Κ. Κατσάμπαλος
Καθηγητής στο ΤΑΤΜ-ΑΠΘ

HTRS07: Το Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς για το HEPOS

Ημερίδα ΠΣΔΑΤΜ & ΚΤ/ΑΕ

Αθήνα 24/2/2009

Συστήματα & Πλαίσια Αναφοράς

Τρείς από τις θεμελιώδεις έννοιες της Γεωδαισίας :

- (γεωδαιτικό) **datum**

  [Moritz : a,f,Xo,Yo,Zo]

- (γεωδαιτικό) **σύστημα αναφοράς** / reference system

  [Βέης : *… το datum, το δίκτυο και το προβολικό σύστημα αποτελούν μέρη του ΕΓΣΑ*]

- το (γεωδαιτικό) **πλαίσιο αναφοράς** / reference frame

  [IAG-EUREF & EuroGeographics : … ένα σύνολο X,Y,Z … υπολογισμένο σε κάποιο σύστημα αναφοράς και αναφερόμενο σε συγκεκριμένη **εποχή**]

ΕΓΣΑ87 (Γ. Βέης / ΟΚΧΕ,1987)

Ένα Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΓΣΑ) στην κλασσική γεωδαισία:

- *Ορίζεται με την επιλογή ενός (γεωδαιτικού) datum, που δίνει αρχικές συντεταγμένες σε ένα σημείο και τις διαστάσεις ενός ελλειψοειδούς αναφοράς. Ο προσανατολισμός επιτυγχάνεται με αστρονομικές μεθόδους.*
- *Υλοποιείται με τις μετρήσεις ενός γεωδαιτικού δικτύου, τη συνόρθωσή του και τον υπολογισμό των συντεταγμένων (φ,λ) των κορυφών του στο νέο datum.*
- *Εφαρμόζεται με την απεικόνιση (ή προβολή) του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο που δίνει τις επίπεδες συντεταγμένες (X,Y) του δικτύου.*
- *Χρησιμοποιείται με την εξάρτηση (και εντοπισμό) των γεωδαιτικών, τοπογραφικών και χαρτογραφικών εργασιών στο δίκτυο και τη χρήση των συντεταγμένων των κορυφών του.*

Επομένως, το datum, το δίκτυο και το προβολικό σύστημα αποτελούν μέρη του ΕΓΣ.

Συστήματα & Πλαίσια Αναφοράς

- Διεθνώς, γίνεται χρήση των όρων: «**σύστημα αναφοράς**» και «**πλαίσιο αναφοράς**» (reference system και reference frame). Ένα πλαίσιο αναφοράς συναρτάται με μια χρονική στιγμή (**εποχή**) στην οποία αναφέρονται οι συντεταγμένες [π.χ. ETRS89, ETRF2005 (t=2007.5)].
- Η έννοια του datum είναι «φωλιασμένη» στην έννοια του συστήματος αναφοράς.

Συστήματα & Πλαίσια Αναφοράς

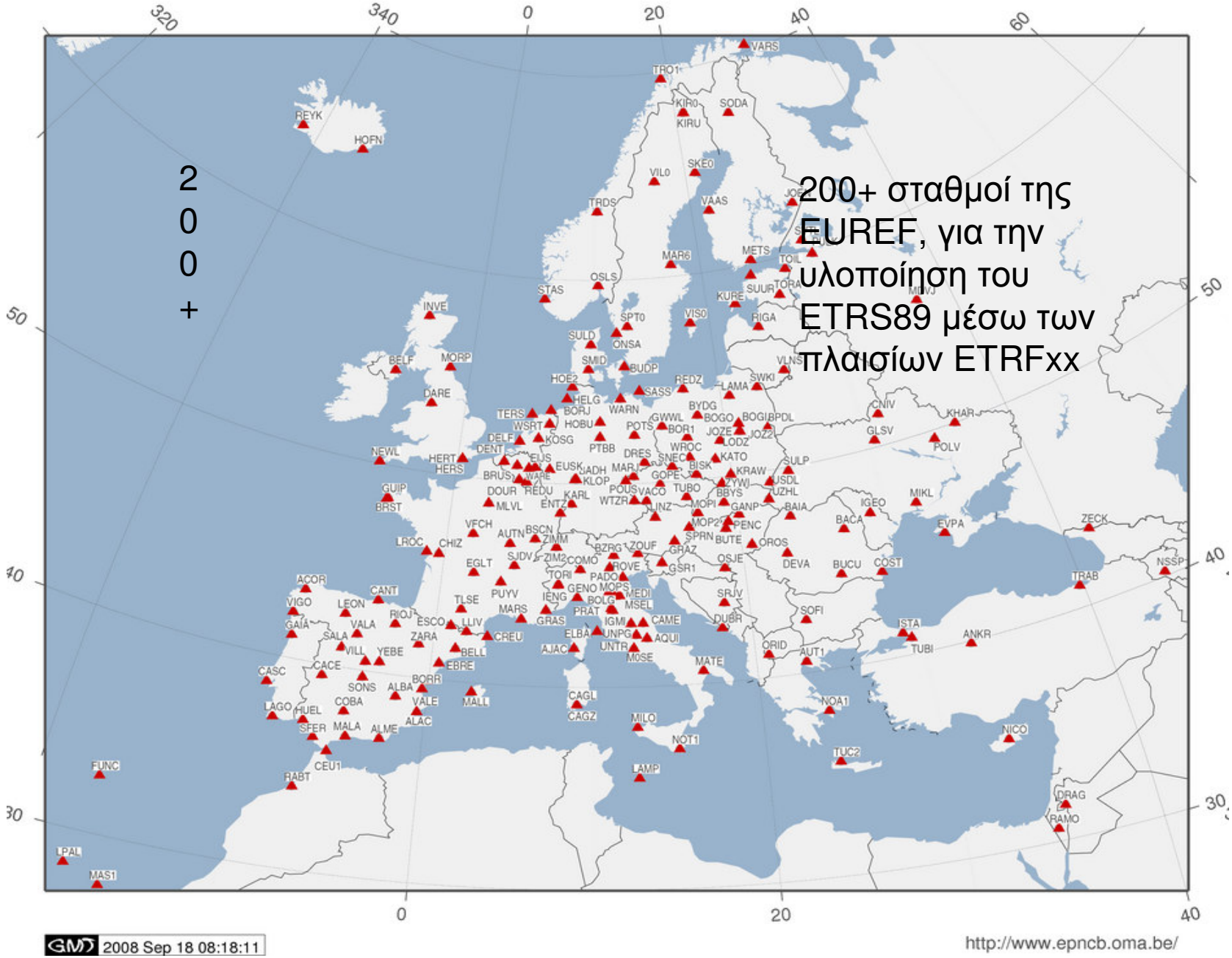
Το «**σύστημα αναφοράς**» είναι ένα σύνολο από

- **Συμβάσεις** (π.χ. ο άξονας περιστροφής της γης),
- **Πρότυπα** (π.χ. το ελλειψοειδές αναφοράς),
- **μοντέλα** (π.χ. γεωδυναμικά / τεκτονικά μοντέλα), και
- **σταθερές** (π.χ. η ταχύτητα του φωτός),

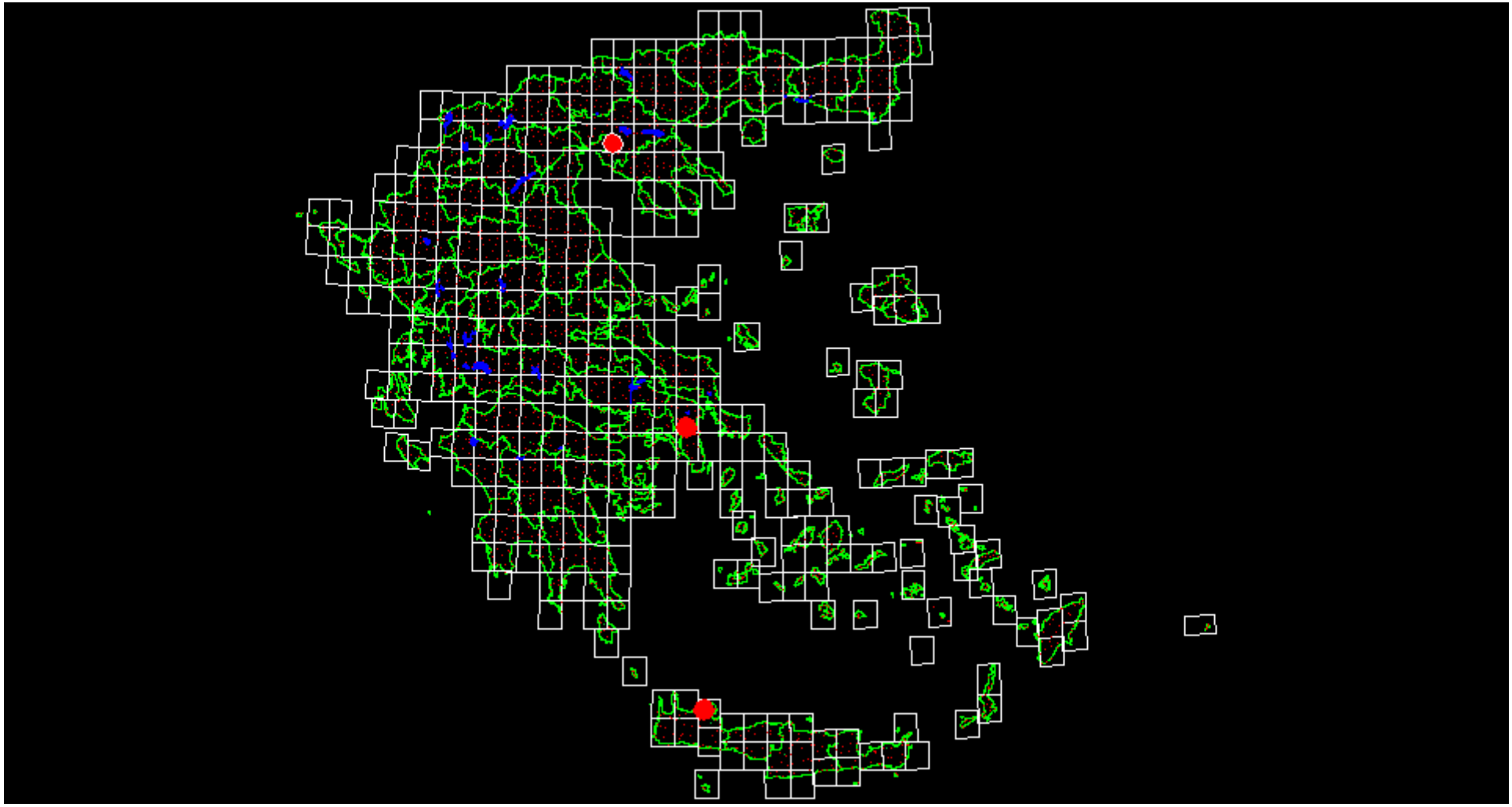
που όλα μαζί χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της θέσης ενός σημείου στο χώρο.

