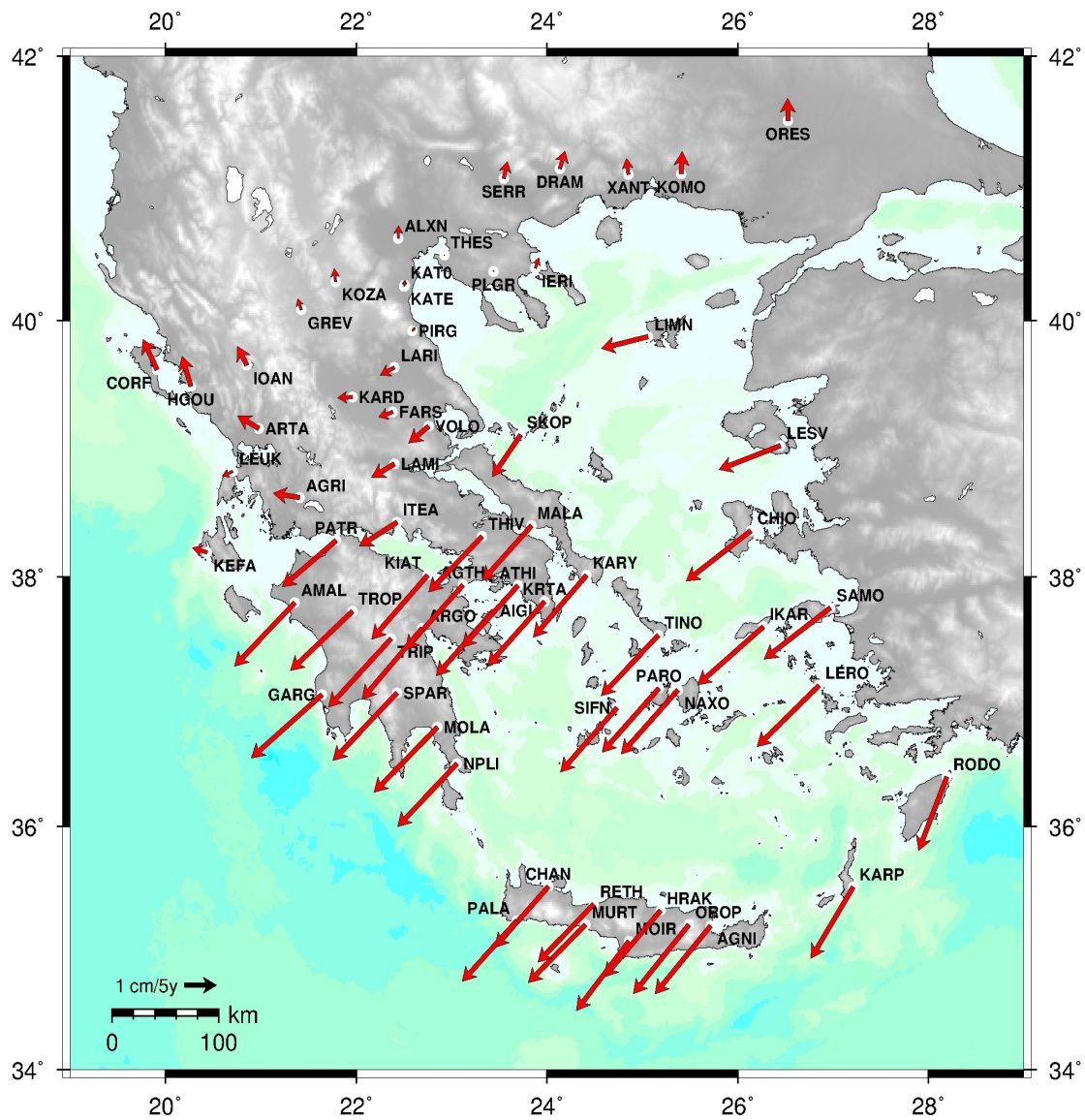
Ο κάνναβος που δημιουργήθηκε έχει εύρος από 17° έως 34° γεωγραφικό μήκος και από 34° έως 44° γεωγραφικό πλάτος με βήμα 0.05° με στόχο να καλύπτεται όλη η περιοχή της Ελλάδας.

