

Δ. Δεληκαράογλου και Γ. Κατσιγιάννη, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

**“Διερευνώντας τις δυνατότητες των
συστημάτων GNSS του αύριο... σήμερα”**

**Ημερίδα: “Δορυφορική Γεωδαισία: Σύγχρονα
Συστήματα και Εφαρμογές”**

26 Μαΐου 2010

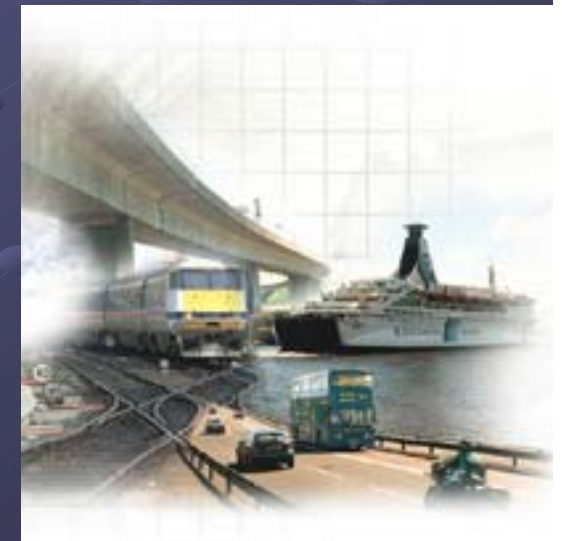
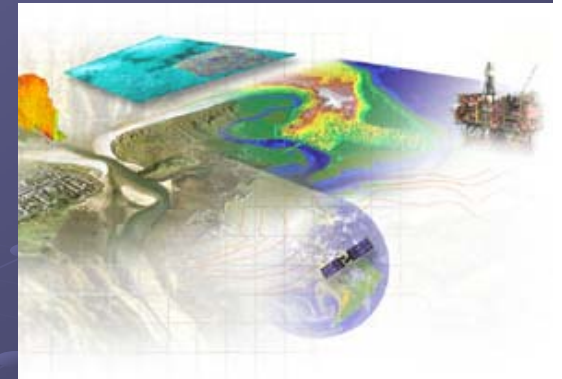
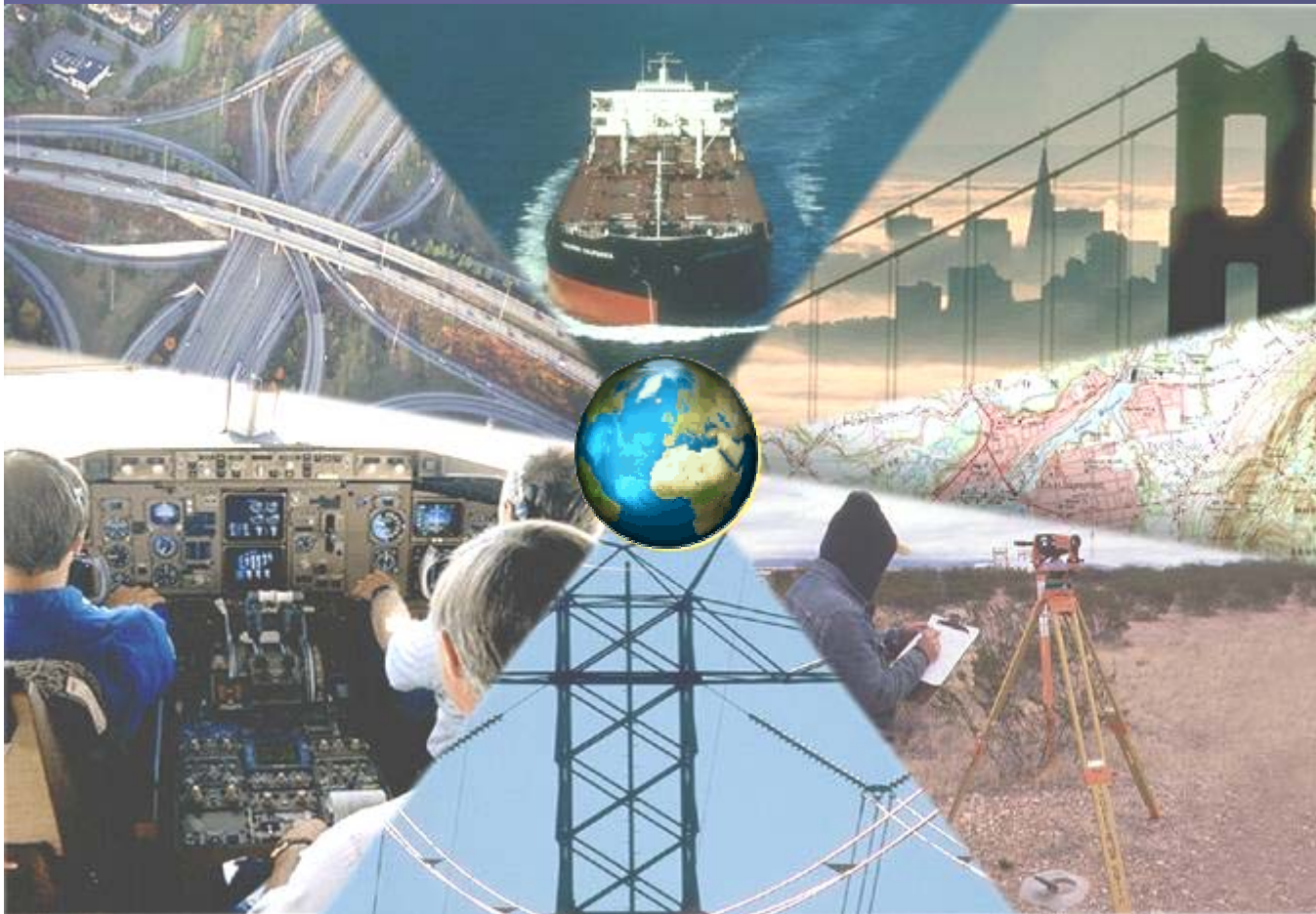
**ΤΕΙ Αθήνας,
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Τοπογραφίας**

Δορυφορικά συστήματα GNSS ? Global Navigation Satellite Systems



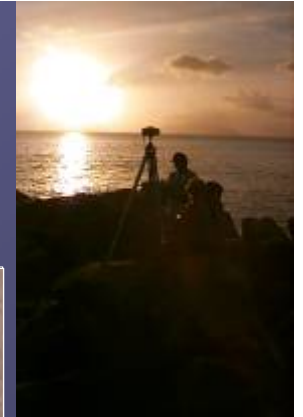
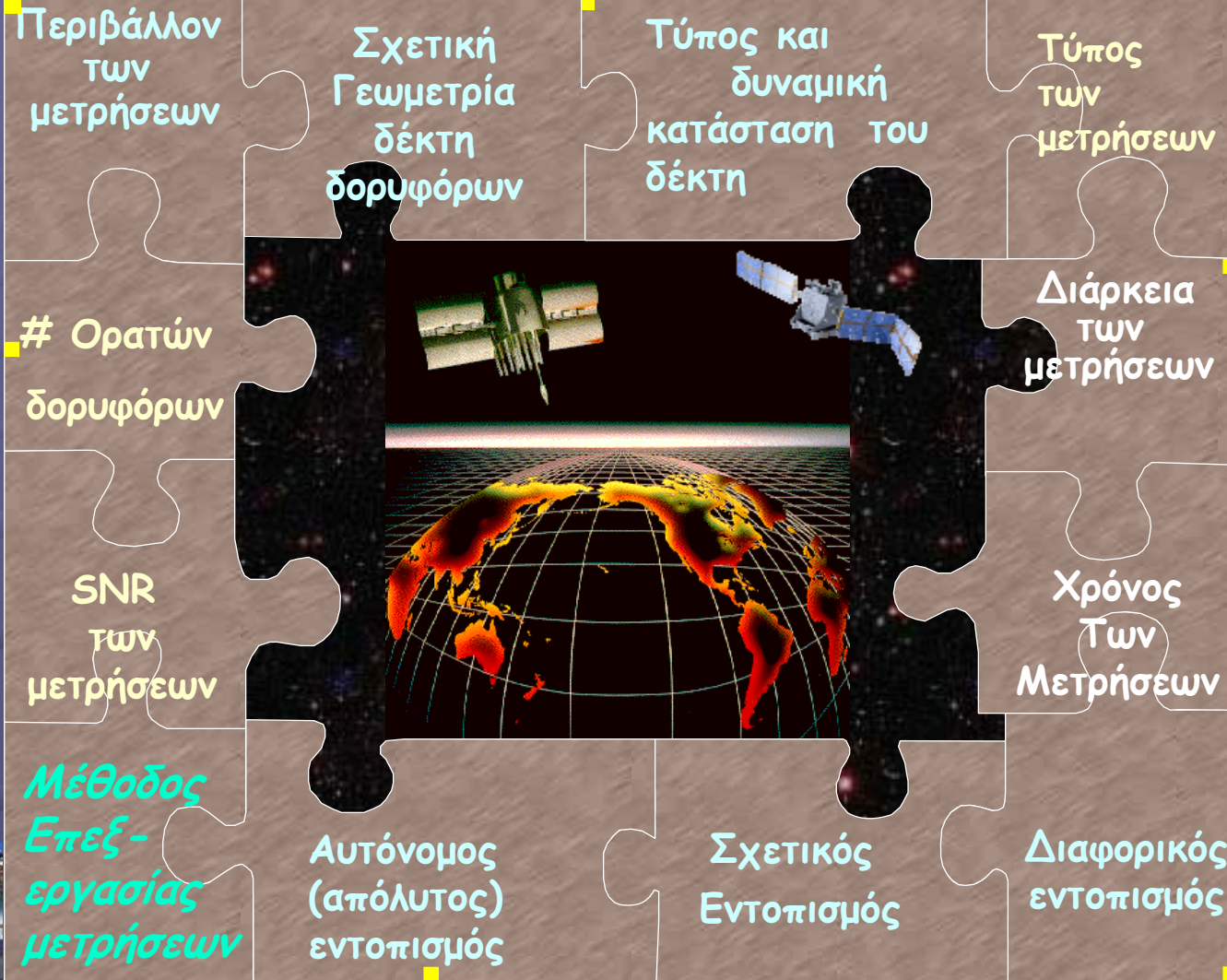
Διαλειτουργικά
συστήματα
δορυφορικού
εντοπισμού και
πλοήγησης ενισχυμένα
με άλλες τεχνολογίες
(π.χ. τηλεπικοινωνίες)
ώστε να υποστηρίξουν
απαιτητικές εφαρμογές
εντοπισμού και
αξιοποίησης της
γεωγραφικής θέσης
του χρήστη

GNSS: Καθοριστικά χαρακτηριστικά

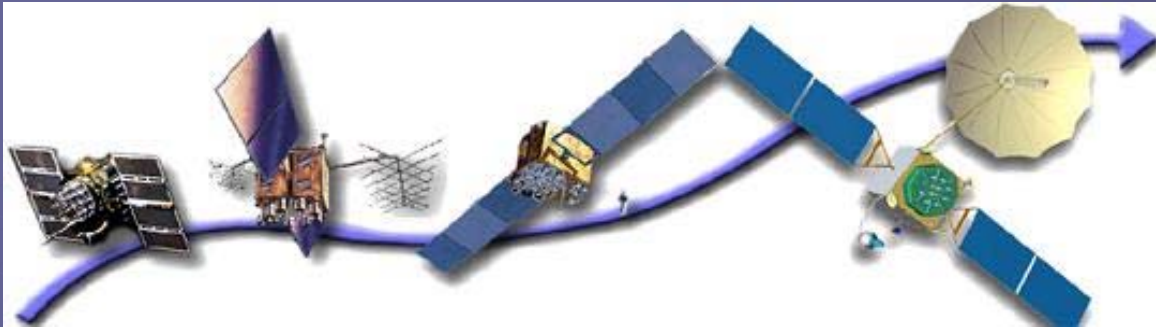


- Νέες τεχνολογίες δορυφόρων, σήματα με εξαιρετικές ιδιότητες για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων, επίγειες υποδομές, ...
- Διαθεσιμότητα και ακρίβεια: σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες και το είδος των δεκτών (GPS + GALILEO + SBAS)

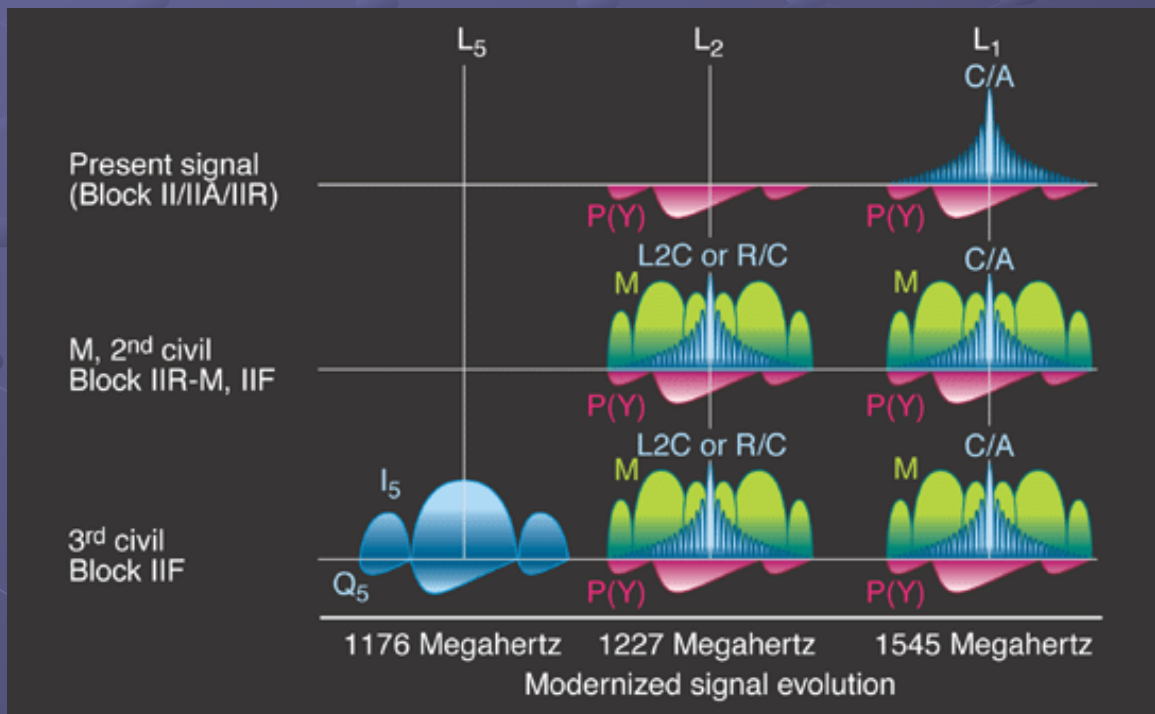
Ακρίβεια εντοπισμού ? Εξαρτάται από σειρά παραγόντων



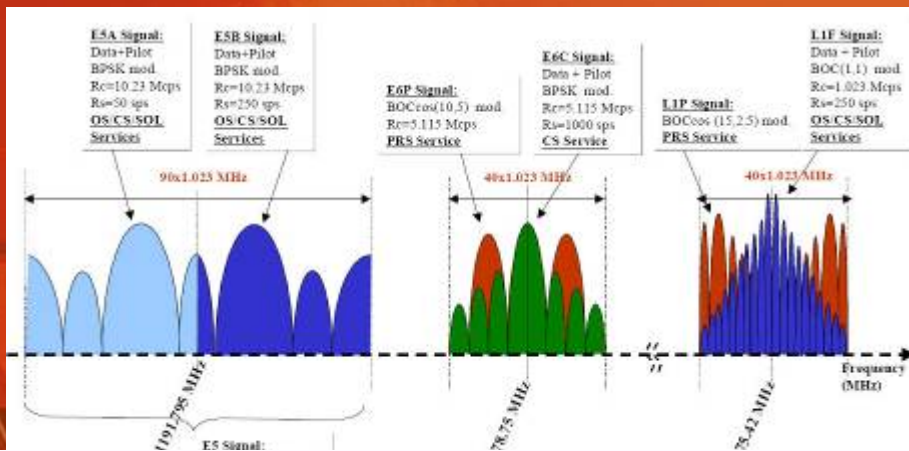
GPS 3ης γενιάς



- 31 δορυφόροι (13 II-A, 13 II-R, 5 II-M) – περισσότεροι παρά ποτέ
- Σήμερα $\mu_{URE} = 0.51m$ (από 6m με τις αρχικές προδιαγραφές)
- Προηγμένες διατάξεις προσδιορισμού ραδιοσυχνοτήτων
- Μικρούργηση νέων δεκτών
- Μείωση κατανάλωσης ενέργειας σε συνέργεια με τηλεπικοινωνίες
- Ακόμα και λύσεις «εσωτερικού χώρου» είναι υπό ανάπτυξη