- Προκειμένου, όμως, το σύστημα αναφοράς να είναι **προσβάσιμο** και χρησιμοποιήσιμο από τους χρήστες, απαιτείται η γνώση των συντεταγμένων σε ένα σύνολο σημείων. Οι συντεταγμένες αυτές, μάλιστα θα πρέπει να αναφέρονται σε μια χρονική στιγμή (**εποχή**) και παράλληλα να δίνονται και τα στοιχεία της κίνησης (**ταχύτητες**) του κάθε σημείου, λόγω γεωδυναμικών / τεκτονικών φαινομένων. Η λύση για ένα σύνολο σταθμών σε μια γεωγραφική περιοχή αποτελεί ένα «**πλαίσιο αναφοράς**».

EUREF Permanent Tracking Network



Ελληνικοί σταθμοί EUREF : AUT1 , NOA1 , TUC2 (σύντομα και ένας 4ος στην Ξάνθη)



2004-2006
Ελληνικοί σταθμοί EUREF

TUC2 **AUT1** **NOA1**

Σύγχρονα Παγκόσμια & Ευρωπαϊκά Συστήματα και Πλαίσια Αναφοράς

- ITRS [ITRF88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, (20)00 και (20)05]
- ETRS [ETRF89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, **(20)00** και (20)05]
- ETRF89 (t=1989.0) ταυτίζεται με το ITRF89 (t=1989.0)

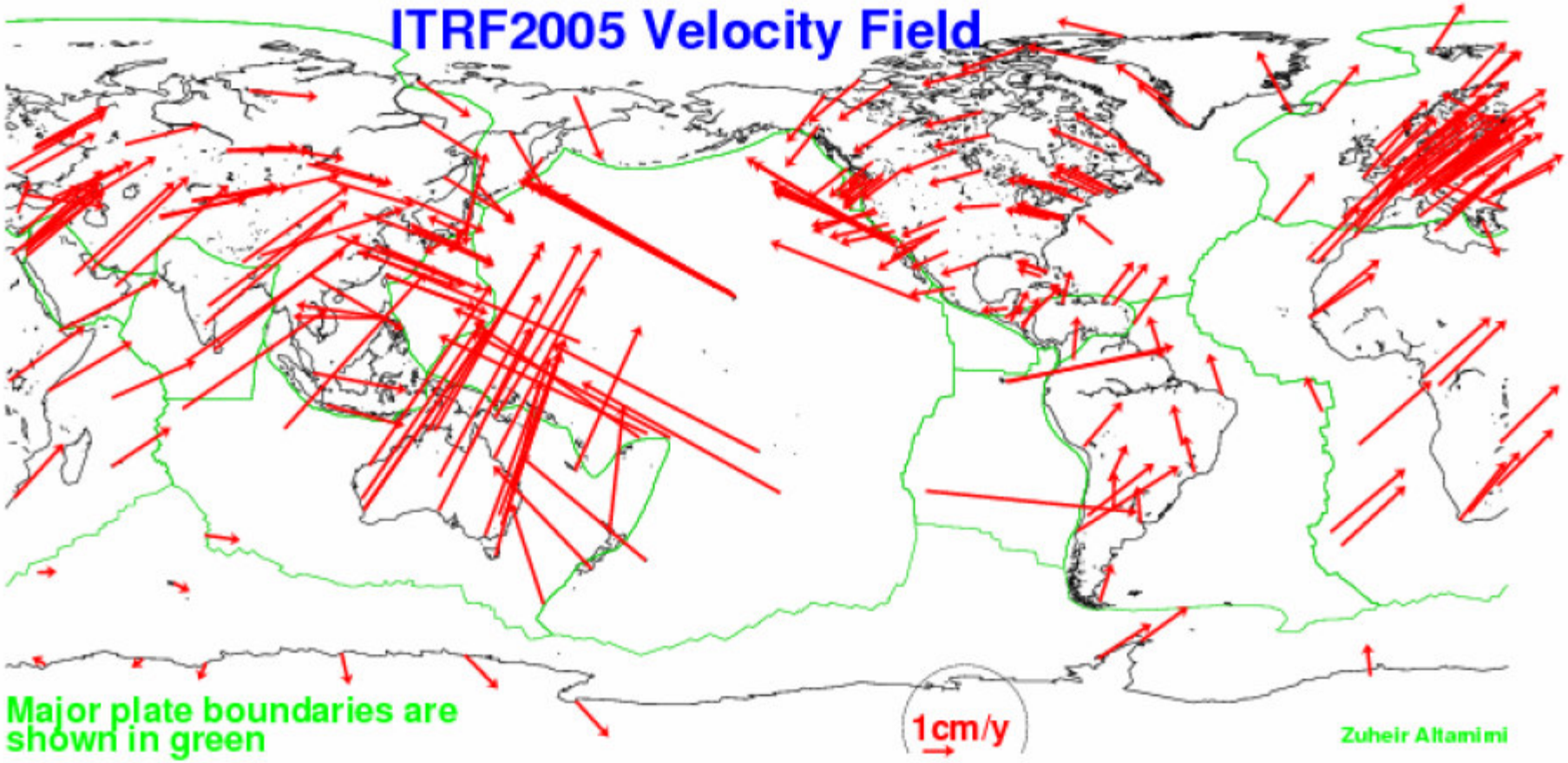
- Σε κάθε σημείο αποδίδεται Θέση, Ταχύτητα και ακρίβειες σε συγκεκριμένη εποχή (t) και πλαίσιο αναφοράς, π.χ. (AUT1)

ITRF2005 2000.0	4466283.4880 ± 0.0030	1896166.7750 ± 0.0020	4126096.7730 ± 0.0030	
	-0.0126 ± 0.0005	0.0213 ± 0.0002	0.0028 ± 0.0005	2.5 cm/year
ETRF2005 2000.0	4466283.7370 ± 0.0030	1896166.6250 ± 0.0020	4126096.6180 ± 0.0030	
	0.0049 ± 0.0005	0.0033 ± 0.0002	-0.0079 ± 0.0005	1 cm/year

Σημείωση 11/2008 … Οι παραπάνω ITRF05 έχουν αλλάξει, ενώ το ETRF05 ΔΕΝ διατίθεται πλέον! Υπάρχουν οι τιμές στο ETRF2000(2000.0) διαφοροποιημένες +/- 5 mm !!!

http://www.epncb.oma.be/

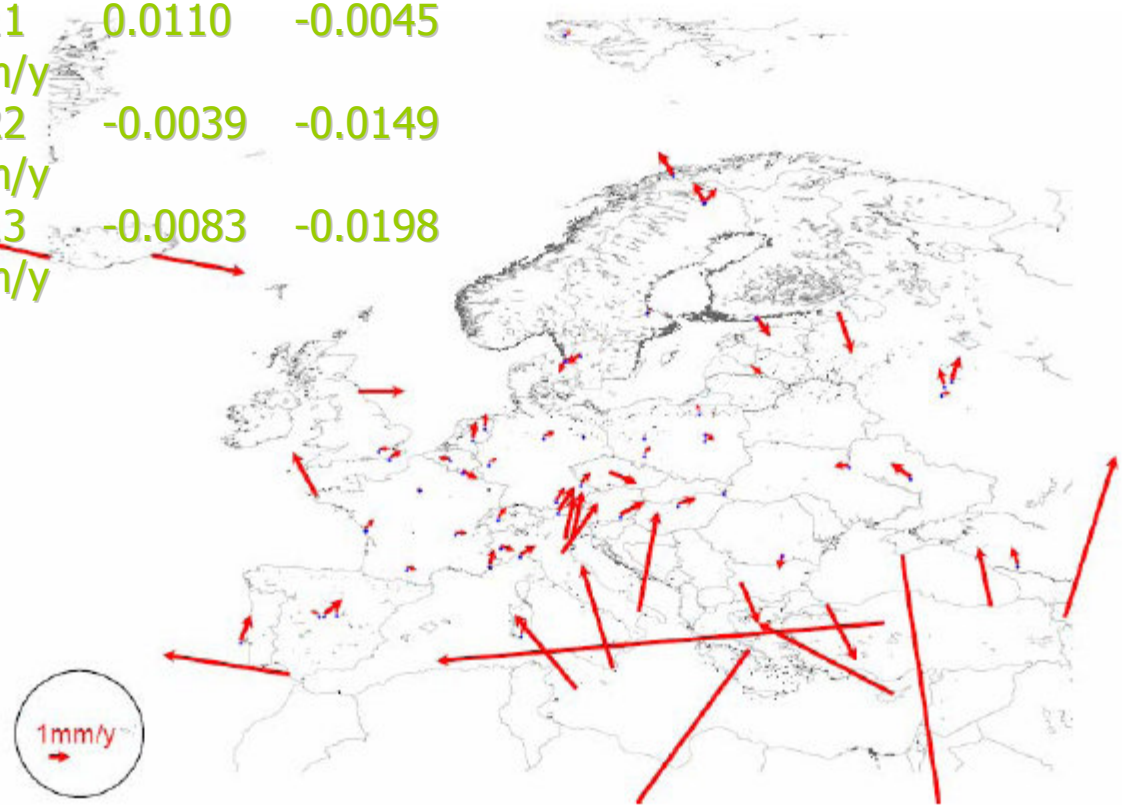
ITRF2005 and Plate motion: Horizontal Site velocities with σ < 3mm/y



ETRF2005 Horizontal Velocities

ETRF2005 / 2000.0 Τιμές 4/12/2007 !!!