Για την αξιολόγηση της παρεμβολής έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των σταθμών που συμμετέχουν στο δίκτυο EPN με τις επίσημες τιμές των ταχυτήτων που δημοσιεύονται από τη EUREF. Οι διαφορές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 είναι της τάξης 0.5mm/y εκτός του σταθμού PAT0 που φτάνει στα 2mm/y.

code	solution	Vn (mm/y)	Ve (mm/y)	Vu (mm/y)
AUT1	NTUA	6.3	24.6	-1.3
	EUREF	6.4	24.8	-1.8
DUTH	NTUA	11.1	23.8	-0.2
	EUREF	11.5	24.2	0.2
NOA1	NTUA	-11.4	7.6	0.9
	EUREF	-11.4	7.3	1.1
PAT0	NTUA	-7.7	7.7	1.9
	EUREF	-10.0	5.5	1.1
TUC2	NTUA	-11.8	8.0	-0.2
	EUREF	-12.0	7.9	-0.1

Πίνακας 4.2: Σύγκριση ταχυτήτων δημοσιευμένων από τη EUREF με αυτές που προκύπτουν από την παρεμβολή

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται οι τεκτονικές ταχύτητες των σταθμών όπως υπολογίστηκαν ως προς σταθερό τον AUT1.



GM 2013 Feb 01 11:30:31 DSO-HGL/NTUA

Εικόνα 4.1: Πεδίο ταχυτήτων για το δίκτυο URANUS ως προς τον σταθμό AUT1

4.4 Προβλήματα και Μελλοντικές Βελτιώσεις

Ο περιορισμένος χρόνος παρακολούθησης του δικτύου, καθιστά απαγορευτική την εκτίμηση τεκτονικών ταχυτήτων για τους σταθμούς του URANUS. Για τον λόγο αυτό, για την παρέκταση των θέσεων των σταθμών την εποχή 2007.5, χρησιμοποιήθηκαν ταχύτητες υπολογισμένες από παρεμβολή (Κεφ. 4.3), χρησιμοποιώντας έναν κάνναβο ταχυτήτων που καλύπτει όλη την Ελλάδα. Το γεγονός αυτό, δύναται να επηρεάσει την ακρίβεια των τελικών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07, καθώς τα σφάλματα της παρεμβολής ειπηρεάζονται στον υπολογισμό των τελικών συντεταγμένων (στο αναφερθέν σύστημα). Η αποχή των πραγματικών ταχυτήτων από αυτές που υπολογίστηκαν (από την παρεμβολή), είναι ένα πολυπαραμετρικό μέγεθος που διαφέρει από σταθμό σε σταθμό και εξαρτάται τόσο από τοπικούς παράγοντες (π.χ. παρουσία ασυνεχειών στην περιοχή), όσο και από την ποιότητα και την πληρότητα του χρησιμοποιηθέντος καννάβου. Για να αντιμετωπιστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση του δικτύου, ώστε με τον χρόνο, να εκτιμηθούν τοπικά οι τεκτονικές ταχύτητες για κάθε σταθμό.

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί, ότι στην συνόρθωση του δικτύου για τον υπολογισμό συντεταγμένων στο HTRS07, έγινε χρήση και επιλύσεων που έχουν παραχθεί με την ultra-rapid επεξεργασία. Παρ' όλη την υστέρησή της σε ακρίβεια σε σχέση με την final επίλυση, λόγω της γεωμετρίας και της πυκνότητας του δικτύου (βάσεις μικρού μήκους), η ποιότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτει από τις δύο μεθοδολογίες δεν διαφέρει σημαντικά.

Τέλος, ο κυριότερος παράγοντας αρνητικής επίδρασης στον υπολογισμό συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07, είναι η ίδια η στατικότητα του συγκεκριμένου συστήματος. Σε μία περιοχή όπως η Ελλάδα, όπου κυριαρχούν σημαντικές και ανομοιογενείς τεκτονικές ταχύτητες, η απαίτηση αναγωγής των θέσεων (και παρατηρούμενων μεγεθών) στο παρελθόν (2007.5) προκαλεί μοιραία υποβάθμιση της τελικής ακρίβειας.

5 Υπολογισμός υψομέτρων

Βασικό ζήτημα σε ένα δίκτυο GNSS είναι ο υπολογισμός των “ορθομετρικών” υψομέτρων καθώς αυτά είναι που χρησιμοποιούνται ευρέως στα τεχνικά προβλήματα που καλείται να λύσει ένα τέτοιο δίκτυο. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη μια καλή προσέγγιση/μοντέλο των υψομέτρων του γεωειδούς.