Πολλές εφαρμογές GNSS θα ωφεληθούν από τις αλληλοσυμπληρούμενες τεχνολογίες GPS, GALILEO και GMES, SBAS

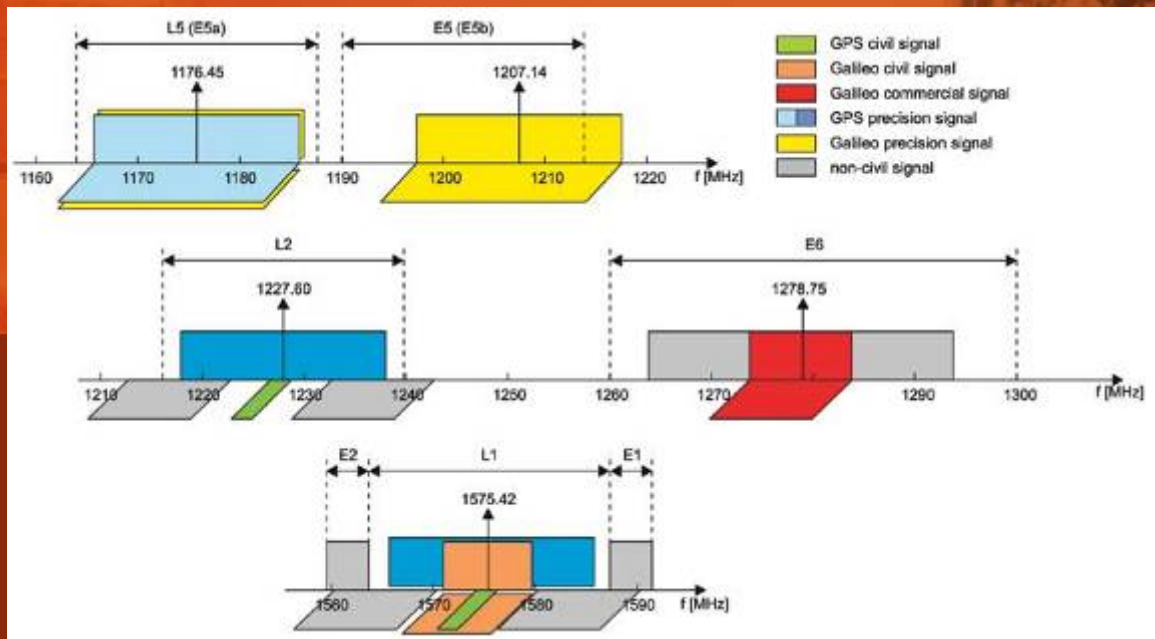


Η εξέλιξη των αναγκών των χρηστών τείνει προς την ανάπτυξη

- ολοκληρωμένων συστημάτων επικοινωνιών,
- μετεωρολογίας,
- εντοπισμού και παρακολούθησης σε πολλά πεδία υψηλής στρατηγικής σημασίας, και οικονομικής αξίας και κοινωνικής ωφέλειας

Ζώνη Συχνοτήτων	Συχνότητα φέροντος κύματος (MHz)	Εύρος ζώνης μετάδοσης (MHz)
E5a/L5	1176,450	
E5b	1207,140	
E5 (E5a+E5b)	1191,795	90 x 1,023
E6	1278,75	40 x 1,023
E2-L1-E1	1575,42	40 x 1,023
L1(μόνο)	1575,42	32 x 1,023

Εύρος ζώνης μετάδοσης και κεντρική συχνότητα για κάθε ζώνη

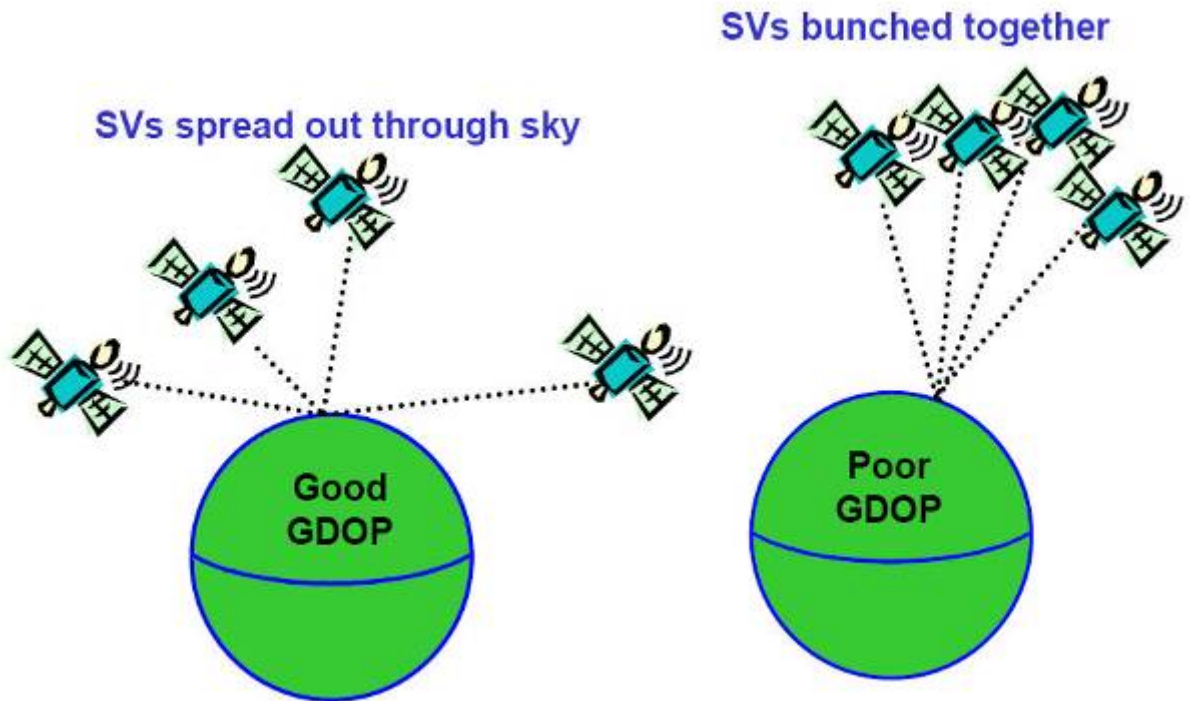
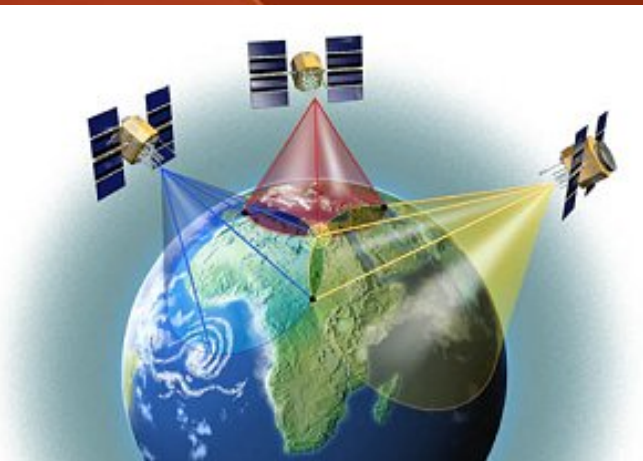
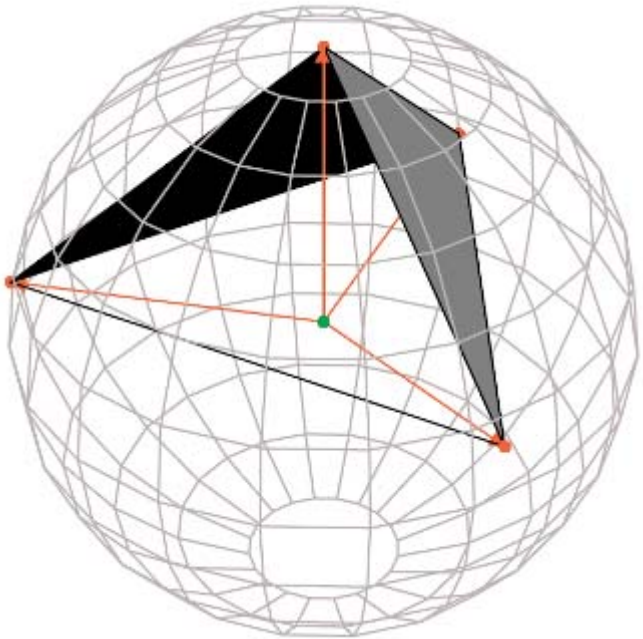


Τυπικός οδικός χάρτης αξιοποίησης των νέων δυνατοτήτων των συστημάτων GNSS

Παράλληλα με την ανάπτυξη των νέων συστημάτων GNSS, είναι απαραίτητο να ερευνηθούν διαφορετικές “περιοχές αξιολόγησης” τους, όπως οι αναμενόμενες επιδόσεις σε διάφορα πεδία εφαρμογής / μελετών (τεχνικές ανάλυσης, υποδομές, ανάγκες της αγοράς, πρότυπα, ρυθμιστικές ενέργειες, ...)

- **Δοκιμές σε πραγματικό περιβάλλον και χρησιμοποιώντας πραγματικά σήματα από τους δορυφόρους**
- Υπάρχουν εφαρμογές GNSS για το EGNOS και GALILEO όπου οι αυξημένες δυνατότητες (π.χ. μεγαλύτερη ακρίβεια, ακεραιότητα, εγγύηση των υπηρεσιών, πληροφορίες εγγύτητας, κλπ.) μπορεί να αποδειχθούν ένας σημαντικός "καταλύτης" για νέες αγορές και ανάπτυξη τεχνολογιών (π.χ. έξυπνα συστήματα μεταφορών)

Η τελικά εφικτή απόδοση είναι πάντα συνάρτηση της σχετικής γεωμετρίας χρηστών-δορυφόρων ...



$$A = \begin{pmatrix} D_{x1} & D_{y1} & D_{z1} & D_{t1} \\ D_{x2} & D_{y2} & D_{z2} & D_{t2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{xn} & D_{yn} & D_{zn} & D_{tn} \end{pmatrix}$$

Πίνακας σχεδιασμού
(Sat_i, User_j)

$$P = (A^T A)^{-1}$$

- Δείκτες γεωμετρικής ισχύος - DOP



$$GDOP = \sqrt{P_{1,1} + P_{2,2} + P_{3,3} + P_{4,4}}$$

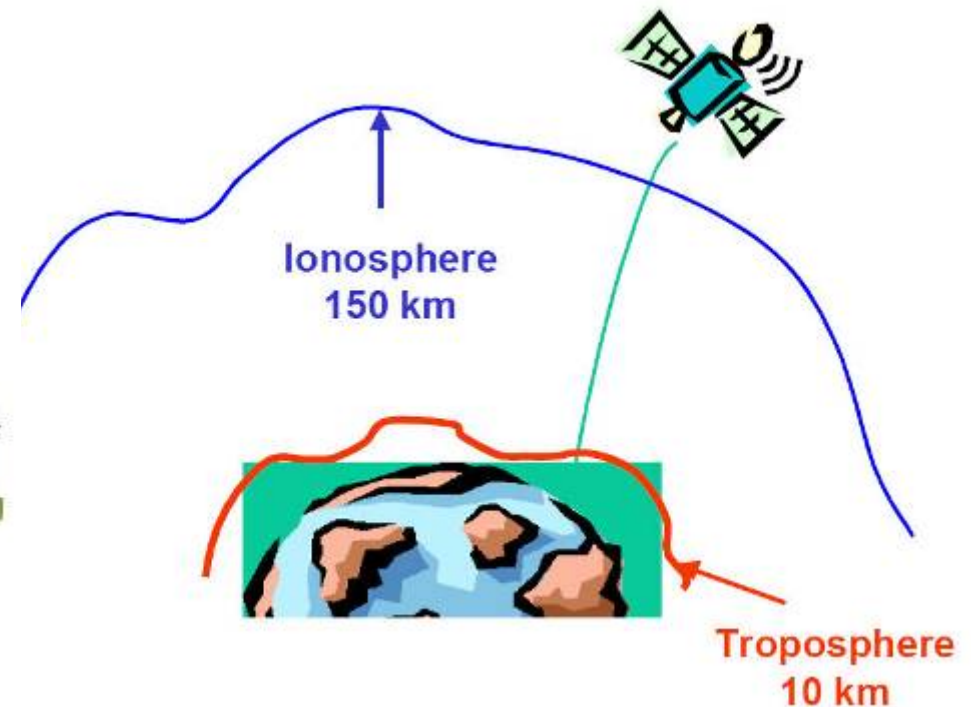
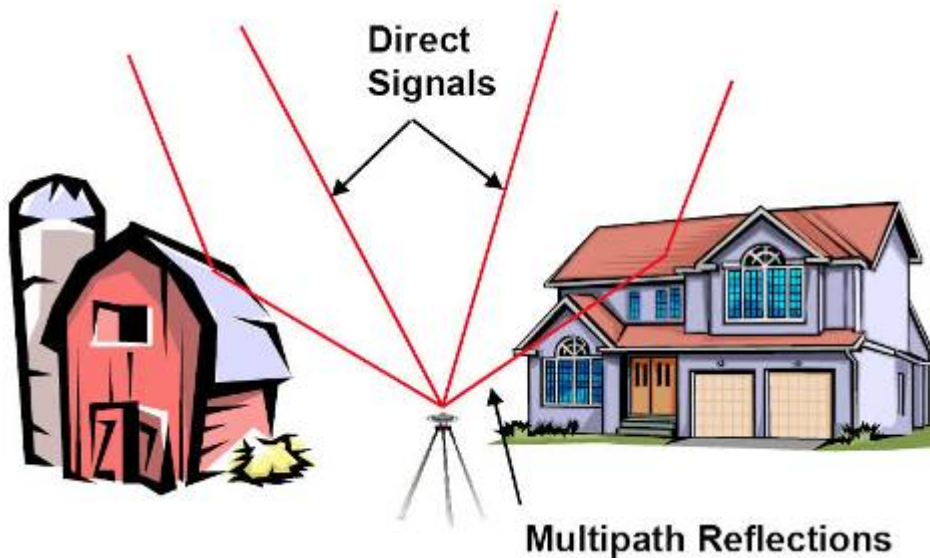
$$PDOP = \sqrt{P_{1,1} + P_{2,2} + P_{3,3}}$$

$$HDOP = \sqrt{P_{1,1} + P_{2,2}}$$

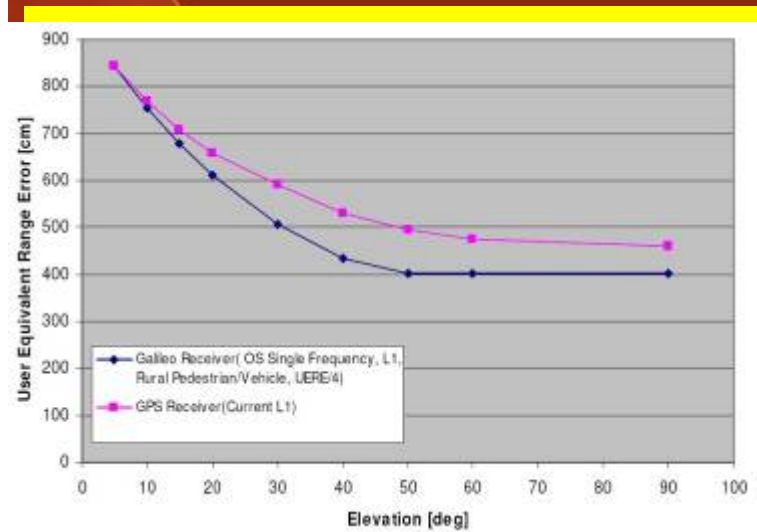
$$VDOP = \sqrt{P_{3,3}}$$

$$TDOP = \sqrt{P_{4,4}}$$

Η τελικά εφικτή απόδοση είναι πάντα συνάρτηση της Γεωμετρίας χρηστών-δορυφόρων & της δυνατότητας 'απεξάρτησης' από τα σφάλματα των σημάτων και των μετρήσεων