AUT1	0.0111	0.0110	-0.0045
	1.6cm/y		
NOA1	0.0222	-0.0039	-0.0149
	2.7cm/y		
TUC2	0.0213	-0.0083	-0.0198
	3.0cm/y		

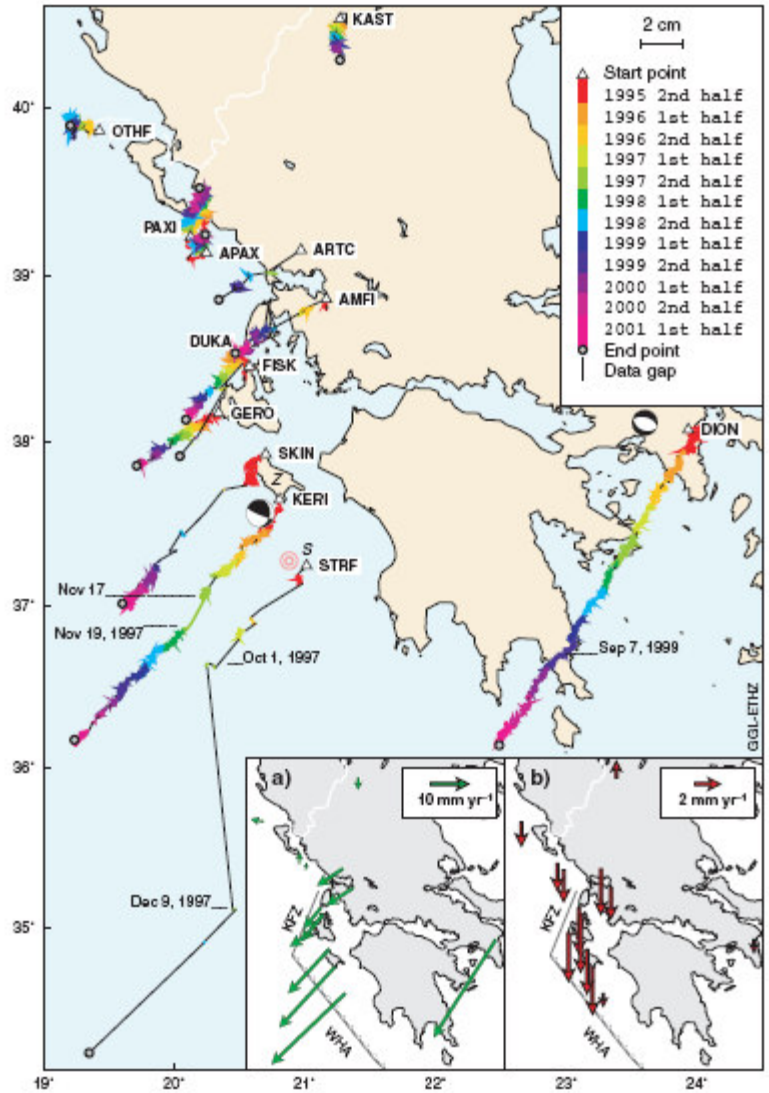


Dionysos 3.1 cm/y

Z. Altamimi, EUREF Symposium, Frankfurt, Nov/2006

Hollenstein-Geiger-Khale-Veis (GJI/2006)

Οριζόντιες «τροχιές» σταθμών GPS αναφορικά με την Ευρασιατική πλάκα

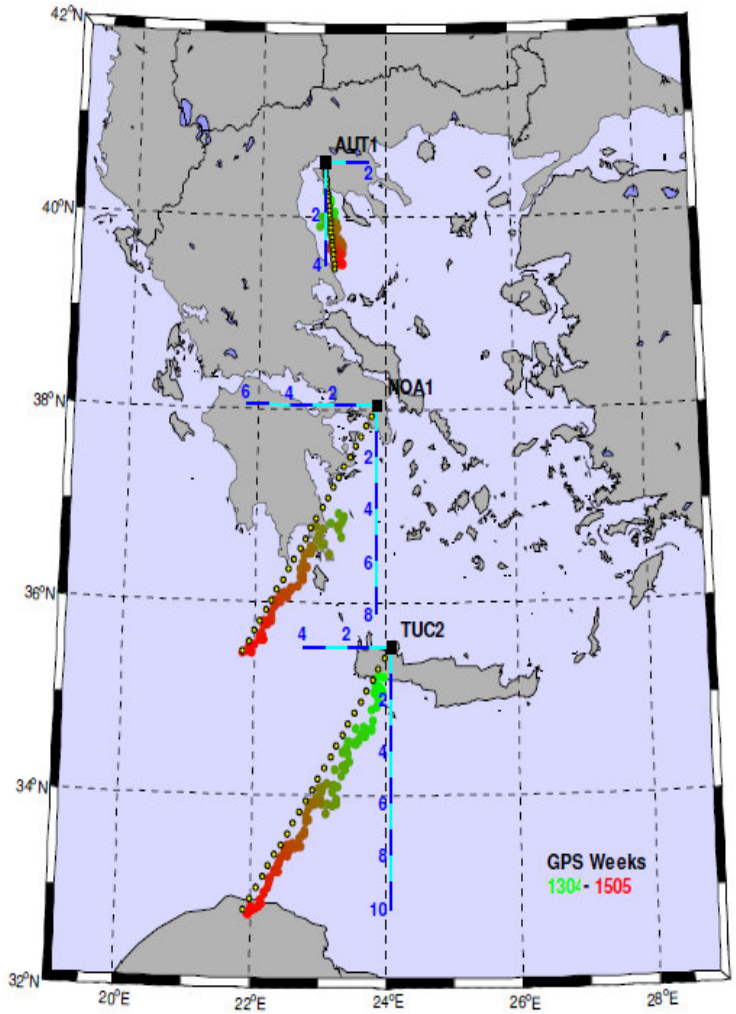


Επιβεβαίωση και με δεδομένα 2007-2008 (Διήμερο HEPOS στη Θεσσαλονίκη)

Microsoft Word - ERGASIA_3_part2.pdf - Adobe Reader

File Edit View Document Tools Window Help

30 / 44 100% Find



Σχήμα 4.8: Εβδομαδιαίες θέσεις (κόκκινο-πράσινο) και ταχύτητες (κίτρινο) των μόνιμων σταθμών EPN (TUC2, AUT1, NOA1) ως προς το πλαίσιο αναφοράς ETRF2005 με αναφορά την εποχή 2005 (η κλίμακα σε cm).

Ο AUT1 παρουσιάζει τη μικρότερη ταχύτητα (1cm/y) σε σχέση με τον NOA1 (2.8cm/y) και τον TUC2 (3cm/y).

Δεδομένα από το 2005 μέχρι το 2009

ETRS89

European Terrestrial Reference System of 1989

Ορισμός : The IAG Subcommision for the European Reference Frame (EUREF) , following its Resolution 1 adopted in Firenze meeting in 1990, recommends that the terrestrial reference system to be adopted by EUREF will be coincident with ITRS at the epoch 1989.0 and fixed to the stable part of the Eurasian Plate.

Υλοποίηση :

(A) Χρησιμοποιώντας υλοποιήσεις στο ITRS : Για κάθε πλαίσιο ITRF*yy* αντιστοιχεί ένα πλαίσιο στο ETRS89 με όνομα ETRF*yy*. Οι ακόλουθες επιλύσεις ETRF είναι σήμερα διαθέσιμες:

- **ETRF89**
- **ETRF90**
- **ETRF91**
- **ETRF92**
- **ETRF93**
- **ETRF94**
- **ETRF96**
- **ETRF97**
- **ETRF2000 (συνιστάται ως πλαίσιο, μετά την έκδοση 7 του Memo, 24/10/2008)**
- **ETRF2005 (Πλαίσιο του HEPOS. Άλλαξε σε ETRF2000(R05) στα τέλη του 2008)**
- **ETRF2000(R05) (έχει προκύψει από το ITRF2005, αλλά συνιστάται το ETRF2000)**

(B) Με μετρήσεις GPS χρησιμοποιώντας πρόσφατες ITRF*yy* συντεταγμένες σταθμών και ακριβείς εφημερίδες IGS τροχιών, ακολουθώντας την επίσημη διαδικασία των Boucher – Altamimi (memorandum) για τον μετασχηματισμό στο ETRF*yy*.