Από την Tree Company CO A.E.B.E. τέθηκε στη διάθεση του εργαστηρίου το μοντέλο γεωειδούς (κάνναβος) για την περιοχή της Ελλάδας το οποίο θα χρησιμοποιεί η ίδια εταιρεία στον υπολογισμό των ορθομετρικών υψομέτρων με σκοπό την αξιολόγησή του.

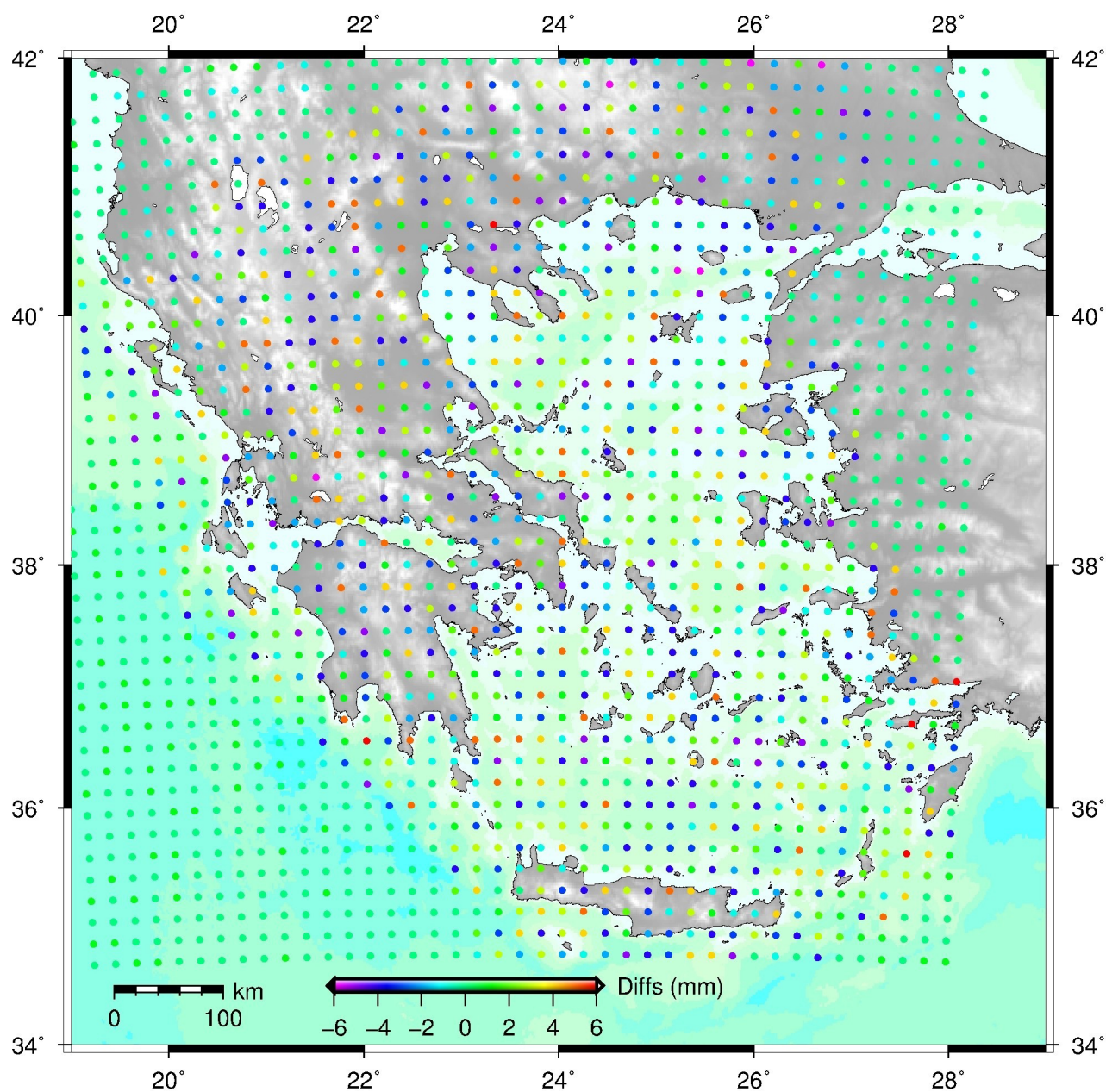
Για την αξιολόγηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν 51 σταθμοί του δικτύου για τους οποίους υπολογίστηκαν τα υψόμετρα γεωειδούς και με βάση τον κάνναβο της Tree Company CO A.E.B.E. καθώς και με το αντίστοιχο πρόγραμμα Hepos Transform Tools (HeposTT) το οποίο διανέμεται δωρεάν από τον ιστότοπο του Hepos (<http://www.hepos.gr/>).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. Οι διαφορές μεταξύ των δύο μοντέλων κυμαίνονται από -4 έως +5 mm. Οι διαφορές που παρουσιάζονται είναι πολύ μικρές ειδικά αν ληφθεί υπ όψη ότι αναφέρονται σε υψόμετρα γεωειδούς.