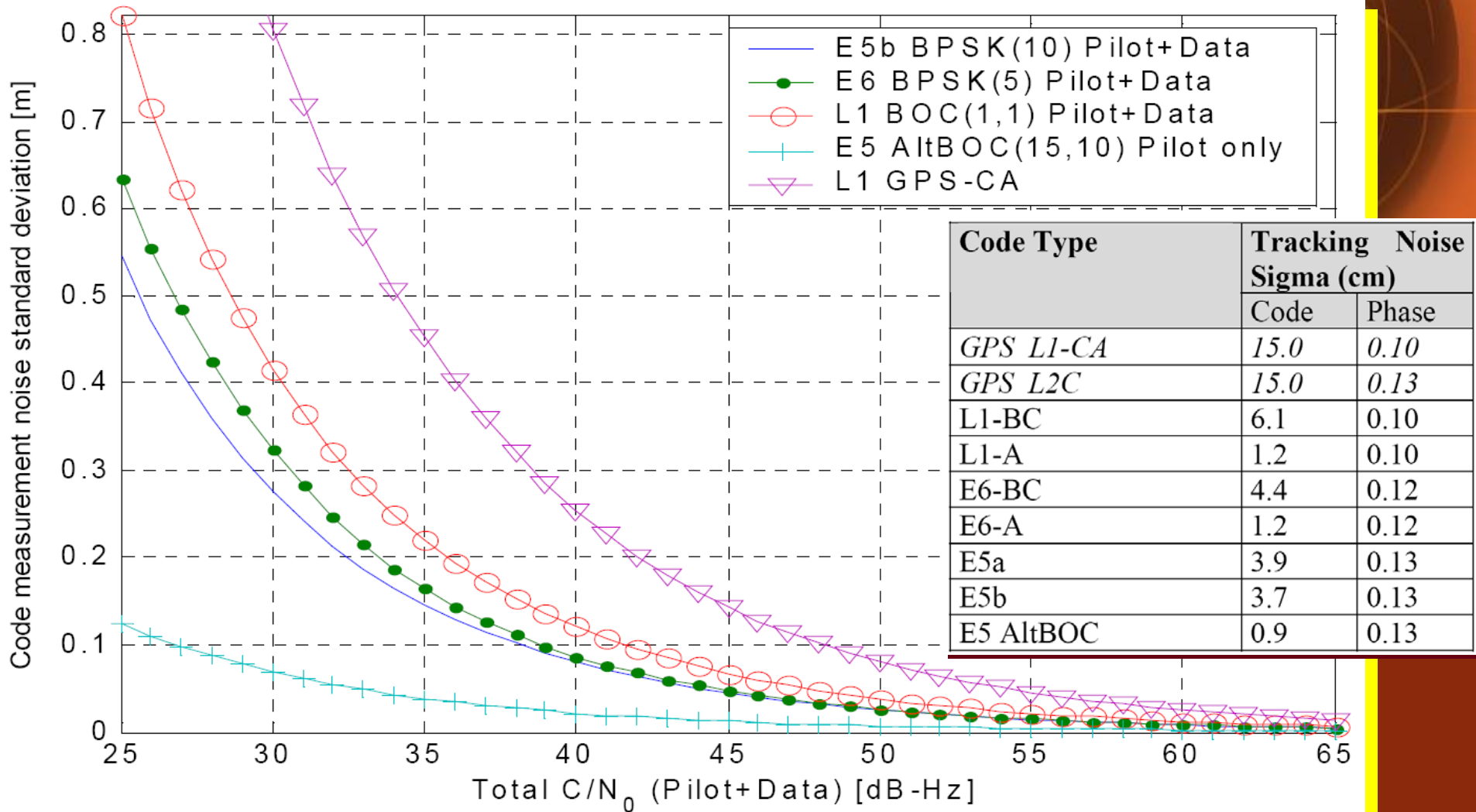
Error Source	Elevation angle [deg]								
	5	10	15	20	30	40	50	60	90
Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
OD&TS	87	87	87	87	87	87	87	87	87
Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
Thermal Noise, Interference, Multipath Random	47	39	33	27	20	16	14	14	14
Multipath Bias	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (1-sigma error [cm])	168	122	107	100	94	91	90	90	90
Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	184	134	117	109	103	101	99	99	98



User Equivalent Range Error (cm)		5	10	15	20	30	40	50	60	90
Galileo Receiver (OS Single Frequency, L1, Rural Pedestrian/Vehicle, UERE@)	cm	190	136	115	104	96	93	92	91	91
GPS current L1	cm	844	770	709	659	581	529	496	476	460
GPS II L1/L5	cm	227	186	171	164	159	157	156	156	156
GPS III L1/L5	cm	190	136	115	104	96	93	92	91	91

Σήματα GALILEO vs GPS

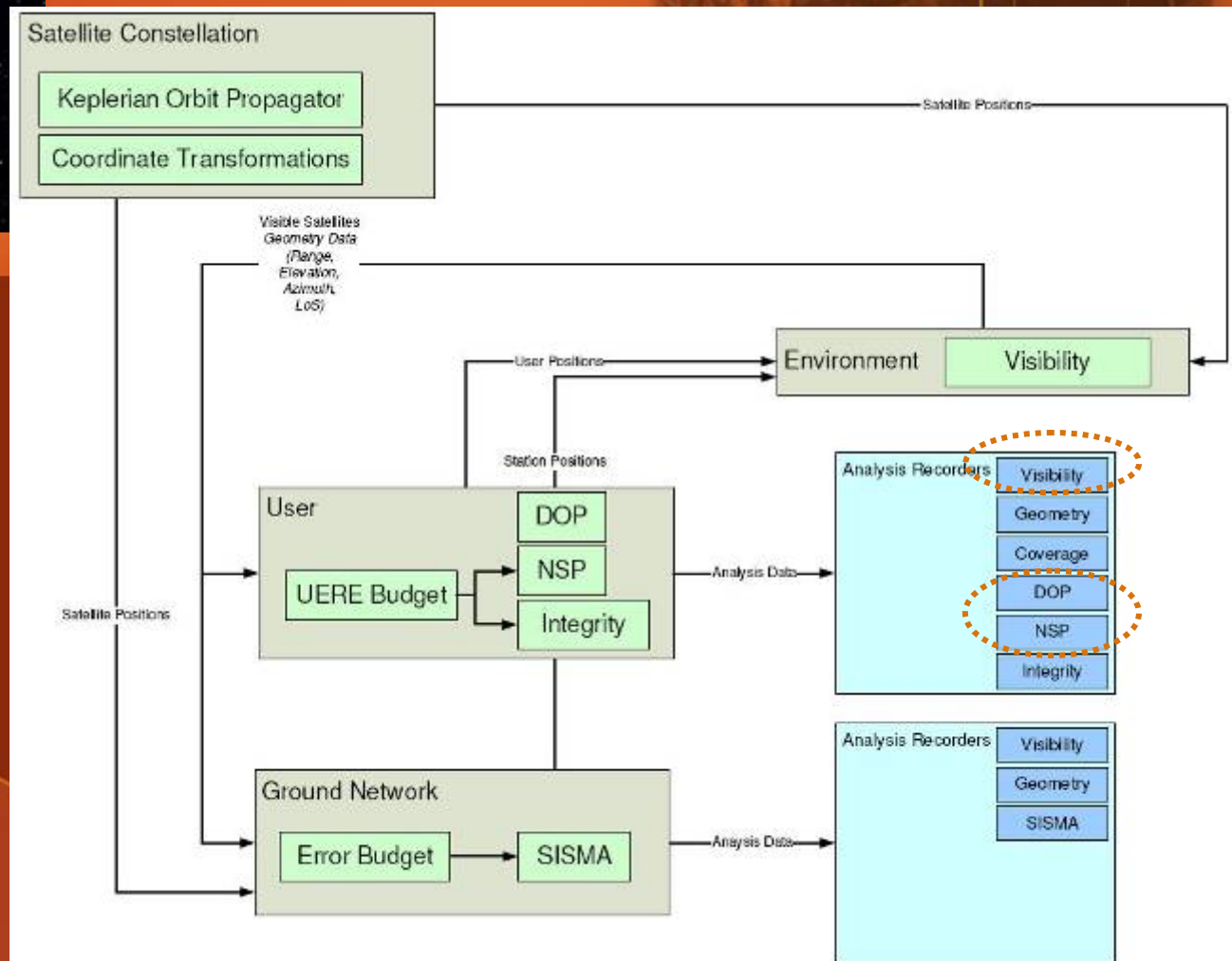
Τυπικός θόρυβος μετρήσεων



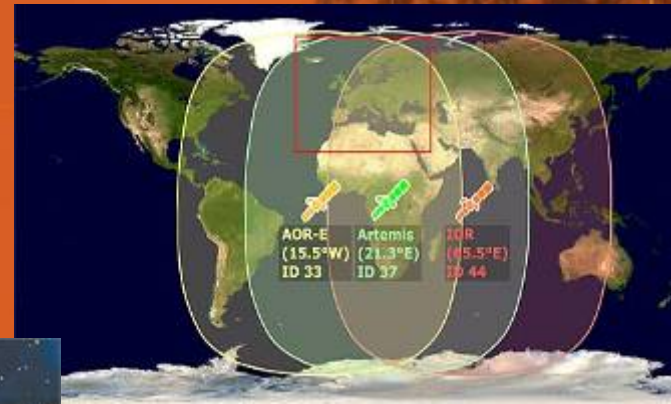
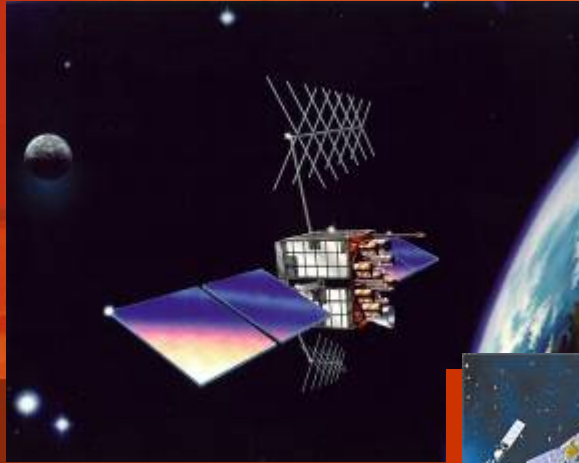
Διαδικασία Προσομοίωσης

- GALILEO
- GPS
- SBAS
- LEO Sats
- Στατικούς & κινούμενους χρήστες

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ



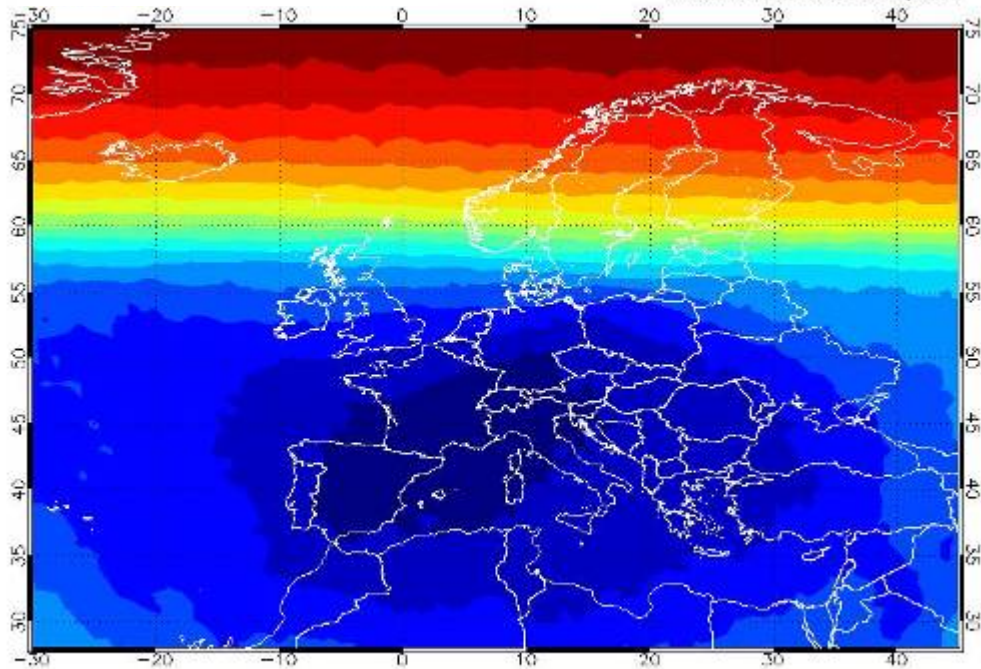
Διερεύνηση Γεωμετρικής Απόδοσης GPS, EGNOS, GIOVE/GALILEO



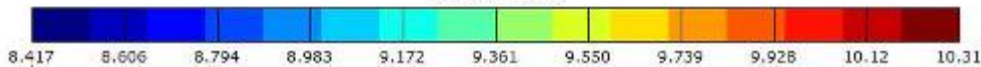
GPS: Ορατότητα δορυφόρων

Number of visible Satellites_Grid_[1]

Statistics of Receiver Visibility Data

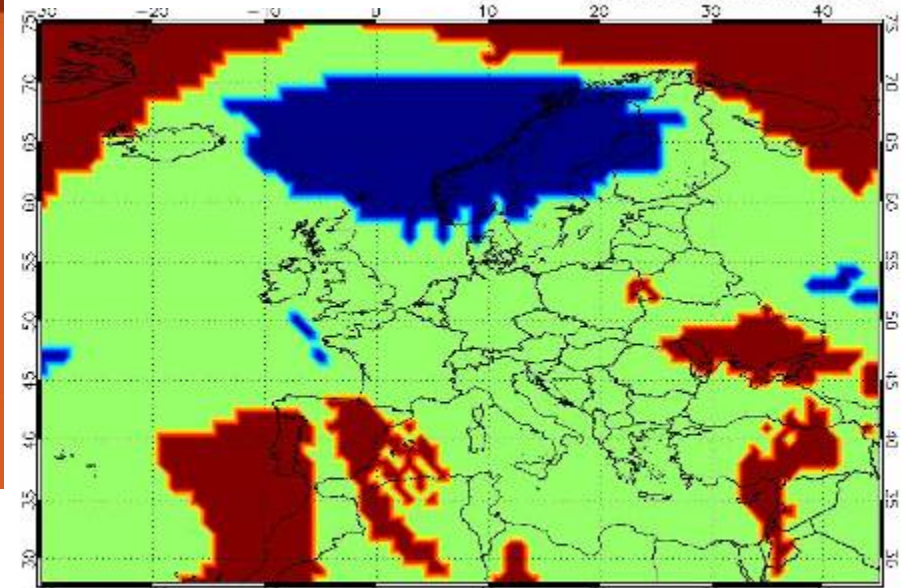


Arithmetic Mean

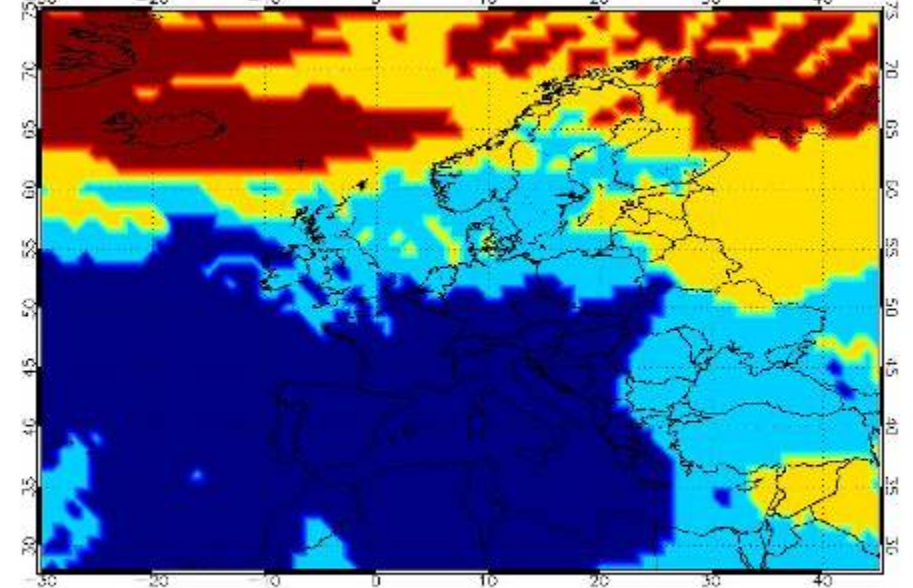
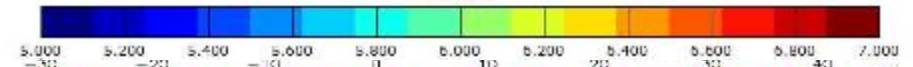


Number of visible Satellites_Grid_[1]