Μετασχηματισμός ITRFyy > ETRFyy

Ακολουθείται η διαδικασία του «Μνημονίου» των Boucher/Altamimi (έκδοση #7, 24/10/2008)

Οι έξι (6) παράμετροι στην εξίσωση εκδίδονται «επισήμως»

Χρησιμοποιούμε πρόσφατες λύσεις για τους σταθμούς αναφοράς (EUREF) π.χ. ITRF2000 (t0=2000.0)

Μετασχηματισμός στην εποχή των παρατηρήσεων (tc=2007.236) μέσω ταχυτήτων

Επεξεργασία των παρατηρήσεων με ακριβείς IGS τροχιές

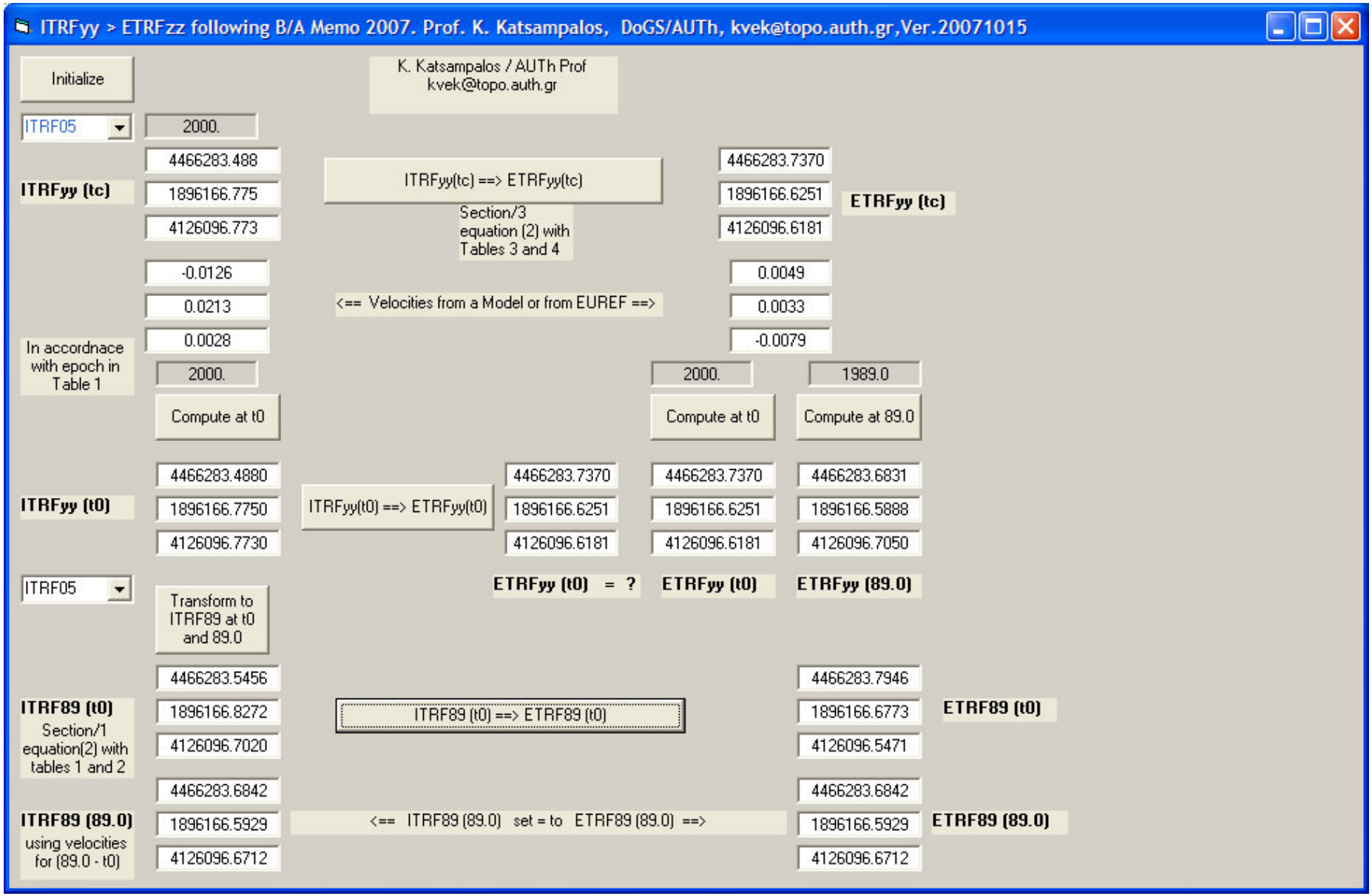
Επίλυση του δικτύου με ελάχιστες δεσμεύσεις

Εφαρμογή του μετασχηματισμού (προσοχή στα πρόσημα):

$$X_{YY}^{E}(t_c) = X_{YY}^{I}(t_c) + T_{YY} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R}3_{YY} & \dot{R}2_{YY} \\ \dot{R}3_{YY} & 0 & -\dot{R}1_{YY} \\ -\dot{R}2_{YY} & \dot{R}1_{YY} & 0 \end{pmatrix} \times X_{YY}^{I}(t_c) \cdot (t_c - 1989.0)$$

Τέλος, εάν διαθέτουμε αξιόπιστες ταχύτητες, μετασχηματίζουμε τις συντεταγμένες στην εποχή 1989.0

Βοηθητικό Λογισμικό : ITRFyy <> ETRFxx (Boucher-Altamimi MEMO)



Επιλογή Συστήματος Αναφοράς

Ως ΣΑ επιλέγεται το ETRS89 (πλαίσιο ETRF2005) στη μέση εποχή των παρατηρήσεων για τη δημιουργία του HEPOS (epoch 2007.5). Κωδική ονομασία : HTRS07. Η επιλογή αυτή :

- **εισάγει την ελληνική γεωδαιτική πρακτική στις τρείς διαστάσεις, χωρίς τον δυισμό (2+1) του παρελθόντος,**
- **επιτρέπει, χάρις στα διαρκώς εξελισσόμενα και αναπτυσσόμενα συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS, GLONASS, Galileo), ακρίβειες στο επίπεδο του 0.01m, ενιαίες για όλη την Ελλάδα,**
- **είναι σε συμφωνία με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες (π.χ. INSPIRE) αλλά και με τις επιλογές άλλων ευρωπαϊκών χωρών,**
- **εξασφαλίζει συμβατότητα με τις εκτελεσθείσες μελέτες LSO-VLSO, για τις οποίες έχουν χορηγηθεί (από την ΤΕ.ΒΟ. ΕΜΠ) συντεταγμένες στο ETRF89,**
- **εξασφαλίζει τις μικρότερες δυνατές μεταβολές των συντεταγμένων στα σημεία της Ελληνικής επικράτειας,**
- **είναι υλοποιήσιμη σύμφωνα με την αυστηρή και διεθνώς αποδεκτή διαδικασία (Memo Boucher/Altamimi, έκδοση 27-3-2007), αγνοώντας (προς το παρόν) τις τεκτονικές ταχύτητες,**
- **είναι συμβατή με το λογισμικό που εγκαταστάθηκε (Οκτώβριος 2007) από τον Ανάδοχο (έργο HEPOS_SUPPLY) για τη λειτουργία του συστήματος.**

Στην ομάδα των 15

APOS	Αυστρία	ETRS89	1-2 cm Διαφορές στα σύνορα
SAPOS	Γερμανία	ETRS89	
SWIPOS	Σουηδία	ETRS89	
SIGNAL	Σλοβενία	ETRS89	
SKPOS	Σλοβακία	ETRS89	
STPOS	Ιταλία	ETRS89	
AGNES/swipos & SWISSAT	Ελβετία	ETRS89	
NETPOS / 06-GPS	Ολλανδία	ETRS89 from ITRF2000 (t=2002.5)	
FLEPOS / WALCORS	Βέλγιο	ETRS89	
OS RTK	Μ. Βρεττανία	ETRS89 + grid corrections	
GPSnet.dk	Δανία	ITRF92 t=1994.707	
GPSnet.fi	Φινλανδία	ITRF96 t=1997.0	
SATREF / CPOS	Νορβηγία	ITRF93 t=1994.665	
SWIPOS	Σουηδία	SWEREF-99 ITRF97 t=1999.5	
ERGPS	Ισπανία		Αναπτύσ-σονται
TERIA	Γαλλία		
CZEPOS	Τσεχία		

INSPIRE

- **Οδηγία INSPIRE (ΕΚ/2/2007 14/3/2007), ενεργή από την 15η/5/2007.**

http://www.ec-gis.org/inspire/

http://www.ec-gis.org/inspire/reports/stateofplay2006/rcr06GRv71.pdf

- ….. Use ETRS89 coordinate reference systems [ETRS-TMzn], for conformal pan-European mapping at scales larger than 1:500,000 ……

Προβολικό Σύστημα (TM07)

Ως διδιάστατο Σύστημα Συντεταγμένων (grid) ορίζεται η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή με τα παρακάτω στοιχεία:

- κεντρικός μεσημβρινός : λ0 = 24 A
- συντελεστής κλίμακας σε λ=24oA : k0 = 0.9996
- πλάτος αναφοράς : φ0= 00 00‘ 00''.00
- προσθετική σταθερά στο X : X0= 500 000.00 μέτρα
- προσθετική σταθερά στο Y : Y0= -2 000 000.00 μέτρα

Ειδικότερα για το Καστελόριζο χρησιμοποιείται η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή με τα παρακάτω στοιχεία:

- κεντρικός μεσημβρινός : λ0 = 30 A
- συντελεστής κλίμακας σε λ=30oA : k0 = 1.000000
- πλάτος αναφοράς : φ0= 00 00‘ 00''.00
- προσθετική σταθερά στο X : X0= 500 000.00 μέτρα
- προσθετική σταθερά στο Y : Y0= -2 000 000.00 μέτρα

Ως ελλειψοειδές αναφοράς χρησιμοποιείται το GRS80, όπως και στο ΕΓΣΑ87. Η θέση του κέντρου του ελλειψοειδούς είναι πλέον πρακτικά στο γεώκεντρο, ταυτίζεται δηλαδή με το κέντρο του ETRS89.