code	lat	lon	TreeComp N	HeposTT N	Diffs N
AGNI	35.192	25.718	2.617	2.619	0.002
AGRI	38.623	21.408	-0.142	-0.142	0.000
AGTH	37.939	23.123	8.947	8.946	-0.001
AIGI	37.734	23.440	9.920	9.919	-0.001
AMAL	37.796	21.355	1.403	1.402	-0.001
ARGO	37.594	22.693	8.586	8.585	-0.001
ARTA	39.164	20.983	-0.202	-0.204	-0.002
ATHI	37.935	23.699	10.002	9.999	-0.003
CHAN	35.511	24.018	6.130	6.130	0.000
CHIO	38.365	26.142	3.697	3.700	0.003
CORF	39.619	19.915	1.839	1.835	-0.004
FARS	39.296	22.384	3.514	3.511	-0.003
HRAK	35.314	25.191	6.077	6.074	-0.003
IKAR	37.605	26.273	5.641	5.641	0.000
IOAN	39.655	20.854	1.246	1.243	-0.003
ITEA	38.434	22.427	5.300	5.301	0.001
KARD	39.409	21.960	1.837	1.833	-0.004
KARY	38.016	24.419	9.466	9.470	0.004
KATE	40.265	22.504	2.681	2.681	0.000
KEFA	38.196	20.438	2.595	2.598	0.003
KIAT	38.014	22.750	7.294	7.292	-0.002
KOMO	41.120	25.409	-6.400	-6.401	-0.001
KOZA	40.299	21.785	4.328	4.327	-0.001
KRTA	37.806	23.979	10.514	10.512	-0.002
LAMI	38.890	22.403	4.501	4.499	-0.002
LARI	39.637	22.400	3.271	3.271	0.000
LESV	39.031	26.449	0.182	0.180	-0.002
LEUK	38.830	20.708	-0.100	-0.100	0.000
LIMN	39.875	25.061	-0.400	-0.399	0.001
MALA	38.408	23.838	8.513	8.513	0.000
MOIR	35.064	24.864	5.105	5.104	-0.001
MOLA	36.805	22.852	7.630	7.633	0.003
MURT	35.199	24.403	5.490	5.492	0.002
NAXO	37.102	25.377	10.270	10.270	0.000
NPLI	36.511	23.058	7.129	7.132	0.003
OROP	35.198	25.488	4.744	4.742	-0.002
PALA	35.232	23.683	2.748	2.745	-0.003
PARO	37.115	25.174	10.780	10.782	0.002
PATR	38.289	21.791	1.328	1.324	-0.004
PIRG	39.919	22.589	3.644	3.641	-0.003
PLGR	40.376	23.438	2.070	2.069	-0.001
RETH	35.366	24.493	6.811	6.816	0.005
SAMO	37.758	26.974	2.816	2.816	0.000
SERR	41.084	23.550	-1.512	-1.514	-0.002
SIFN	36.961	24.736	11.862	11.862	0.000
SKOP	39.117	23.728	4.891	4.893	0.002
THES	40.504	22.929	1.332	1.334	0.002
THIV	38.320	23.320	8.621	8.625	0.004
TRIP	37.509	22.367	7.715	7.713	-0.002
VOLO	39.181	22.761	4.868	4.872	0.004
XANT	41.115	24.858	-4.871	-4.873	-0.002

Πίνακας 5.1: Αποχές του γεωειδούς για τους σταθμούς του δικτύου από διαφορετικά μοντέλα

Επίσης για την διεύρυνση της περιοχής ελέγχου έγινε σύγκριση των δύο μοντέλων για έναν κάνναβο 20x20km που καλύπτει όλη την περιοχή της Ελλάδας. Οι διαφορές που προέκυψαν όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.1 κυμαίνονται από -5 έως +6 mm.