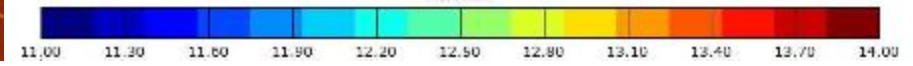
Statistics of Receiver Visibility Data



Minimum



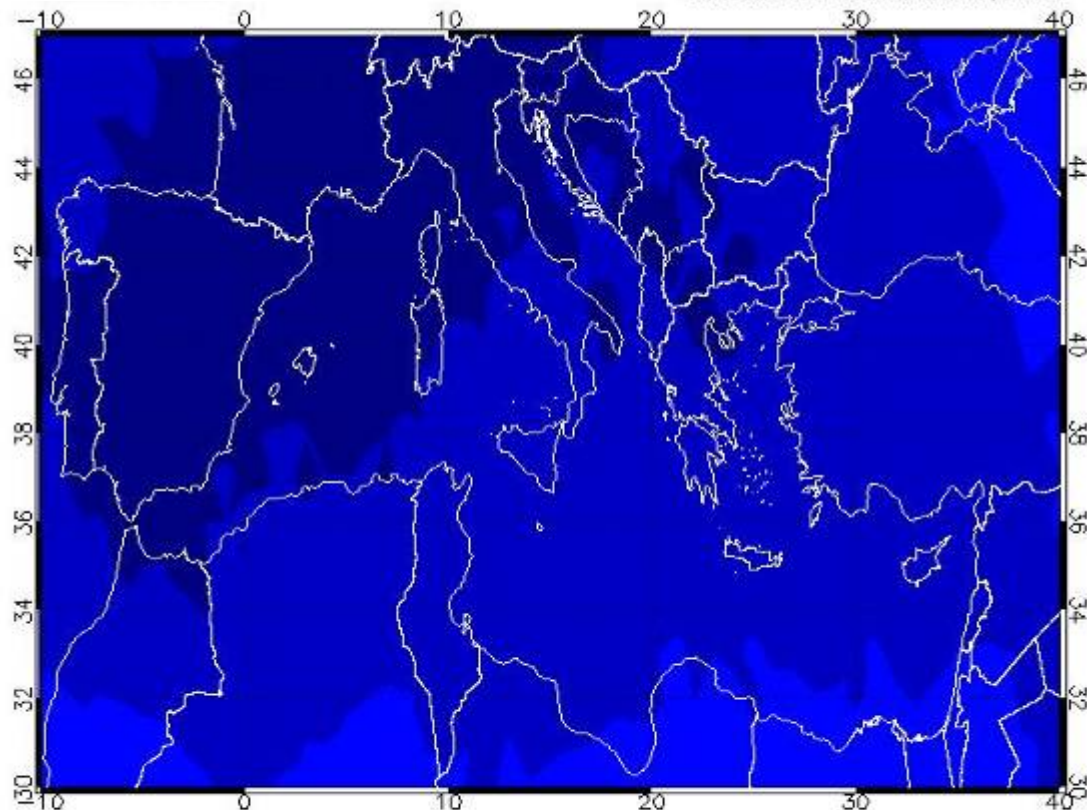
Maximum



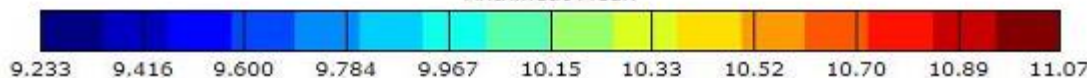
GPS & GIOVE-A,-B: Ορατότητα δορυφόρων

Number of visible Satellites_Grid_[1]

Statistics of Receiver Visibility Data

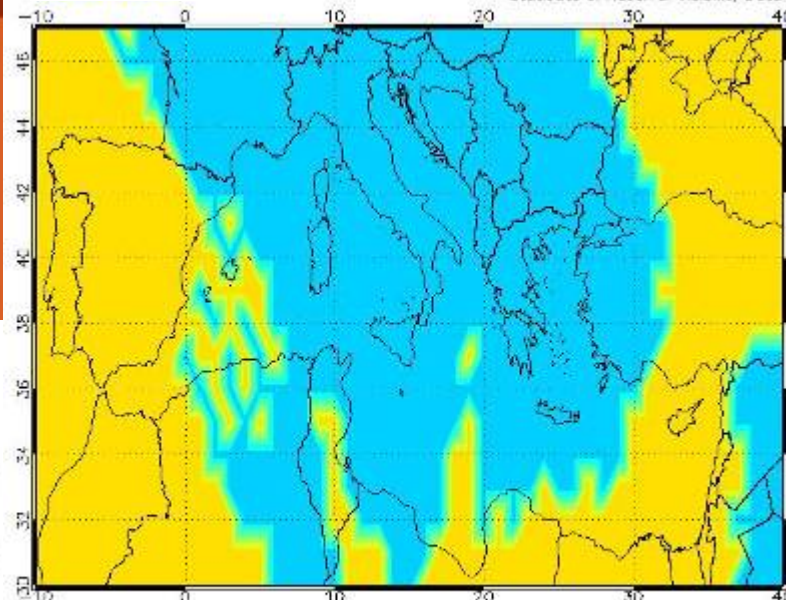


Arithmetic Mean

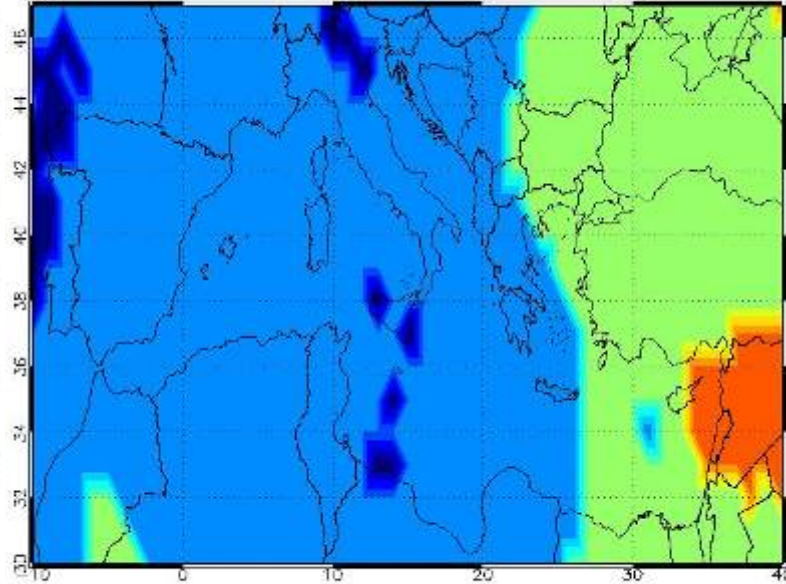
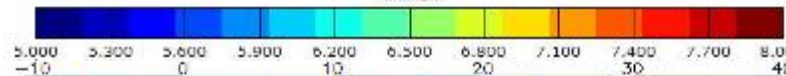


Number of visible Satellites_Grid_[1]

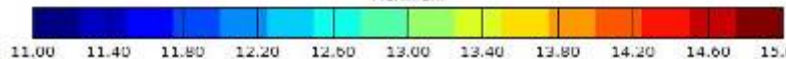
Statistics of Receiver Visibility Data



Minimum

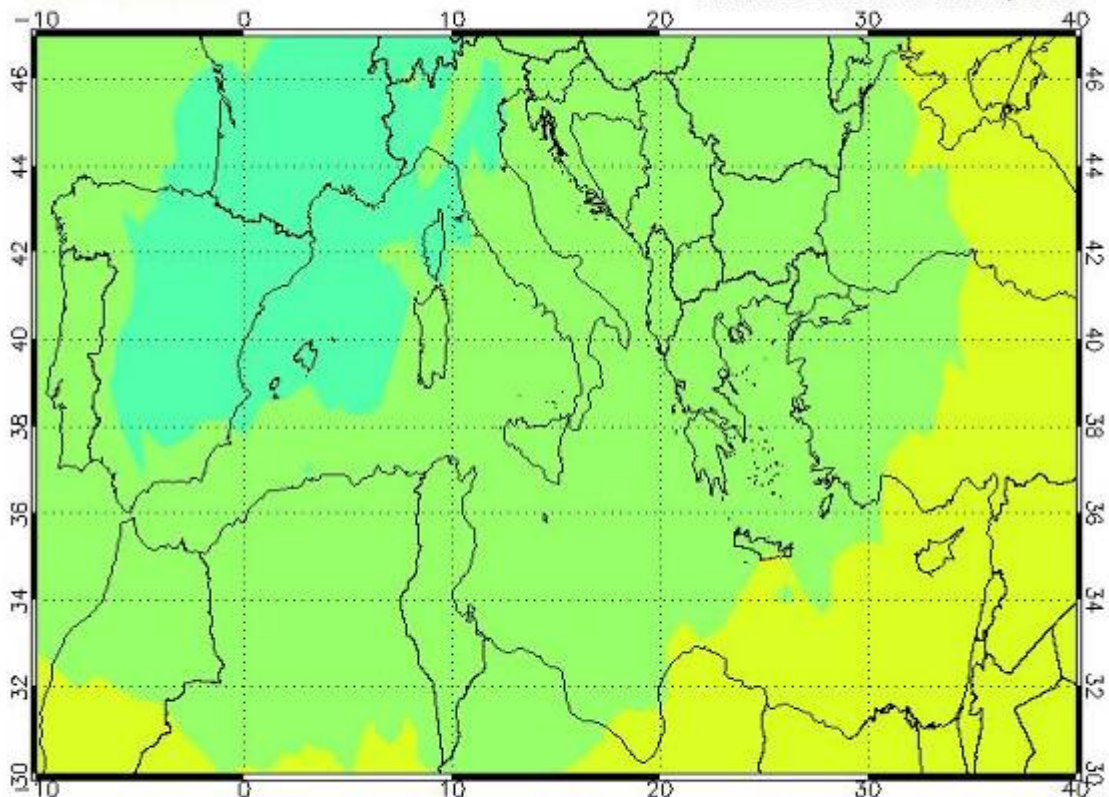


Maximum

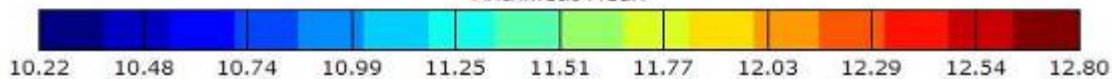


GPS & GIOVE-A,-B & 3 EGNOS: Ορατότητα δορυφόρων

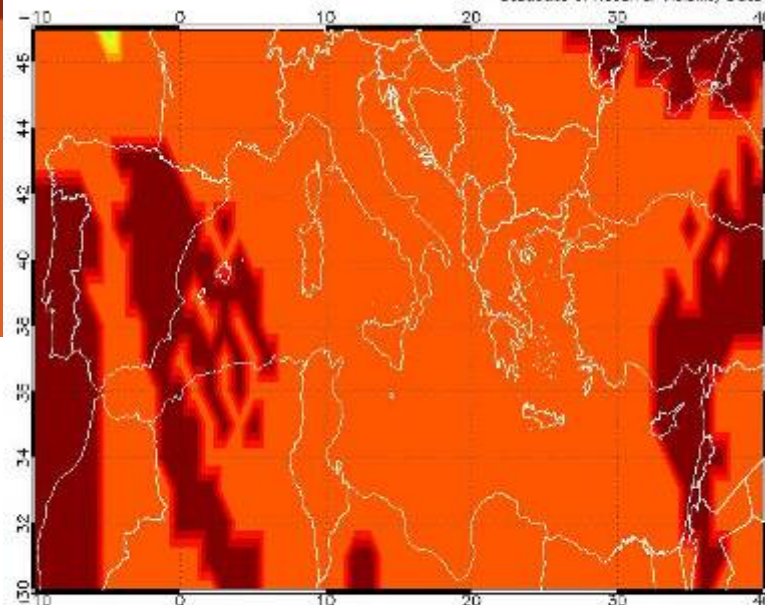
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



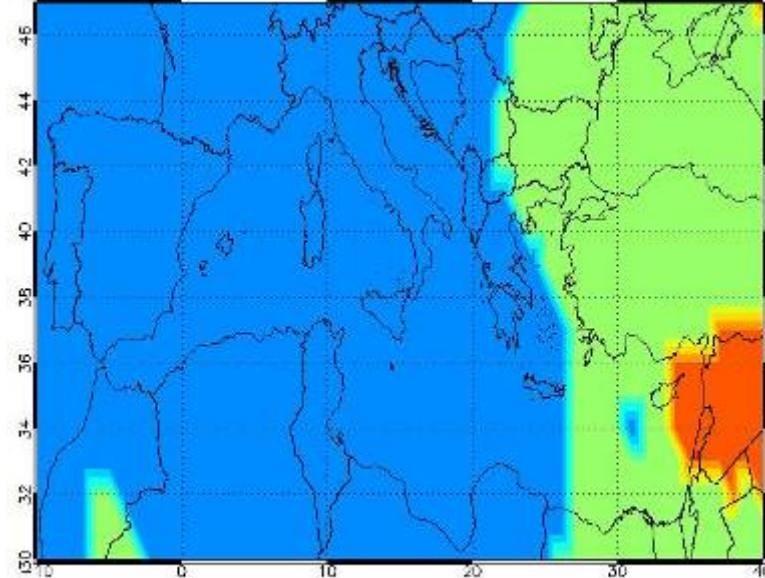
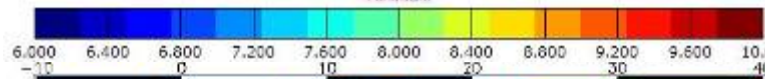
Arithmetic Mean



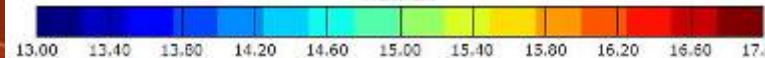
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



Minimum

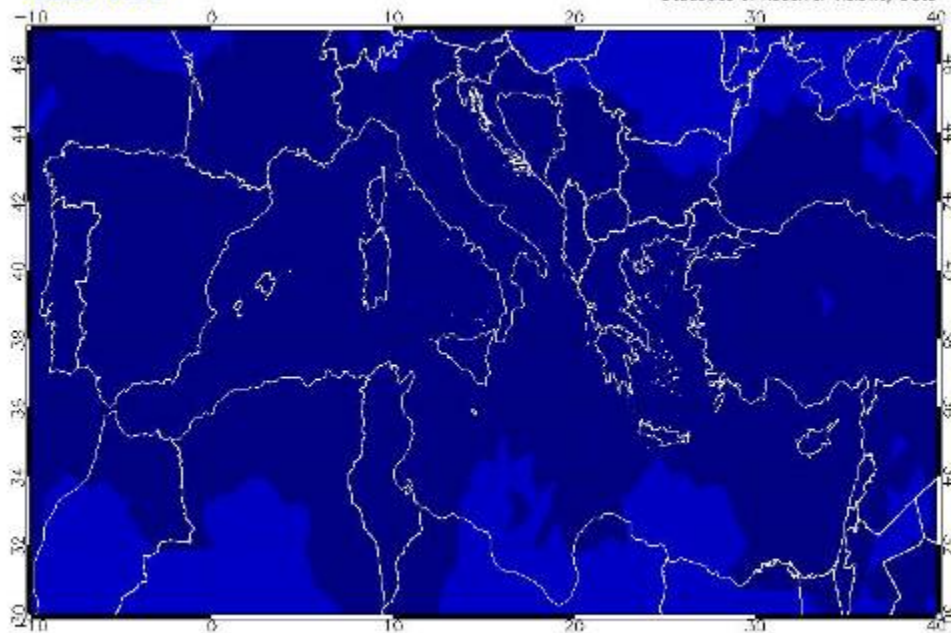


Maximum

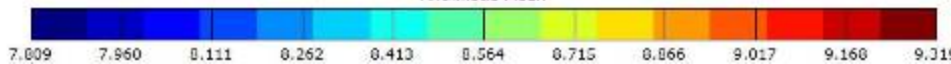


GALILEO: Ορατότητα δορυφόρων

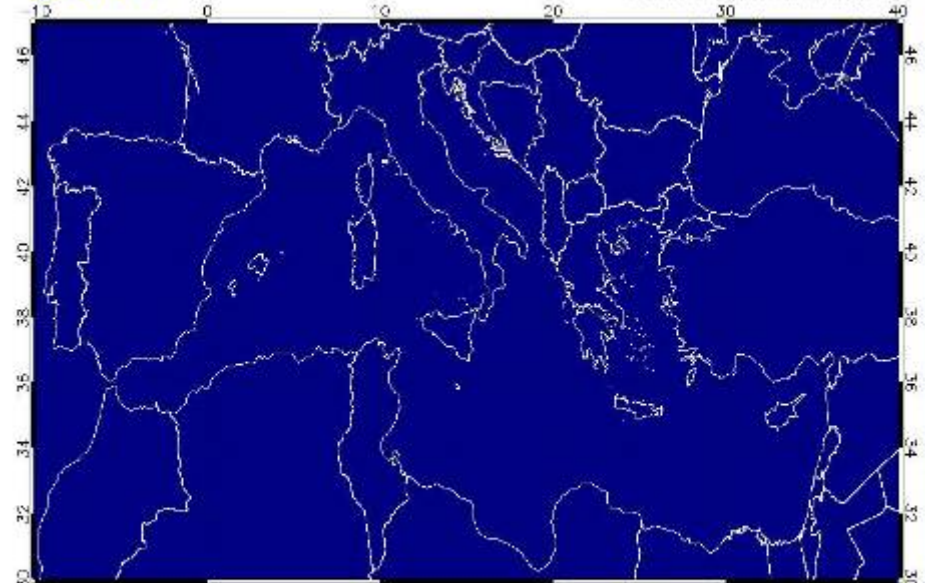
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