AUT1 στο ETRS89

		ETRF89		
1989.0	4466283.6842	1896166.5929	4126096.6712	15.5cm
		ETRF2000		
1997.0	4466283.7296	1896166.6207	4126096.6266	8.6cm
2000.0	4466283.7480	1896166.6200	4126096.6260	**11/2008**
2007.5	4466283.7652	1896166.6402	4126096.5562	
		ETRF2005		
1989.0	4466283.6831	1896166.5888	4126096.7050	18.2cm
2000.0	4466283.7370	1896166.6250	4126096.6180	7.4cm
2000.0	4466283.6920	1896166.5620	4126096.5900	**4/12/07**
2007.5	**4466283.7738**	**1896166.6498**	**4126096.5588**	**HTRS07**

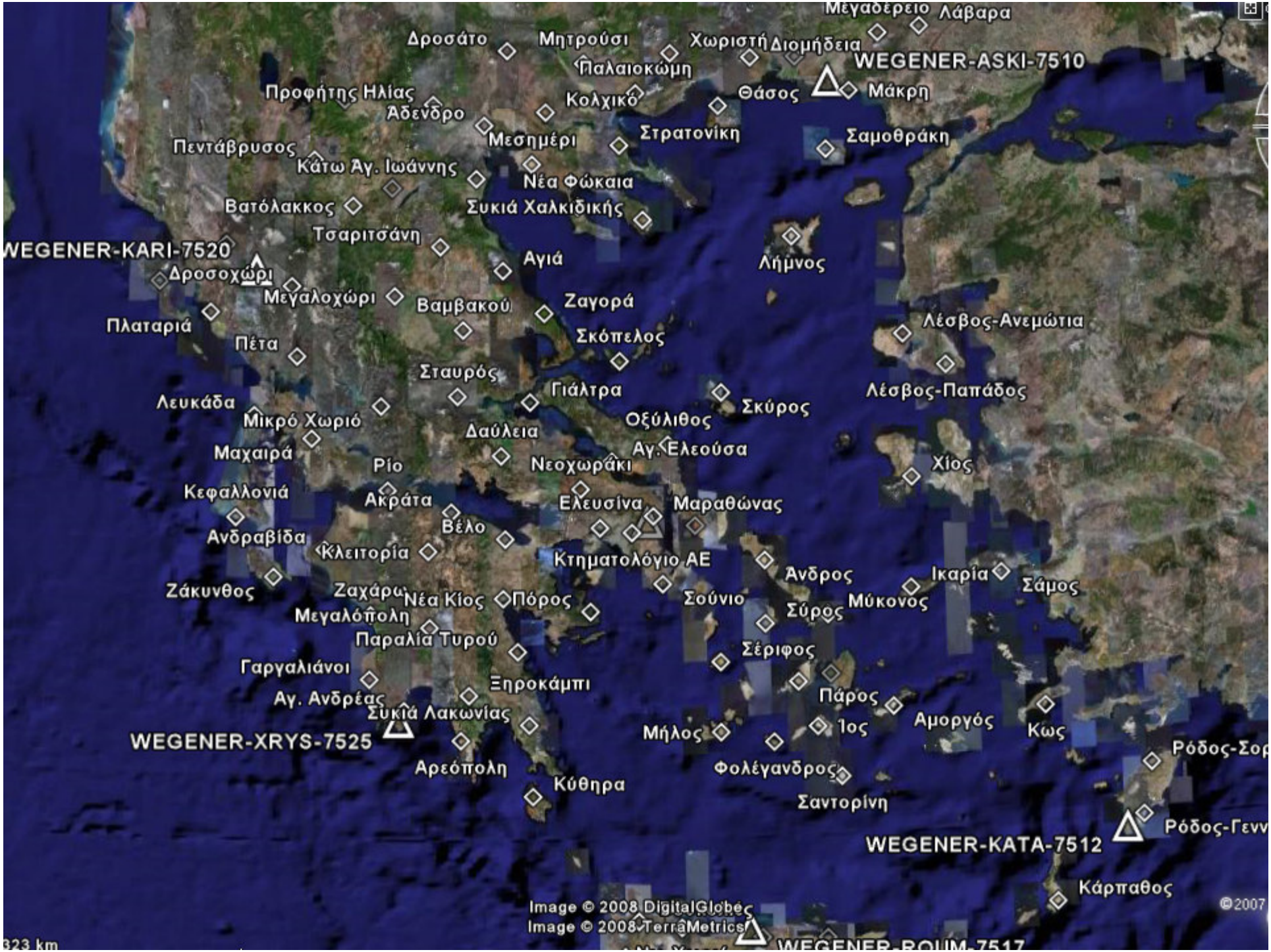
>>>> αλλαγή θέσης < 20cm σε 20 χρόνια !

AUT1 – TUC2 ITRF05/ETRF05

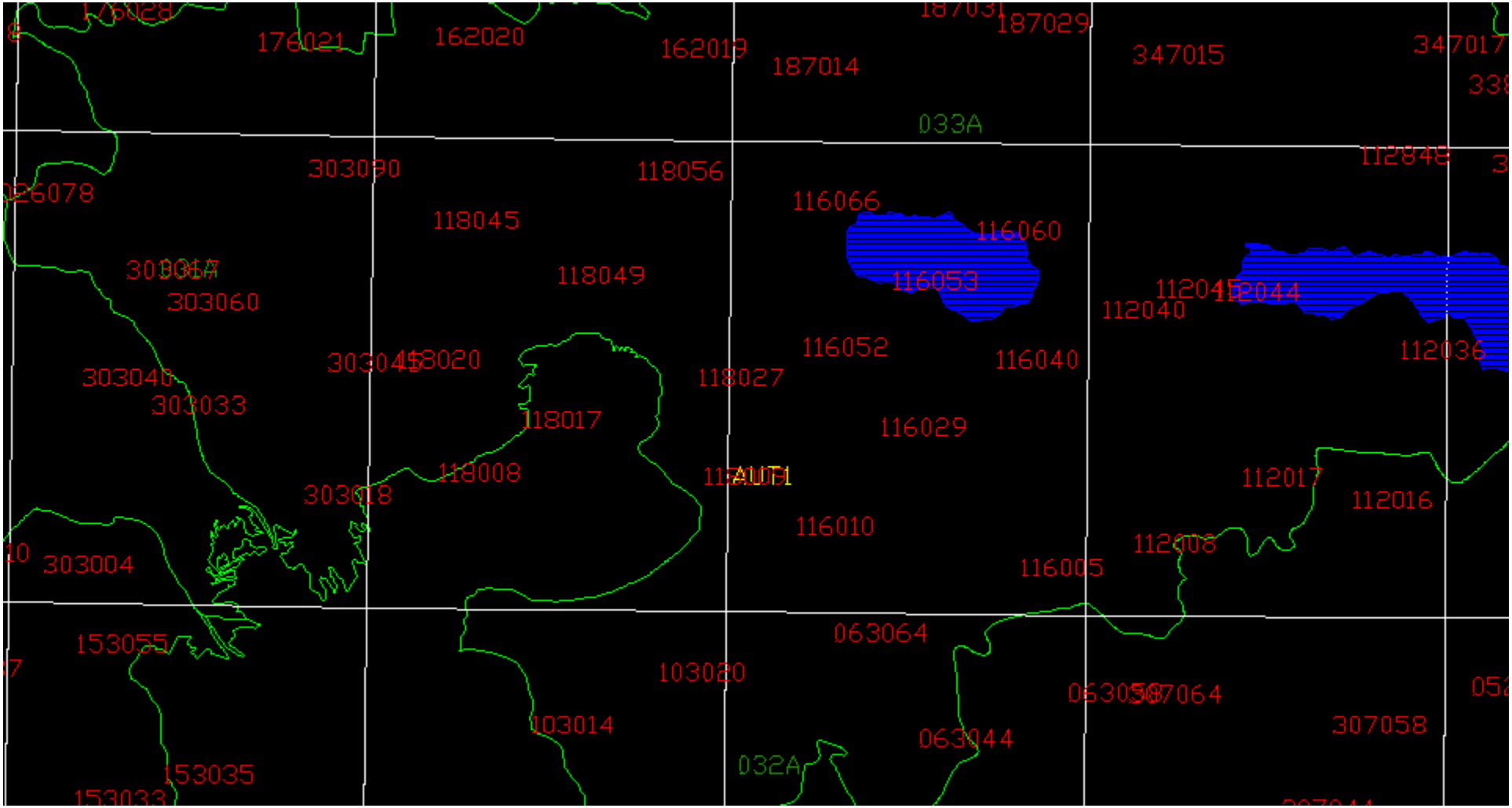
Σύγκριση των «επίσημων» τιμών με τις υπολογιζόμενες

- **AUT1**
- ITRF2000 2007.236 4466283.4000 1896166.9250 4126096.7810
- ITRF2005 2007.5 4466283.3935 1896166.9348 4126096.7940
- ETRF2005 2007.5 **4466283.7738 1896166.6498 4126096.5588**