Εικόνα 5.1: Χάρτης διαφορών αποκλίσεων των διαφορετικών μοντέλων γεωειδούς που συγκρίνονται

6 Βιβλιογραφία

1. Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl (eds.) (2007) Bernese GPS software version 5.0. Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland
2. Dow, J.M., Neilan, R. E., and Rizos, C., The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems, *Journal of Geodesy* (2009) 83:191–198, DOI: 10.1007/s00190-008-0300-3
3. Niell, A. E., Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *J. Geophys. Res.*, 101, 3227/3246, 1996
4. Rebischung P., IGB08: an update on IGS08, [*IGSMail-6663*](#)
5. [*IGS Product Description*](http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html) (<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>)
6. [*CODE Product Description*](ftp://ftp.unibe.ch/aiub/AIUB_AFTP.TXT) (ftp://ftp.unibe.ch/aiub/AIUB_AFTP.TXT)
7. CODE Analysis Strategy Summary (<http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/center/analysis/code.acn>.)
8. K. Katsampalos, C. Kotsakis, M. Gianniou, Hellenic Terrestrial Reference System 2007 (HTRS07) : A regional realization of ETRS89 over Greece in support of HEPOS, International Technical Laser Workshop on SLR Tracking of GNSS Constellations, Metsovo, Greece, 14-19 September, 2009
9. M. Gianniou, K. Katsmpalos, C. Kotsakis, Realization of ETRS89 in Greece by the HEPOS network, Document submitted to the Technical Working Group of EUREF to support the discussion of the realization of ETRS89 in Greece during the EUREF-TWG Meeting, 8-9 March 2010, Vienna, Austria, 2010
10. Bruyninx C., 2004, "The EUREF Permanent Network: a multi-disciplinary network serving surveyors as well as scientists", [*Geoinformatics*](#), Vol 7, pp. 32-35
11. Dong, D. N., Herring, T. A., King, R. W., Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data, *J. of Geodesy* 72, 200-210, 1998.
12. F. Lyard, F. Lefevre, T. Letellier, O. Francis, Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004, *Ocean Dynamics*, December 2006, Volume 56, Issue 5-6, pp 394-415
13. Standish, E.M.: 1990, "The Observational Basis for JPL's DE200, the planetary ephemeris of the Astronomical Almanac", *Astronomy & Astrophysics*, vol. 233, pp. 252-271.
14. SINEX - Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format, Version 2.00 (May 24, 2002), http://www.iers.org/iers/EN/Organization/AnalysisCoordinator/SinexFormat/sinex__cont.html
15. Hollenstein, C., Muller, M.D., Geiger, A., et al., 2008. Crustal motion and deformation in Greece from a decade of GPS measurements, 1993–2003. *Tectonophysics* 449 (1–4), 17–40.

16. Papanikolaou, X., A. Marinou, C. Mitsakaki, K. Papazissi, D. Paradissis, V. Zacharis, and D. Anastasiou (2010), An automated processing scheme designed for all available permanent GPS station in Greece, Poster presented at the 15th General Assembly of the Wegener project, Istanbul, Turkey.
17. Muller M.D., Geiger A., Kahle H.-G., Veis G., Billiris H., Paradissis D., Felekis S., 2012, Velocity and deformation fields in the North Aegean domain, Greece, and implications for fault kinematics, derived from GPS data 1993-2009, Tectonophysics, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.08.003>
18. Anastasiou D., A. Marinou, C. Mitsakaki, K. Papazissi, X. Papanikolaou, D. Paradissis, Crustal deformation in the Patras Gulf, Greece, from GPS data analysis, 15th Genereal Assembly of WEGENER, Istanbul Turkey, 14-17 Sept 2010.
19. Rothacher M, Schmid R (2010) ANTEX: The Antenna Exchange Format, Version 1.4 (<ftp://igs.org/igscb/station/general/antex14.txt>)
20. National Geodetic Survey, Antenna Calibrations, <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/main.jsp>
21. [IGSMAIL-5189]: Planned changes to IGS antenna calibrations, <http://igscb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2005/msg00111.html>
22. P. Rebischung, J. Griffiths, J. Ray, R. Schmid, X. Collilieux, B. Garayt, IGS08: the IGS realization of ITRF2008, GPS Solutions, 16:483-494, 2012.
23. Scherneck, H.-G., Johansson J.M. and Webb, F.H., Ocean loading tides in GPS and rapid variations of the frame origin. *Geodesy 2000 - The Challenges in the First Decade* Vol. 121, Schwarz, Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2000.