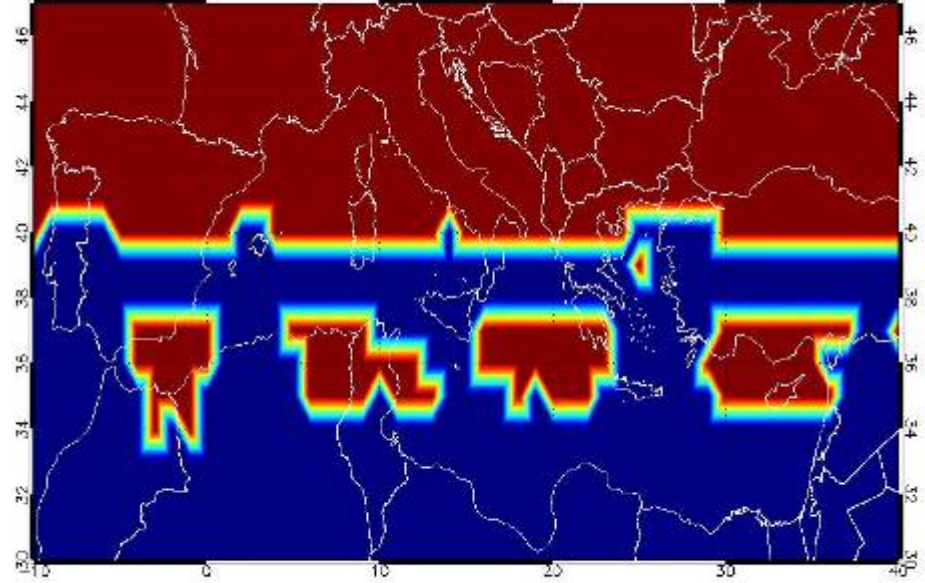
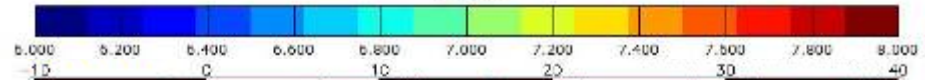
Arithmetic Mean



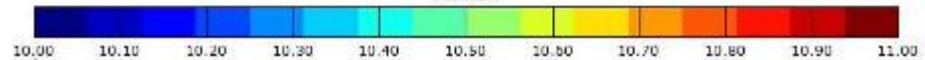
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



Minimum

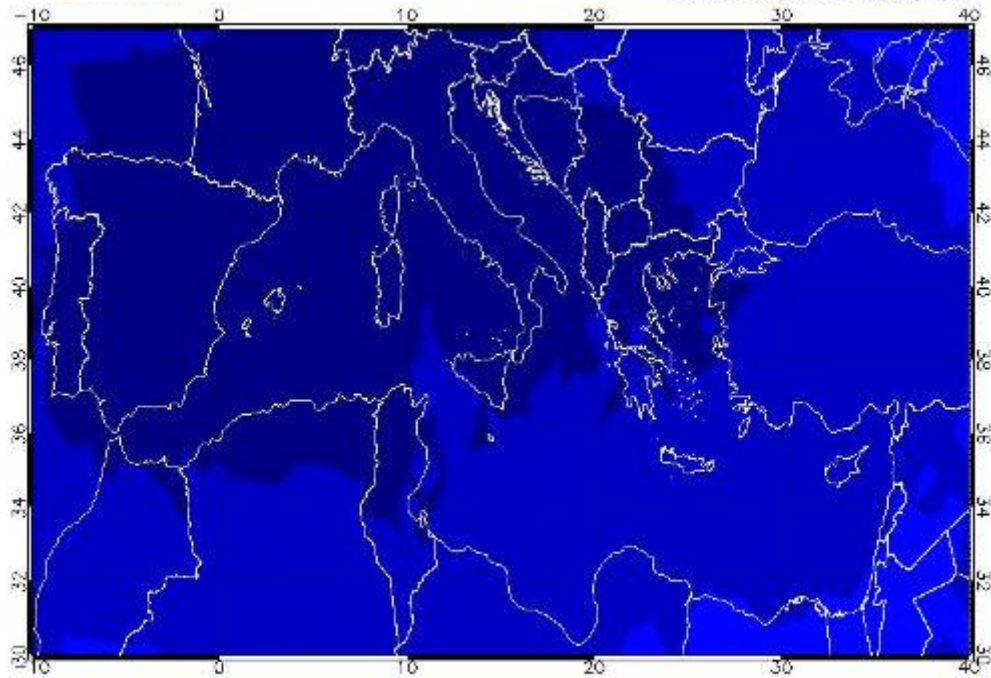


Maximum

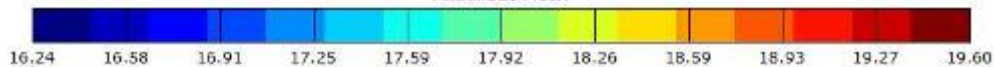


GPS & GALILEO: Ορατότητα δορυφόρων

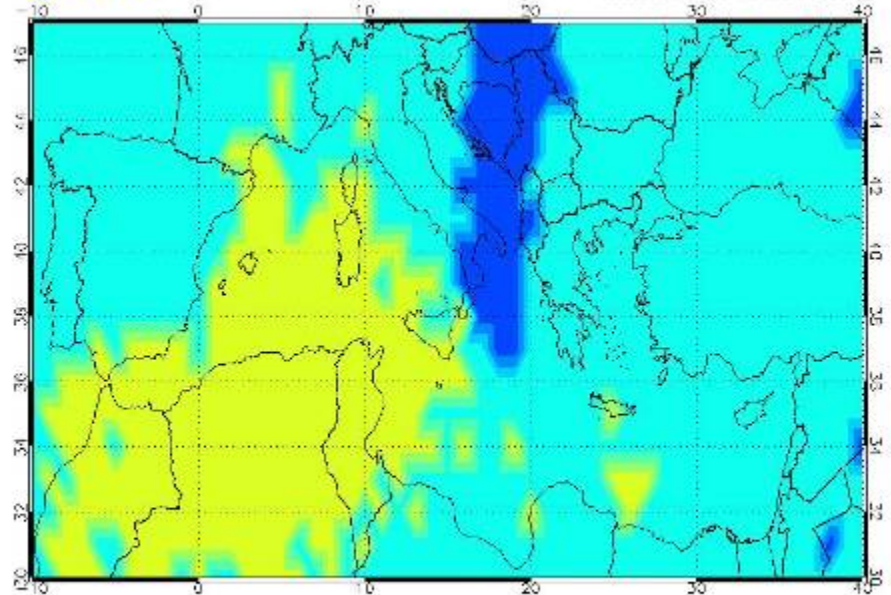
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



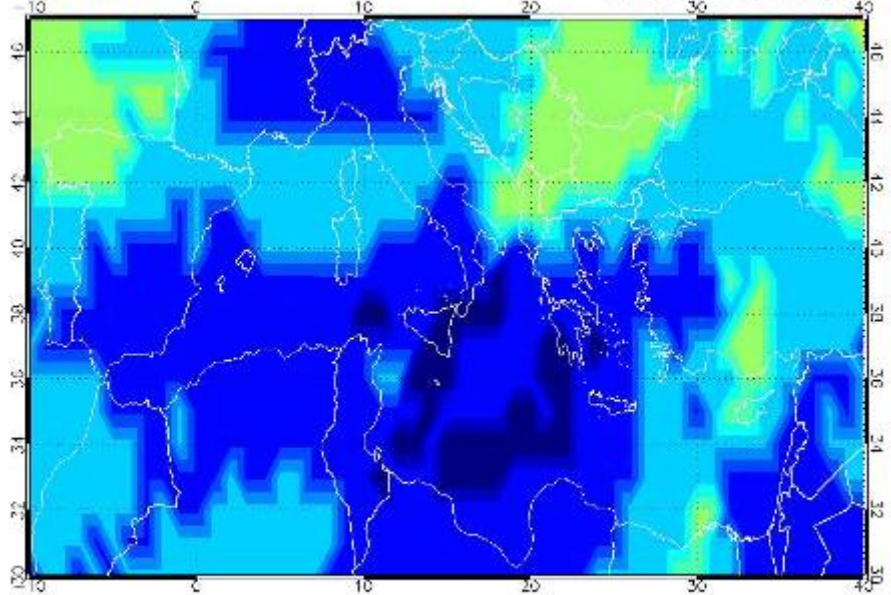
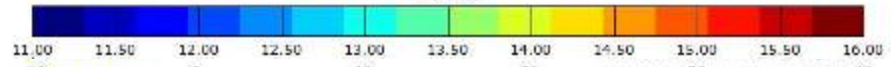
Arithmetic Mean



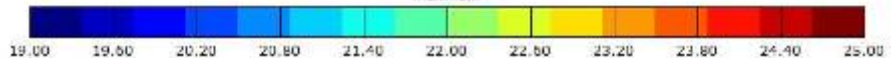
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



Minimum

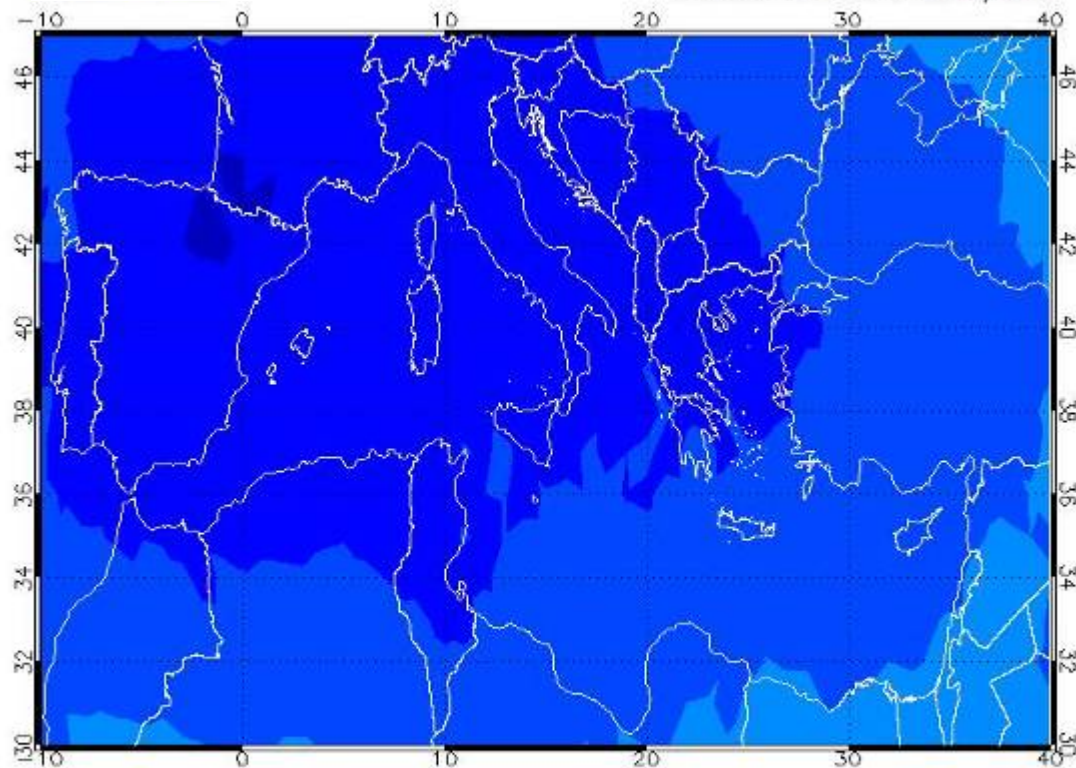


Maximum

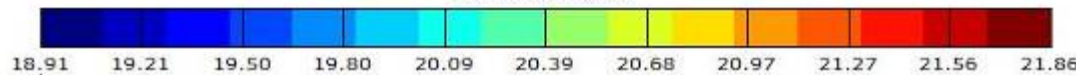


GPS & GALILEO & 3 EGNOS: Ορατότητα δορυφόρων

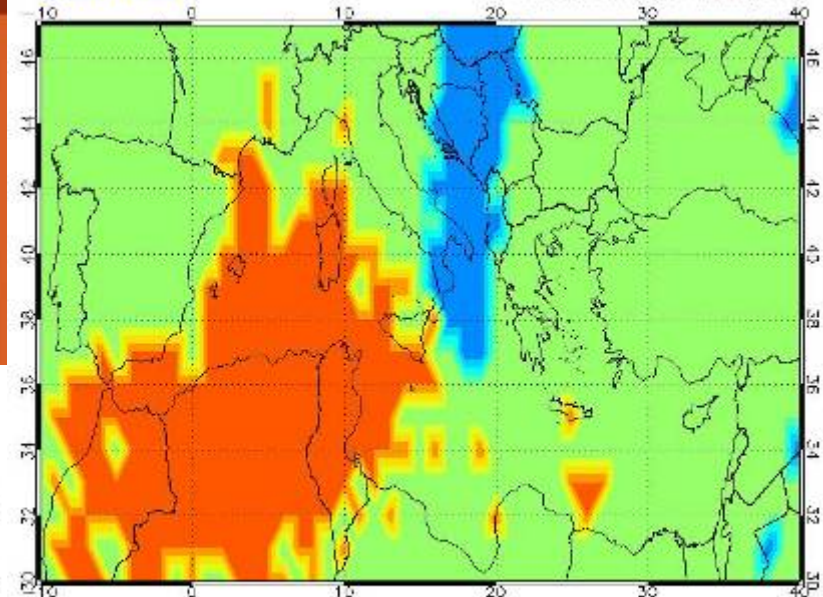
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



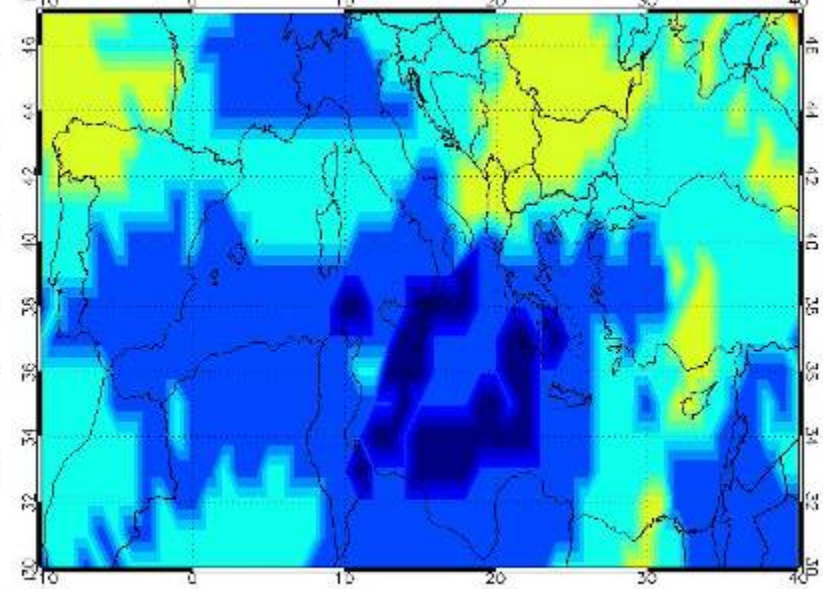
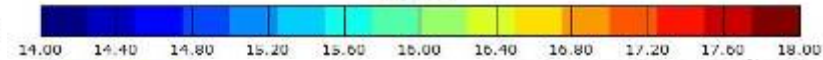
Arithmetic Mean