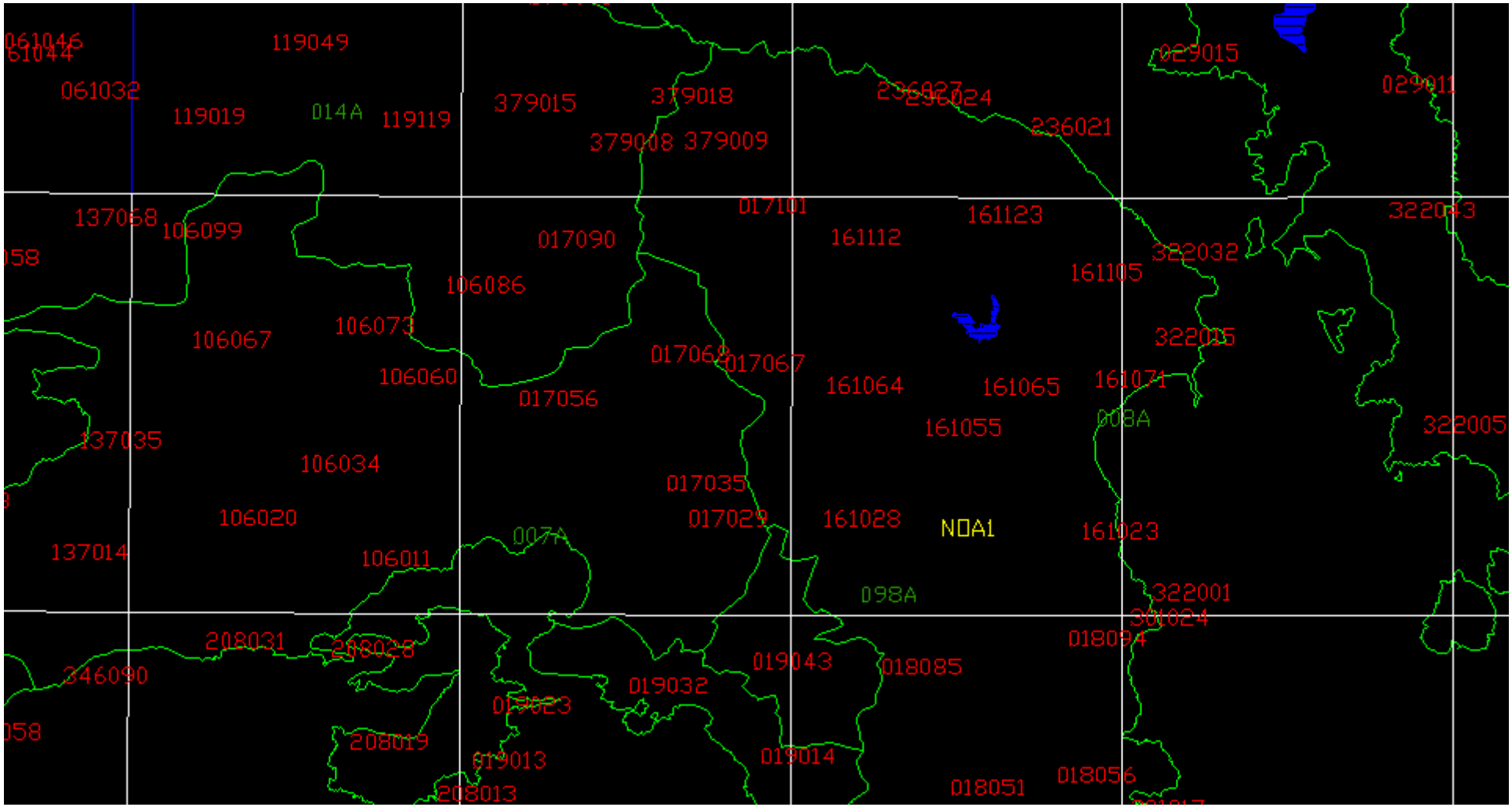
- **TUC2** διαφ.
- ITRF2000 2007.236 4744543.7900 2119411.9230 3686258.8030
- ITRF2005 2007.5 4744543.7823 2119411.9228 3686258.816
  - Λύση ΑΠΘ 4744543.783 2119411.923 3686258.813 3 mm
- ETRF2005 2007.5 4744544.1580 2119411.6200 3686258.5700
  - ΑΠΘ 4744544.163 2119411.638 3686258.578 2 cm
  - ΑΠΘ (B/A) 4744544.159 2119411.621 3686258.568 2 mm


Μεγαδέρειο
Λάβαρα
Δροσάτο
Μητρούσι
Χωριστή
Διομήδεια
WEGENER-ASKI-7510
Παλαιοκώμη
Προφήτης Ηλίας
Κολχικό
Θάσος
Μάκρη
Αδένδρο
Μεσημέρι
Στρατονίκη
Σαμοθράκη
Πεντάβρυσος
Κάτω Αγ. Ιωάννης
Νέα Φώκαια
Βατόλακκος
Συκιά Χαλκιδικής
Τσαριτσάνη
WEGENER-KARI-7520
Αγιά
Λήμνος
Δροσοχώρι
Μεγαλοχώρι
Βαμβακού
Ζαγορά
Πλαταριά
Λέσβος-Ανεμώτια
Πέτα
Σκόπελος
Σταυρός
Λέσβος-Παπάδος
Γιάλτρα
Λευκάδα
Σκύρος
Μικρό Χωριό
Οξύλιθος
Δαύλεια
Αγ. Ελεούσα
Μαχαιρά
Ρίο
Νεοχωράκι
Χίος
Κεφαλλονιά
Ακράτα
Ελευσίνα
Μαραθώνας
Βέλο
Ανδραβίδα
Κλειτορία
Κτηματολόγιο ΑΕ
Άνδρος
Ικαρία
Σάμος
Ζάκυνθος
Ζαχάρω
Νέα Κίος
Πόρος
Σούνιο
Σύρος
Μύκονος
Μεγαλόπολη
Παραλία Τυρού
Σέριφος
Γαργαλιάνοι
Ξηροκάμπι
Πάρος
Αγ. Ανδρέας
Συκιά Λακωνίας
Αμοργός
Κως
WEGENER-XRYS-7525
Μήλος
Ίος
Ρόδος-Σορ
Αρεόπολη
Φολέγανδρος
Κύθηρα
Σαντορίνη
Ρόδος-Γεν
WEGENER-KATA-7512
Κάρπαθος
Image © 2008 DigitalGlobe
Image © 2008 TerraMetrics
©2007
WEGENER-ROUM-7517

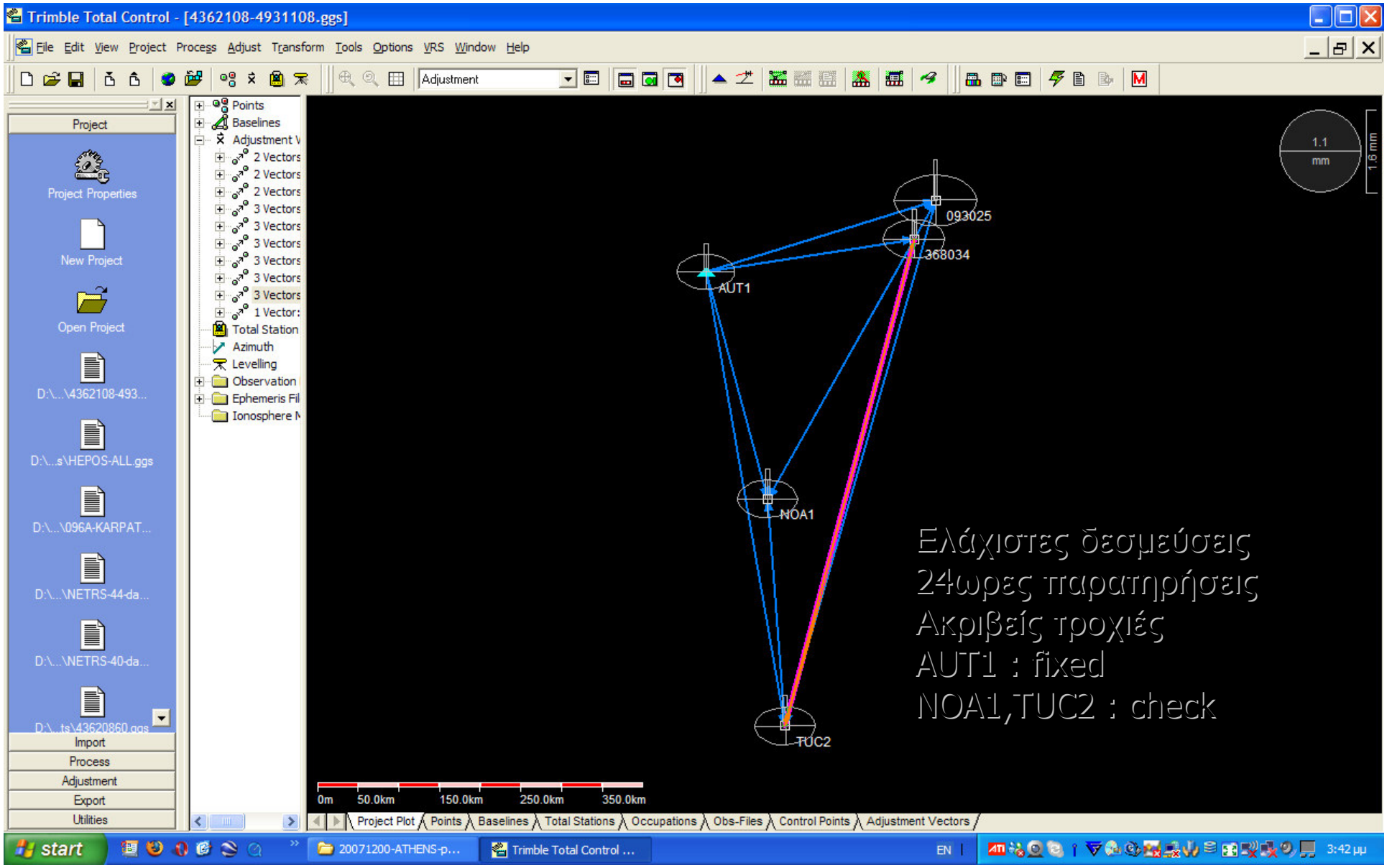
3+98+2470 σημεία



Αττική


061046
061044
119049
061032
119019
014A
119119
379015
379018
379008
379009
236027
236024
236021
029015
029011
137068
106099
017101
161123
322043
017090
161112
322032
161105
106086
106067
106073
322015
017068
017067
106060
017056
161064
161065
161071
008A
161055
322005
137035
106034
017035
106020
017029
161028
NOA1
161023
007A
137014
106011
098A
322001
301024
018094
208031
208028
346090
019043
018085
019032
019023
208019
019013
019014
018051
018056
208013

Τμηματική Συνόρθωση για τους Σταθμούς Αναφοράς



AUT1 : fixed … Έλεγχος στους NOA1 & TUC2

Ενδεικτική Επίλυση ΑΠΘ στο ETRF2005 (t=2007.500)