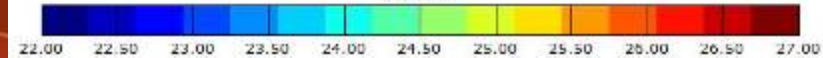
Number of visible Satellites_Grid_[1]
Statistics of Receiver Visibility Data



Minimum



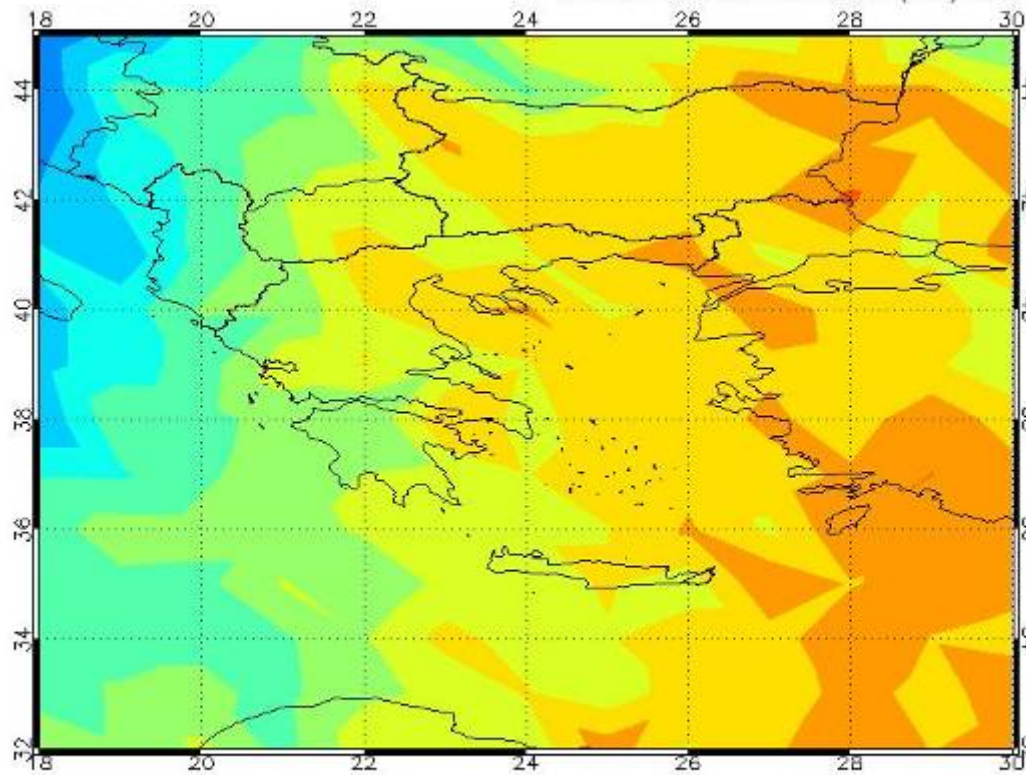
Maximum



GPS: PDOP

statistics_pDop_Grid_[1]

Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data

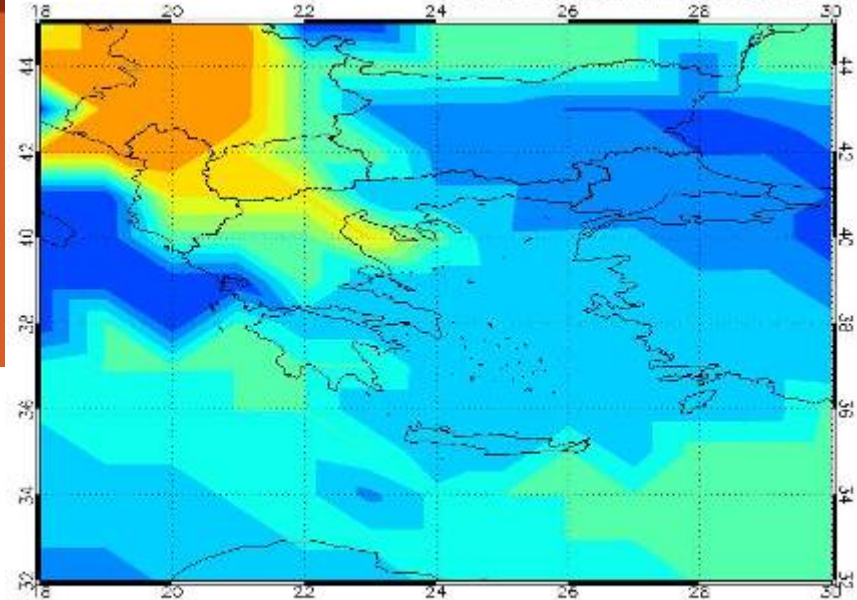


Arithmetic Mean

1.891 1.906 1.922 1.937 1.952 1.968 1.983 1.999 2.014 2.029 2.045

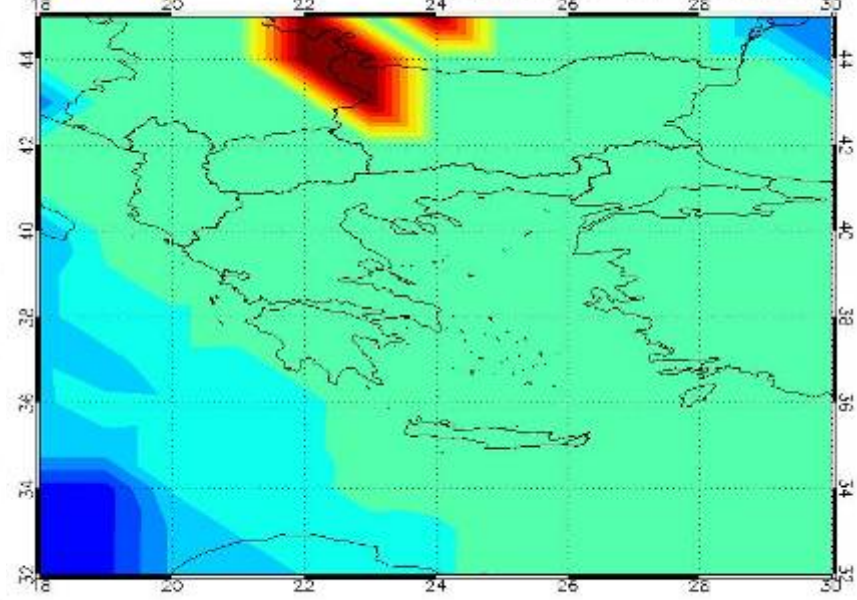
statistics_pDop_Grid_[1]

Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data



Minimum

1.230 1.251 1.272 1.293 1.314 1.335 1.356 1.377 1.398 1.419 1.440

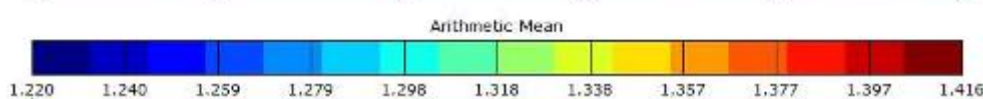
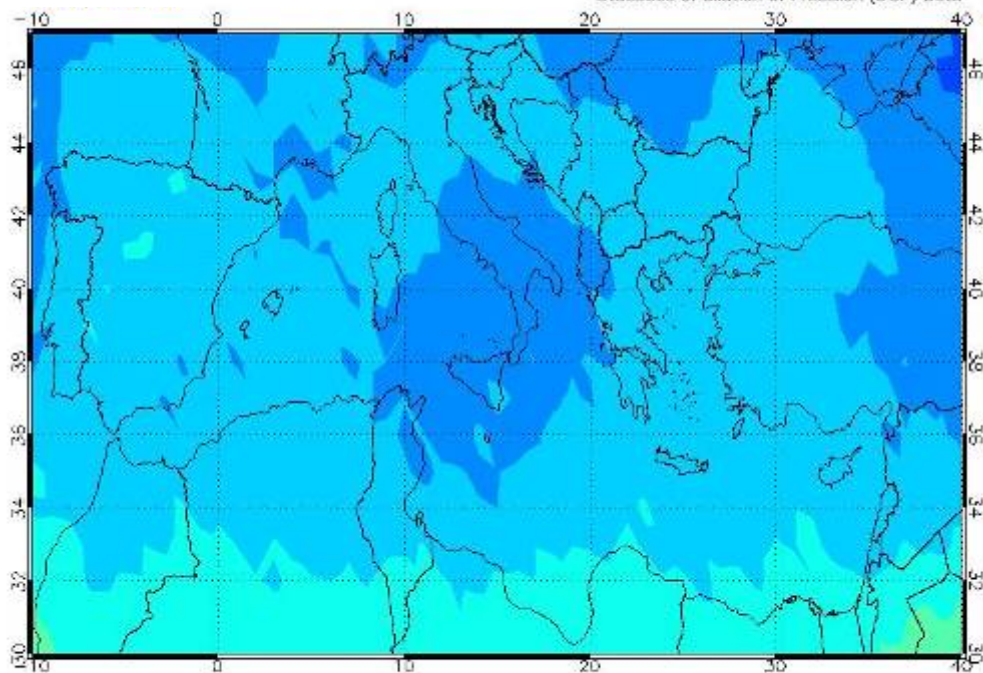


Maximum

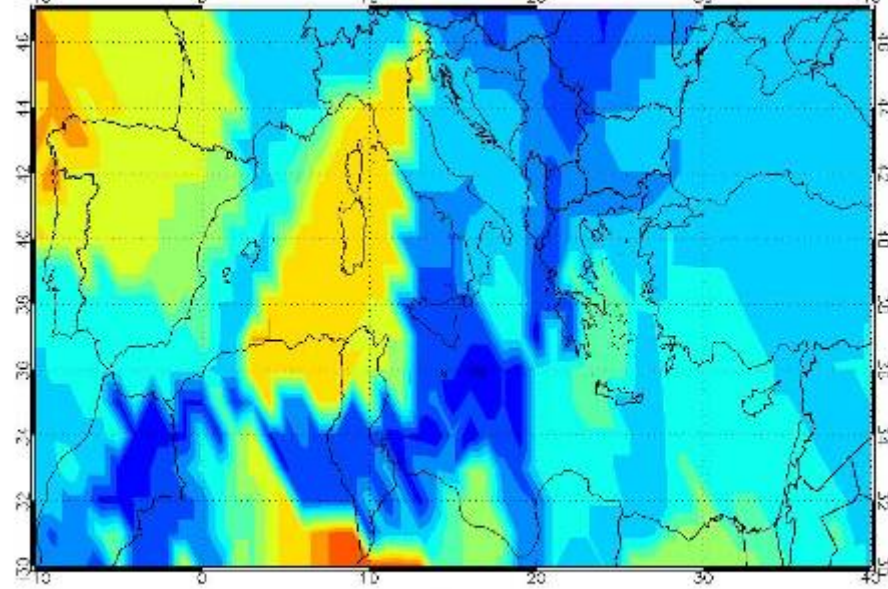
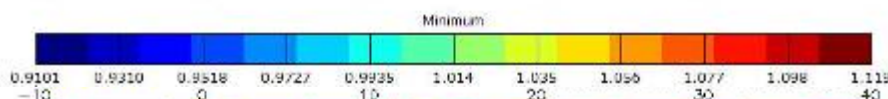
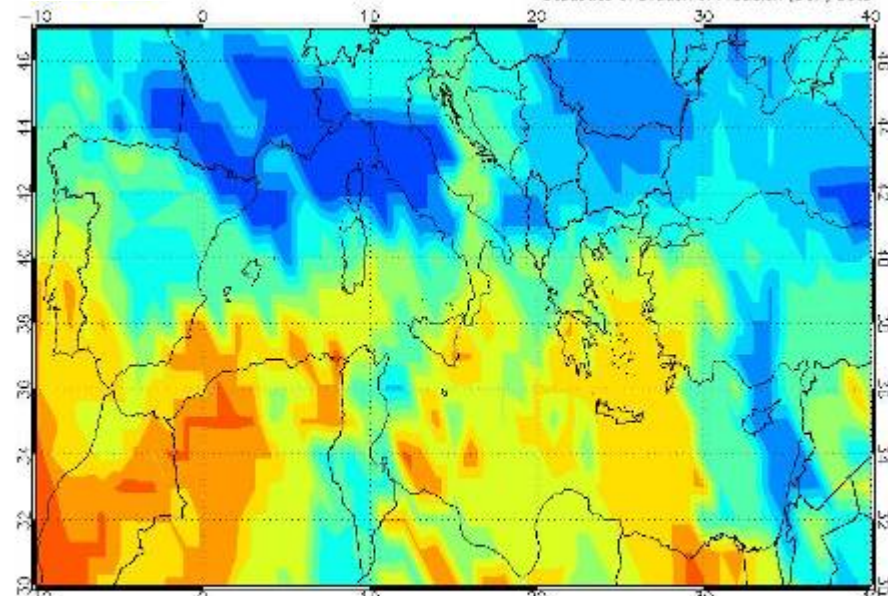
2.730 2.962 3.194 3.426 3.658 3.890 4.122 4.354 4.587 4.819 5.051

GPS & GALILEO: PDOP

statistics_pDop_Grid_[1]
Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data

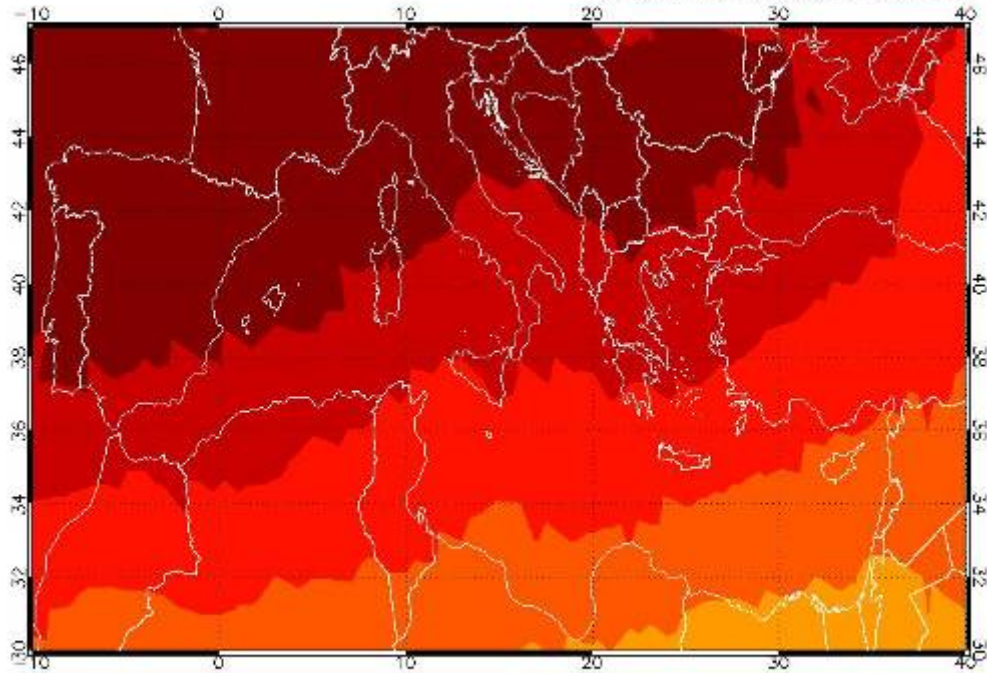


statistics_pDop_Grid_[1]
Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data

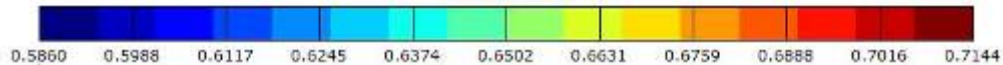


GPS & GALILEO: HDOP

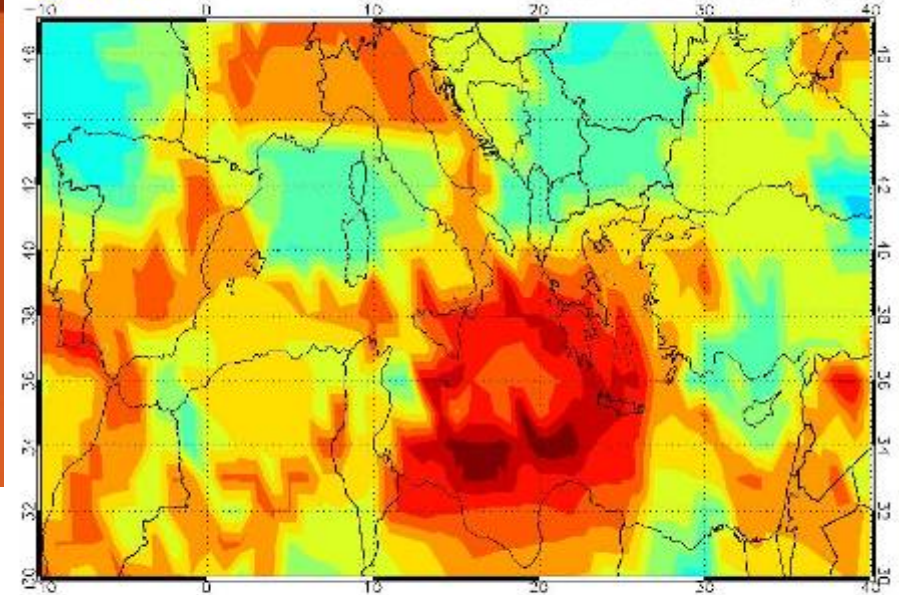
statistics_hDop_Grid [1]
Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data



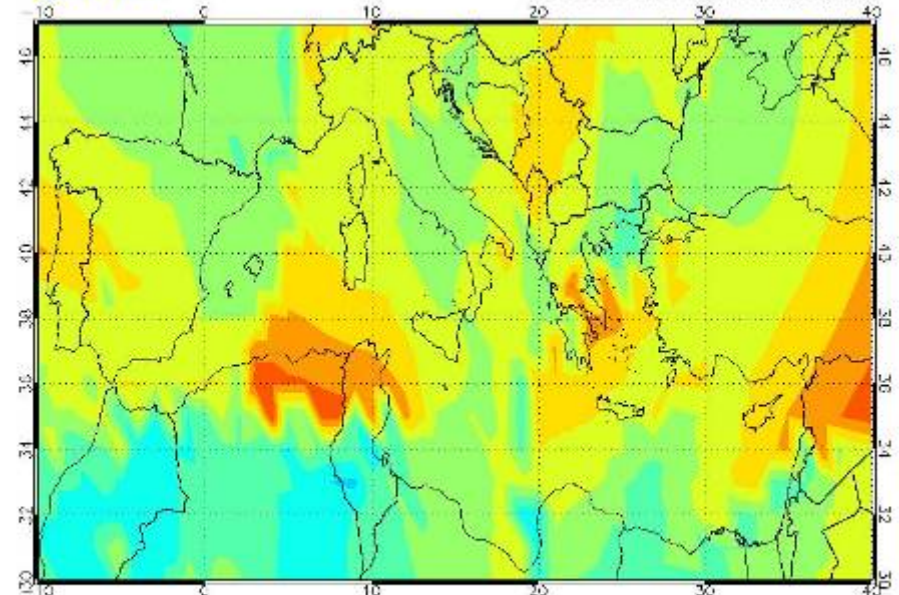
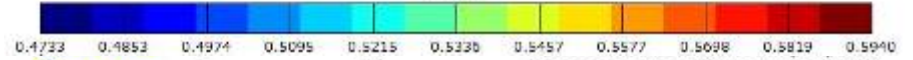
Arithmetic Mean



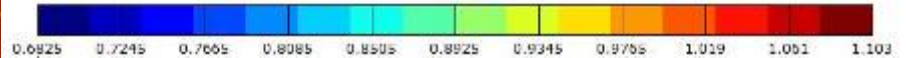
statistics_hDop_Grid [1]
Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data



Minimum

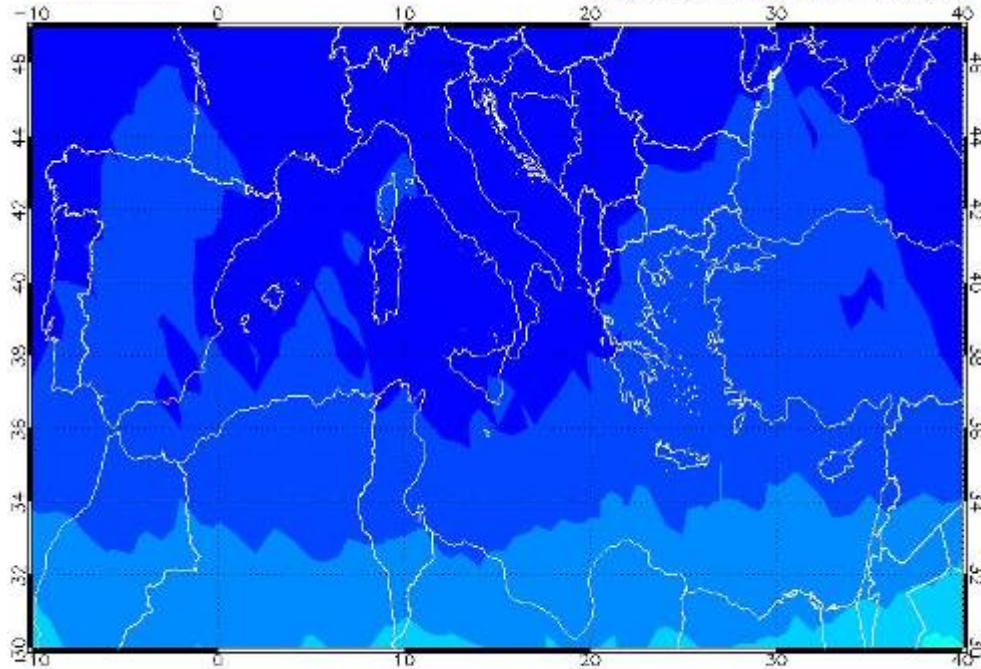


Maximum



GPS & GALILEO: VDOP

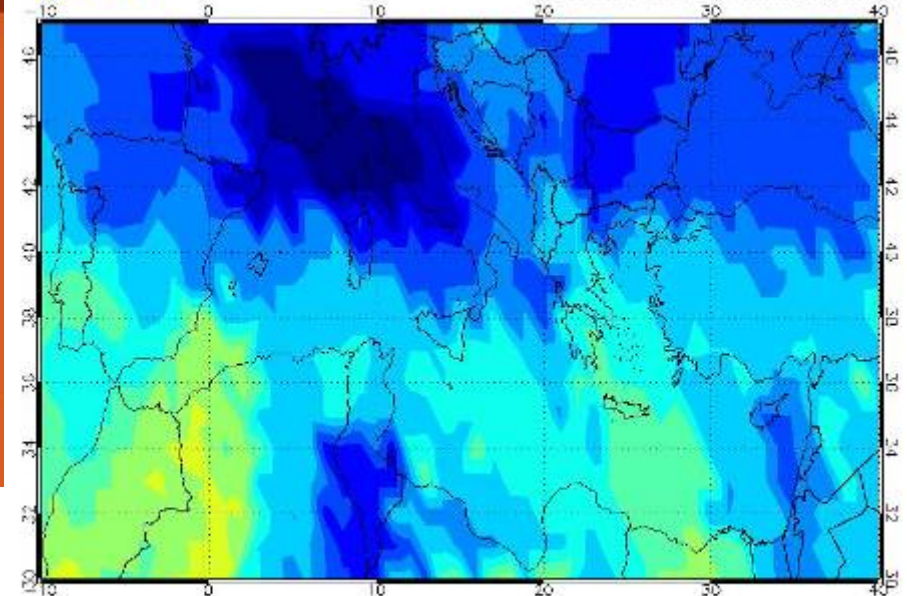
statistics_vDop_Grid_[1]
Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data



Arithmetic Mean

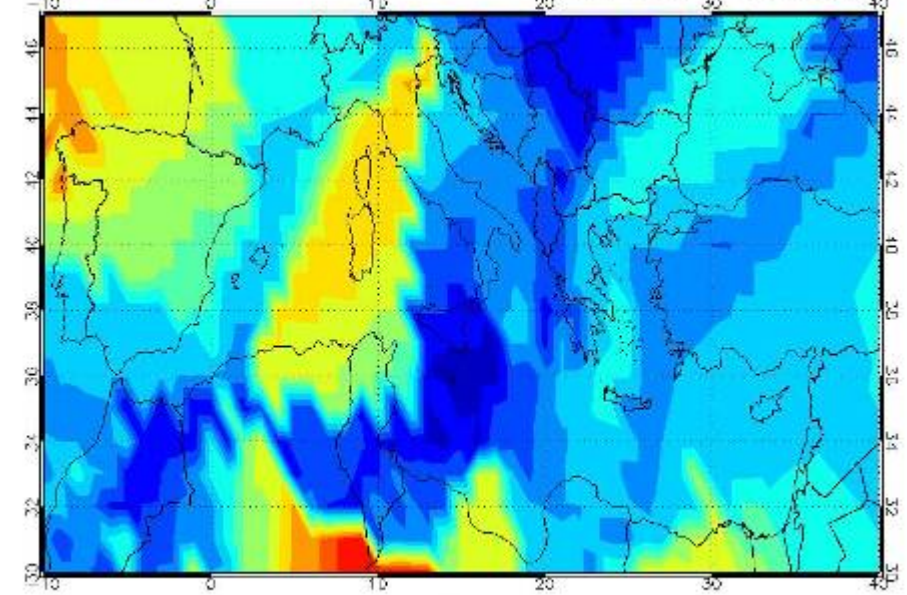
1.022 1.049 1.075 1.101 1.128 1.154 1.181 1.207 1.234 1.260 1.287

statistics_vDop_Grid_[1]
Statistics of Dilution of Precision (DOP) Data



Minimum

0.7306 0.7561 0.7817 0.8072 0.8327 0.8582 0.8838 0.9093 0.9349 0.9604 0.9859



Maximum

1.311 1.392 1.452 1.523 1.593 1.664 1.735 1.805 1.876 1.947 2.017



- Γιατί το συγκεκριμένο ενδιαφέρον ?



Παράδειγμα εφαρμογής: ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΡΕΝΟΥ

No	Application	Accuracy		Integrity	
		Horizontal (m)		Alert limit (m)	Maximum time to alarm (s)
Safety related applications					
I	ex: ATC on high density lines / Station / Parallel track	(1)	2.5	<1.0	
II	ex: Train Control on medium density lines	(10)	20	<1.0	
III	ex: Train Control on low density lines	(25)	50	<1.0	
Mass commercial / information and management – operational applications					
IV	Tracing & Tracking of vehicles	50	125	<10	
V	Cargo monitoring	100	250	<30	
VI	Dispatching	50	125	<5	
VII	Passenger information	100	250	<30.0	
Infrastructure & civil engineering, professional applications					
VIII	Positioning of machines	1 cm	TBD	<5	
IX	Infrastructure survey	1 cm	0,1 cm	<10	
X	Fix point applications	5 mm	TBD	<30.0	

Το ερευνητικό και πρακτικό ενδιαφέρον: κινηματικός εντοπισμός τρένου



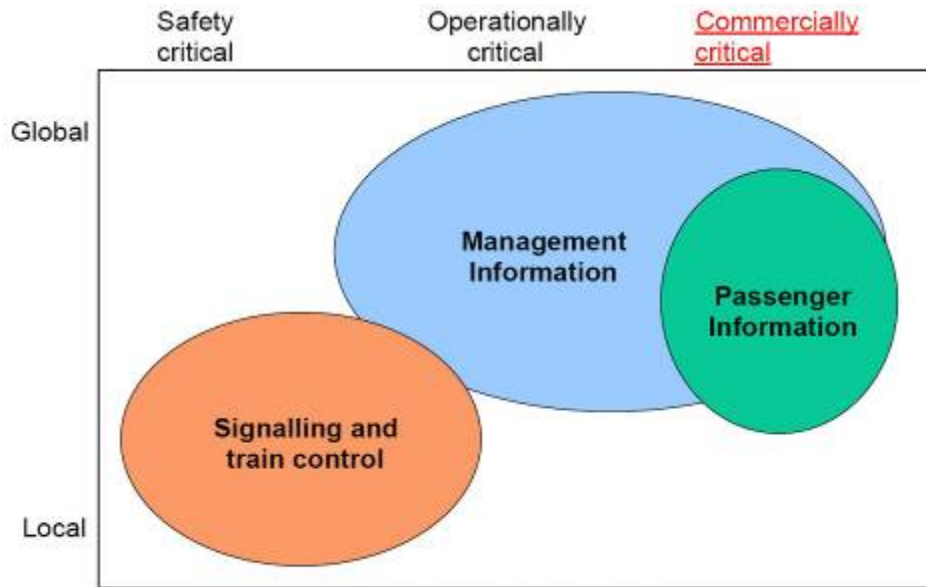
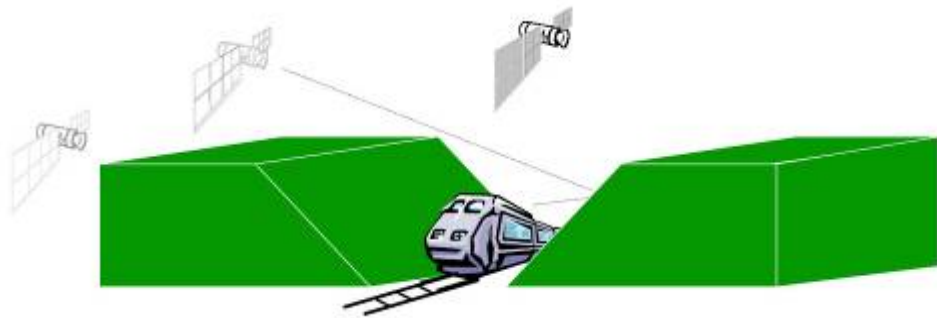
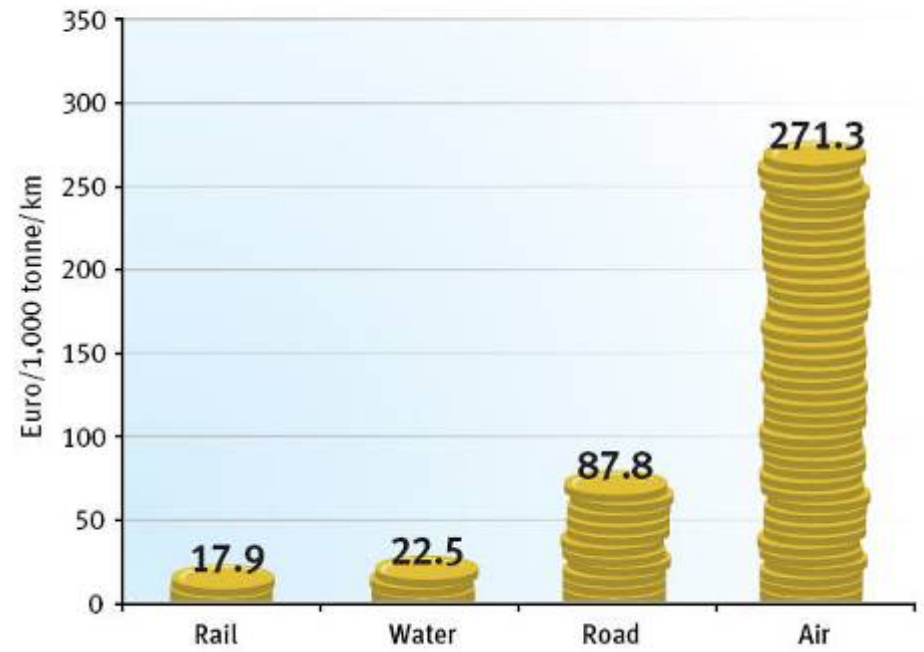