AUT1 4466283.774 1896166.650 4126096.559

NOA1 4599642.331 2034827.057 3909890.372

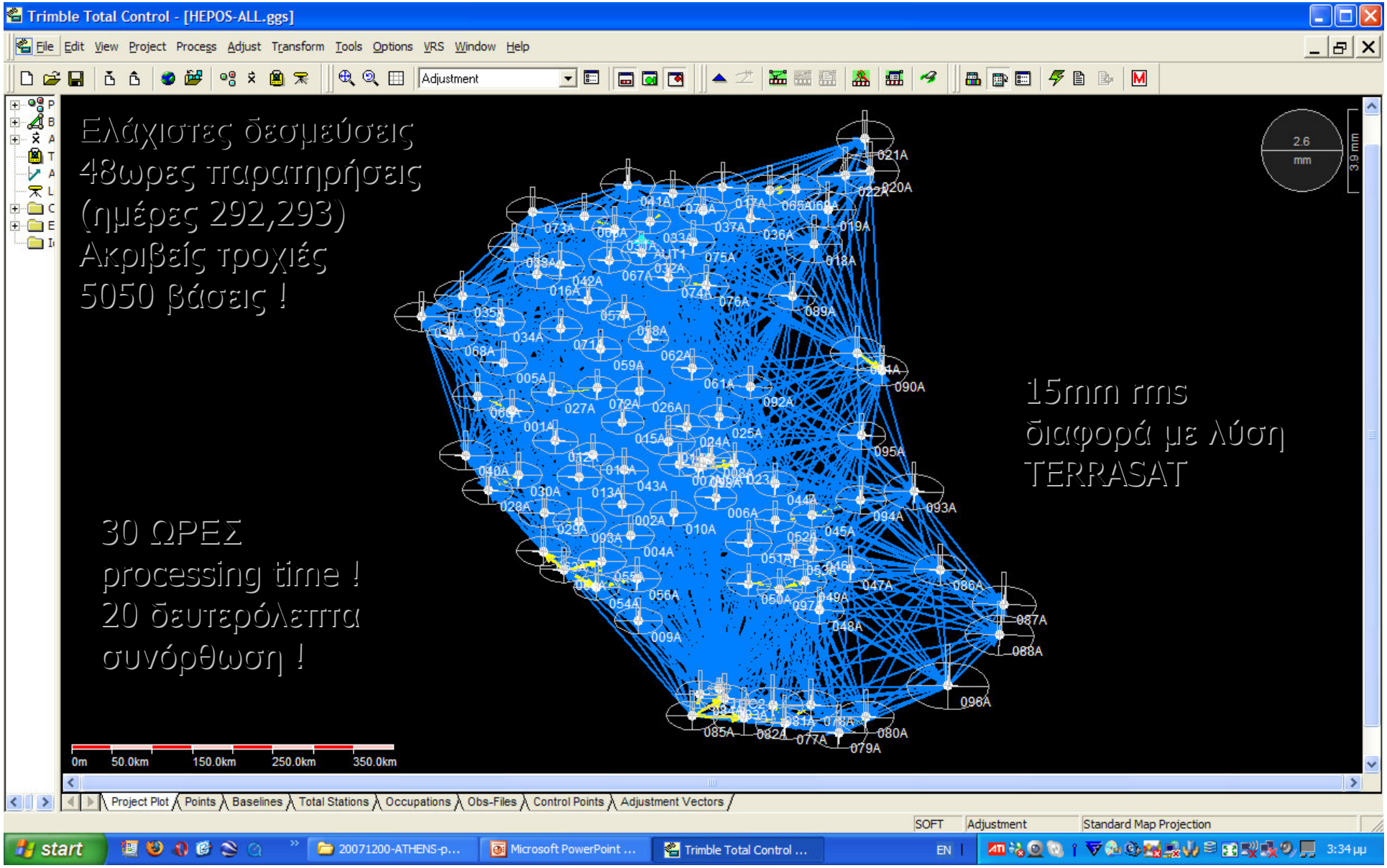
TUC2 4744544.165 2119411.628 3686258.567

«επίσημες» EUREF στο ETRF2005 (t=2007.500)

TUC2 4744544.158 2119411.620 3686258.570

➔Διαφορά θέσης στο επίπεδο του εκατοστού (σε όλες τις επιλύσεις)

Συνολική Συνόρθωση για τους 98 Σταθμούς HEPOS



Παράμετροι Bernese

- **Preprocessing : Triple Differences**
- **Cutoff angle : 3 degrees**
- **Data sampling : 30seconds preprocessing / 180 seconds final**
- **Processing : Ionosphere-free double differences**
- **Antenna calibrations : IGS05 model absolute values**
- **Troposphere : Dry-Neill**
- **Ionosphere : Regional model computation**
- **Datum definition : Eight (8) EUREF stations**
- **Orbits : IGS final orbits and ERP parameters**
- **Planetary Ephemeris : DE200**
- **Ocean loading : Onsala FES2005 model**
- **Tidal model : Solid earth IERS 1996 conventions**

Προσοχή στις «κεραίες»

Στα εμπορικά λογισμικά πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη με μεγάλη σχολαστικότητα τον τύπο της κεραίας που χρησιμοποιήσαμε για τη συλλογή των δεδομένων και να τον δηλώνουμε κατάλληλα κατά την επεξεργασία.

Σύγκριση ΙΓΕ - ΑΠΘ

1. Στη λύση του Αναδόχου συμπεριελήφθη και ο νέος σταθμός 018B.

2. Και οι δύο λύσεις, διατηρούν τις συντεταγμένες του AUT1 στις τιμές της EUREF στο ETRF2005 για την εποχή 2007.5

4466283.7737 1896166.6497 4126096.5587

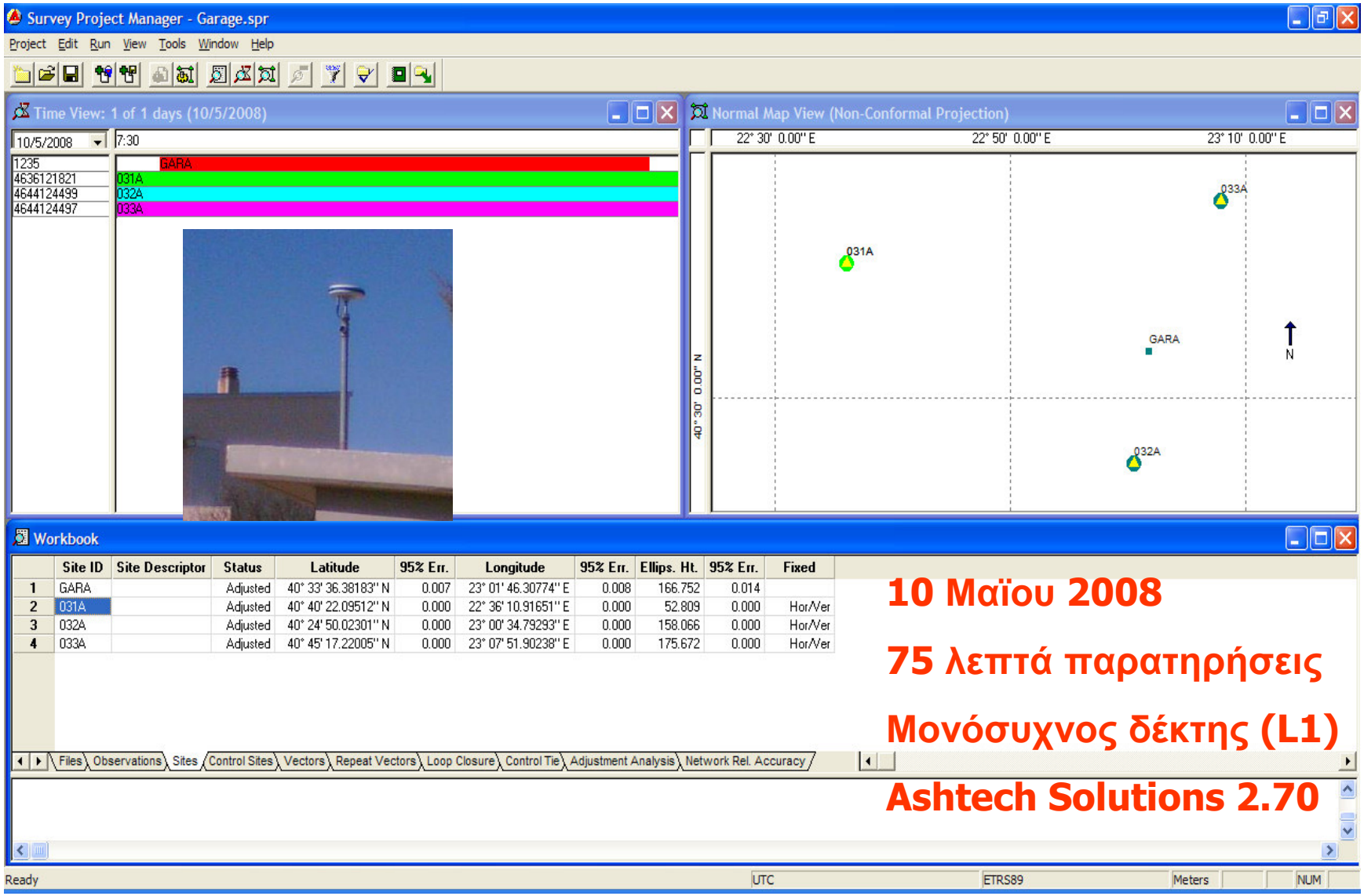
αφού ελήφθησαν υπόψη τα offsets που ζητήσαμε για τη μετάθεση από ITRF2005/2007.79 > ETRF2005/2007.5 :

0.3839 -0.2912 -0.2361

3. Οι διαφορές της λύσης του Αναδόχου σε σχέση με τη λύση του ΑΠΘ (ETRF2005/2007.5) είναι στο επίπεδο του εκατοστού, με εξαίρεση τους σταθμούς 060A, 063A, 068A (3.5 εκατοστά), πού οφείλονται, όχι μόνο στο λογισμικό, αλλά και στη χρονική διάρκεια των δεδομένων (weeks 1448 & 1449 = 14 ημέρες, έναντι 2 ημέρες δεδομένων του ΑΠΘ).

Επισημαίνουμε ότι οι τρείς σταθμοί είναι στην Αν. Πελοπόννησο – Λευκάδα.

1η λύση στο ETRF2005 : GARA (L1) από 31,32,33 (HEPOS)



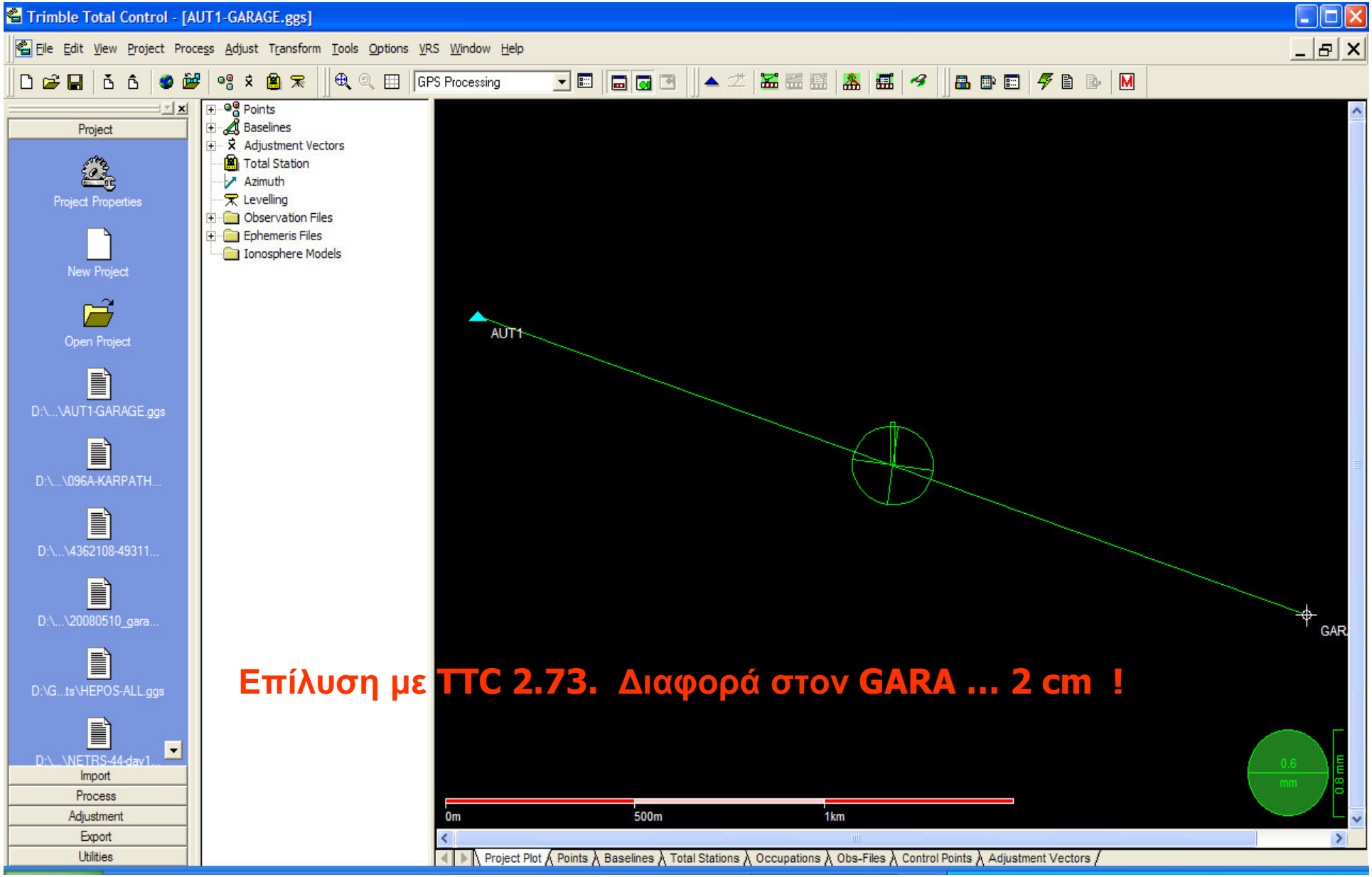
10 Μαΐου 2008

75 λεπτά παρατηρήσεις

Μονόσυχνος δέκτης (L1)

Ashtech Solutions 2.70

2η λύση στο ETRF2005 : GARA (L1) από AUT1



Επίλυση με TTC 2.73. Διαφορά στον GARA … 2 cm !

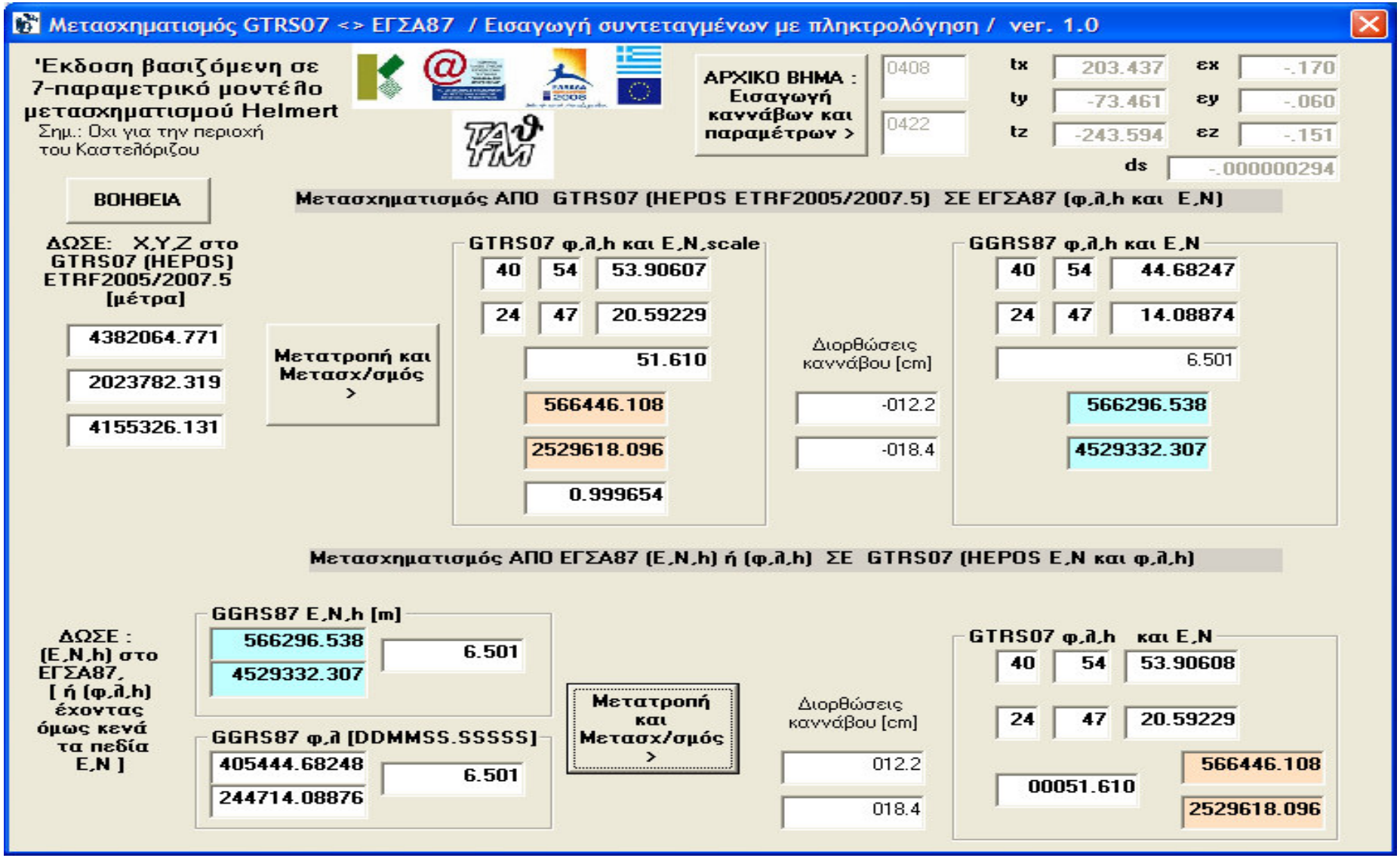
Δίκτυο Θεσ/νίκη - Χαλκιδική

112017

ETRF2005 / 2007.5

Διαφορές με το ΠΜΣ
2.2 cm (3D)

Λογισμικό HTRS07 <> ΕΓΣΑ87



H=h-N στο σημείο 001009

ορθομετρικό Η (ΓΥΣ) = 9.85 + 1.08 (υ.β.) = **10.930**

Μετρηθέν (HTRS07)	h	= 51.610	
EGM08 [ZT+ΔW(-0.442)+bias(-0.377)]	N	= 40.700	
Προκύπτον	H	= **10.910**	**2cm**

Μετασχηματισθέν στο ΕΓΣΑ87	h	= 6.501	
χάρτης γεωειδούς (ΟΚΧΕ)	N	= -4.600	
Προκύπτον	H	= **11.101**	**17cm**

ddd.txt - Notepad

File Edit Format View Help

it	Lat.	Lon.	h or r	Horth	zeta	C	N
1	40.914974	24.789053	0.000	0.000	41.519	0.000	41.519