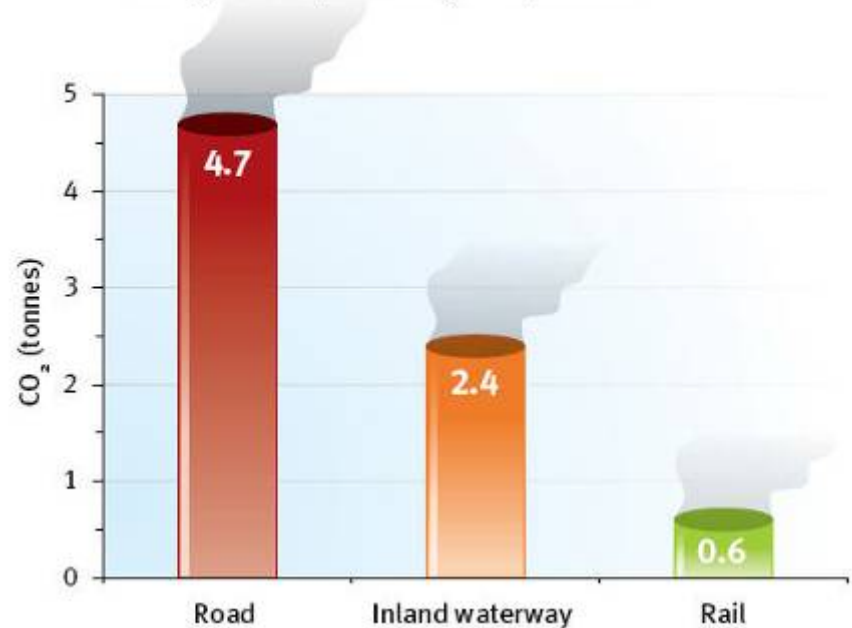
Figure 1: Requirements classification



Average external costs for freight, not including congestion

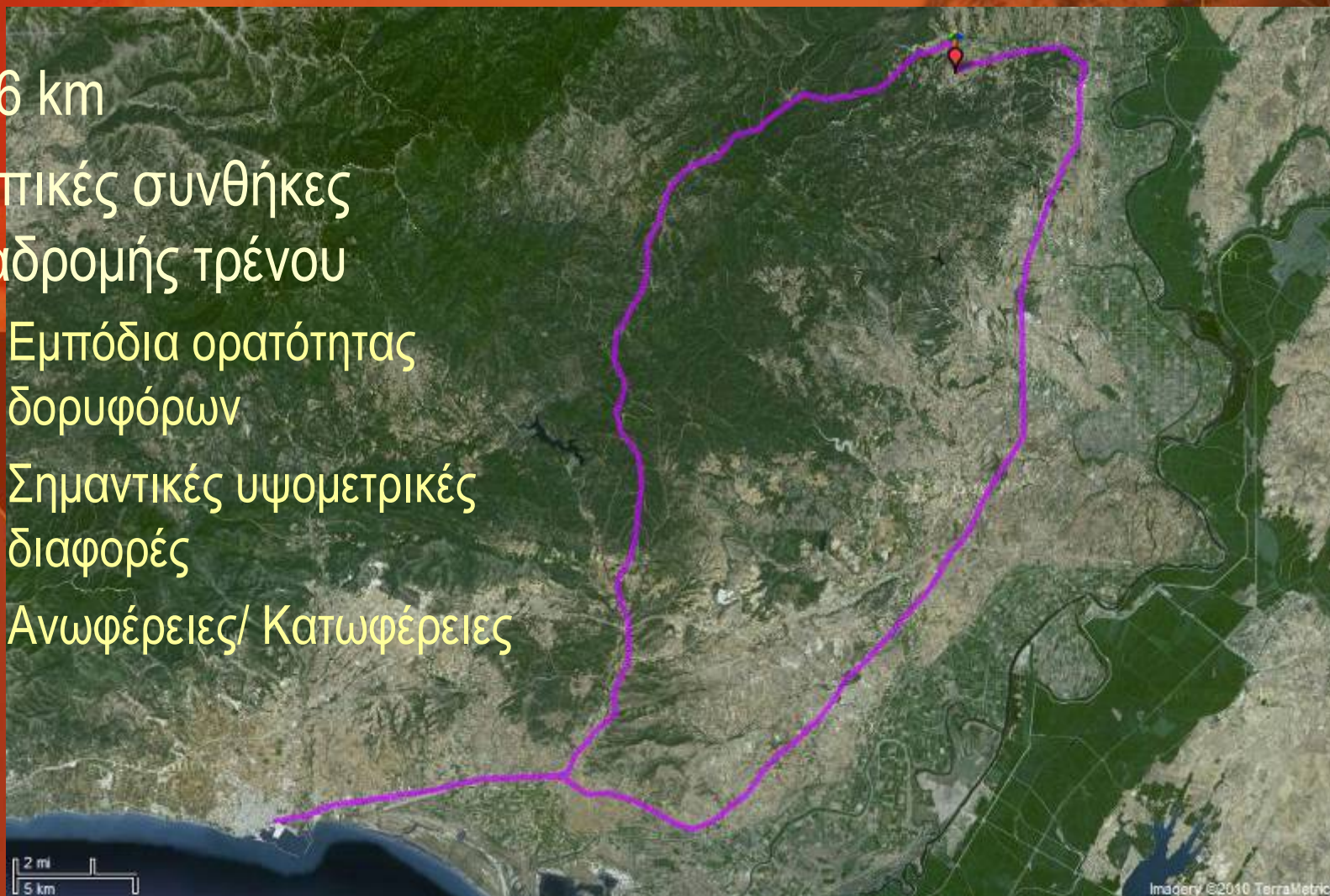


Freight transport – CO₂ comparison



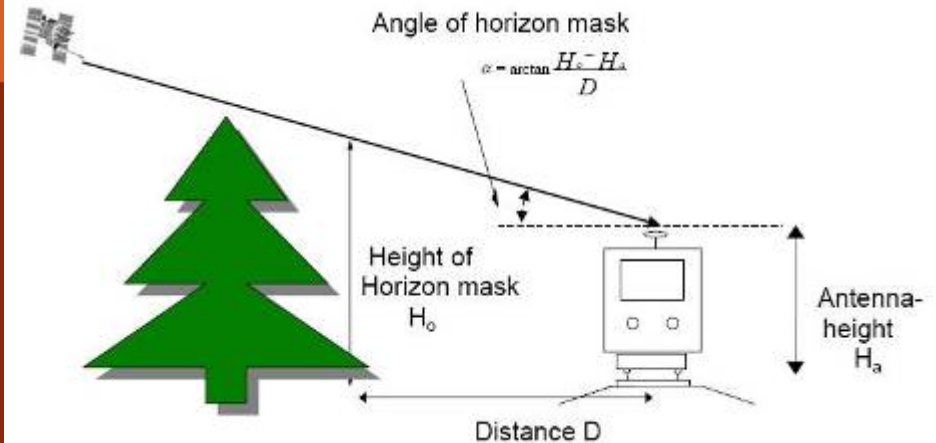
Προσομοίωση διαδρομής τρένου Αλεξανδρούπολη – Δαδιά

- 126 km
- Τυπικές συνθήκες διαδρομής τρένου
 - Εμπόδια ορατότητας δορυφόρων
 - Σημαντικές υψομετρικές διαφορές
 - Ανωφέρειες/ Κατωφέρειες



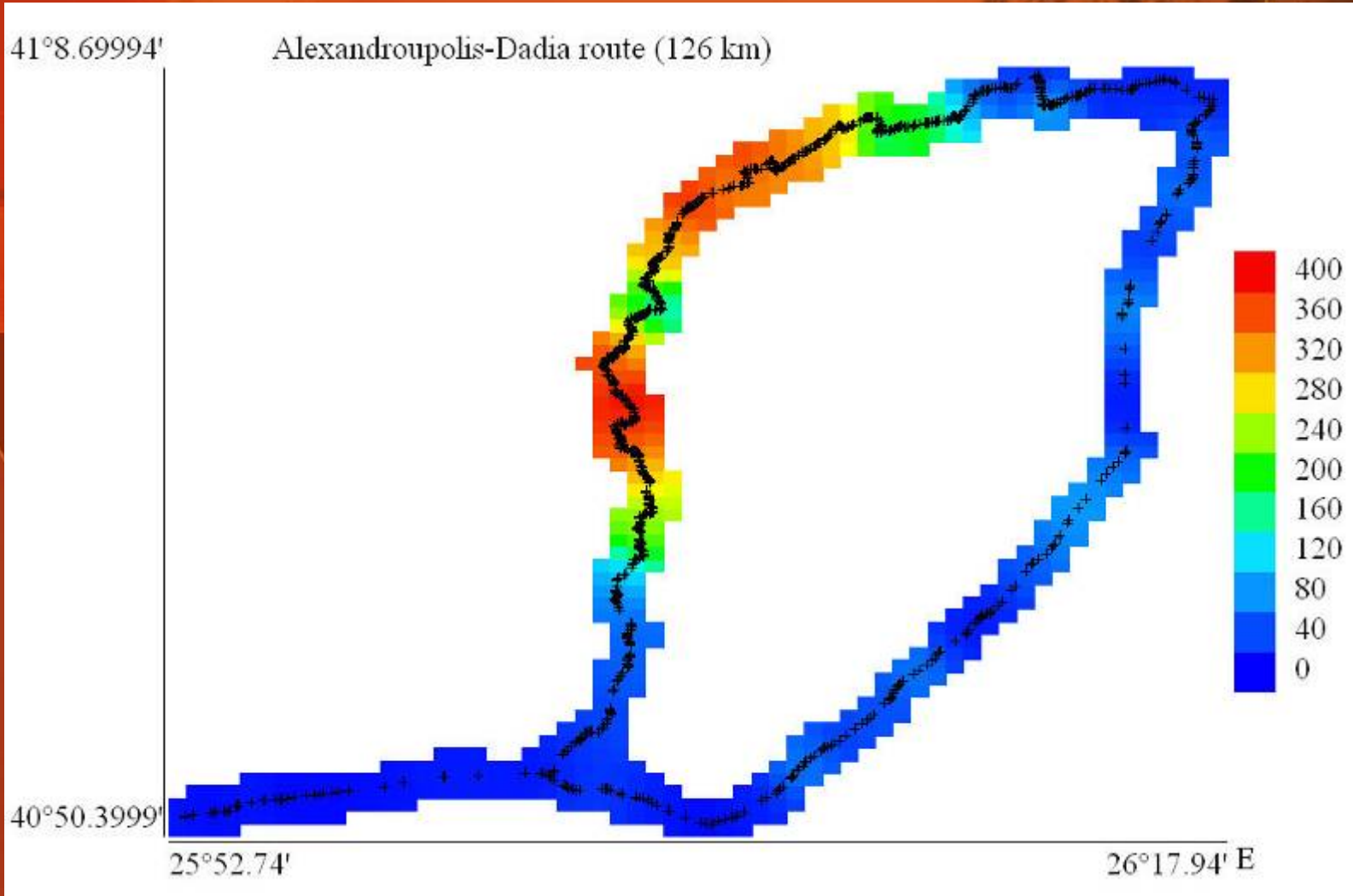
Προσομοίωση διαδρομής τρένου Αλεξανδρούπολη – Δαδιά

- Τυπικές συνθήκες διαδρομής τρένου
 - Εμπόδια ορατότητας δορυφόρων
 - Σημαντικές υψομετρικές διαφορές
 - Ανωφέρειες/ Κατωφέρειες

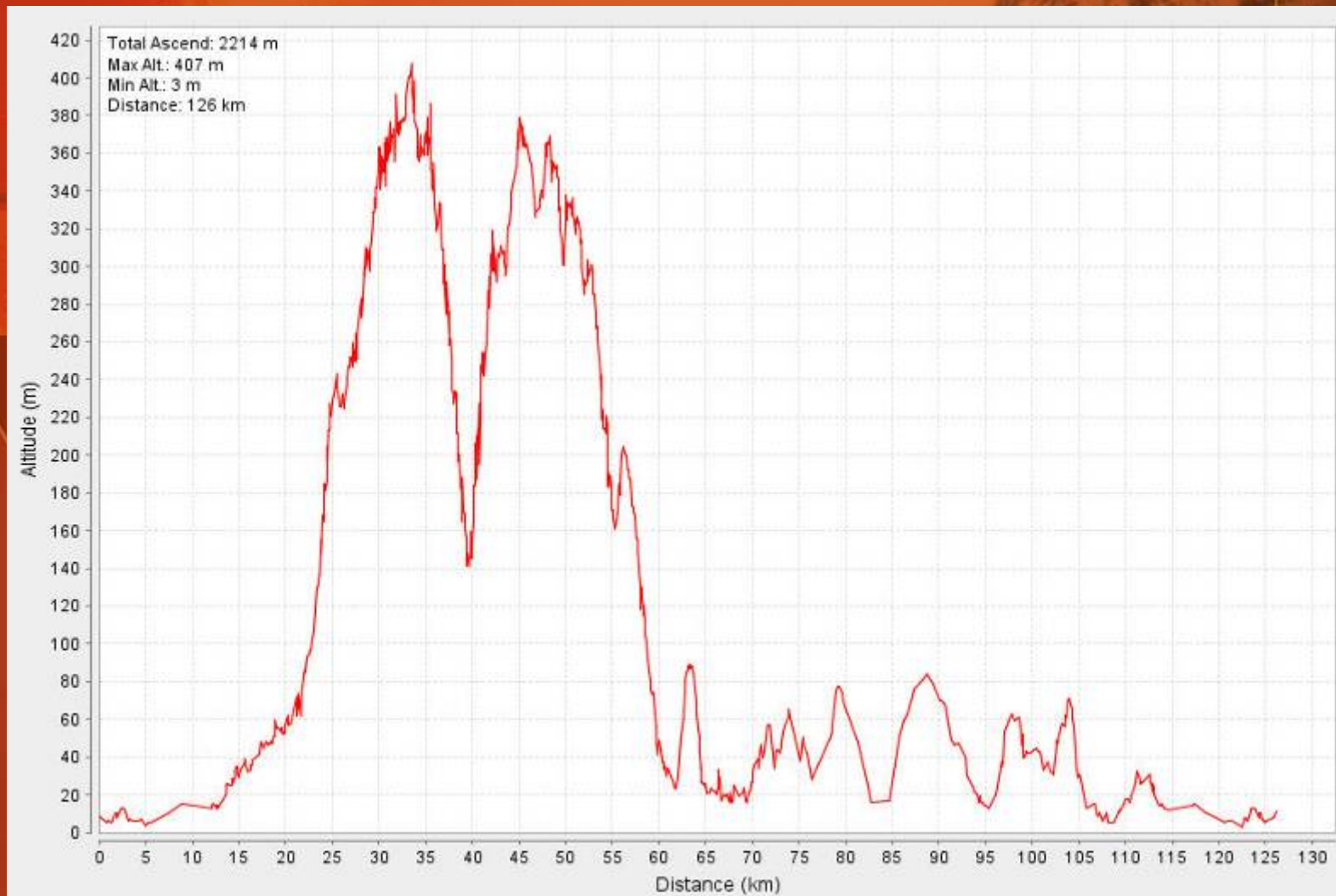


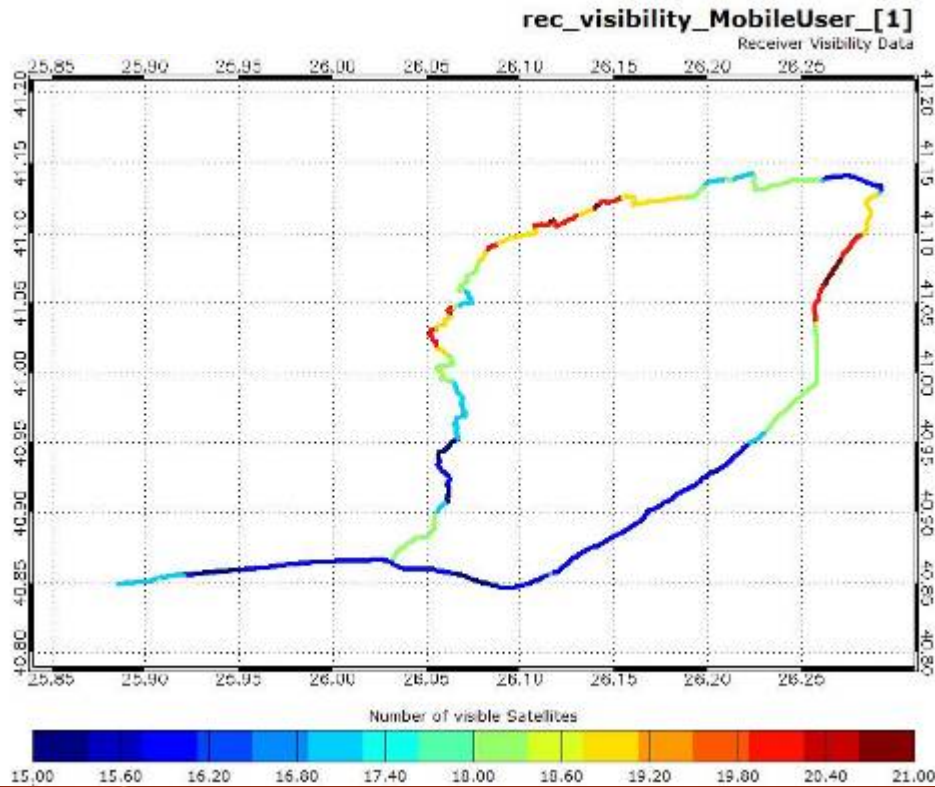
Height H_o [m]	Antenna Height H_a [m]	Distance D [m]	Elevation angle [°]
0 (Open terrain)	-	-	13 (receiver)
5	2.0	10	16.7
10	2.0	20	21.8
10	4.2	10	30.1
10	2.0	10	38.7
10	4.2	5	49.2
10	2.0	5	58.0

Προσομοίωση διαδρομής τρένου Αλεξανδρούπολη – Δαδιά



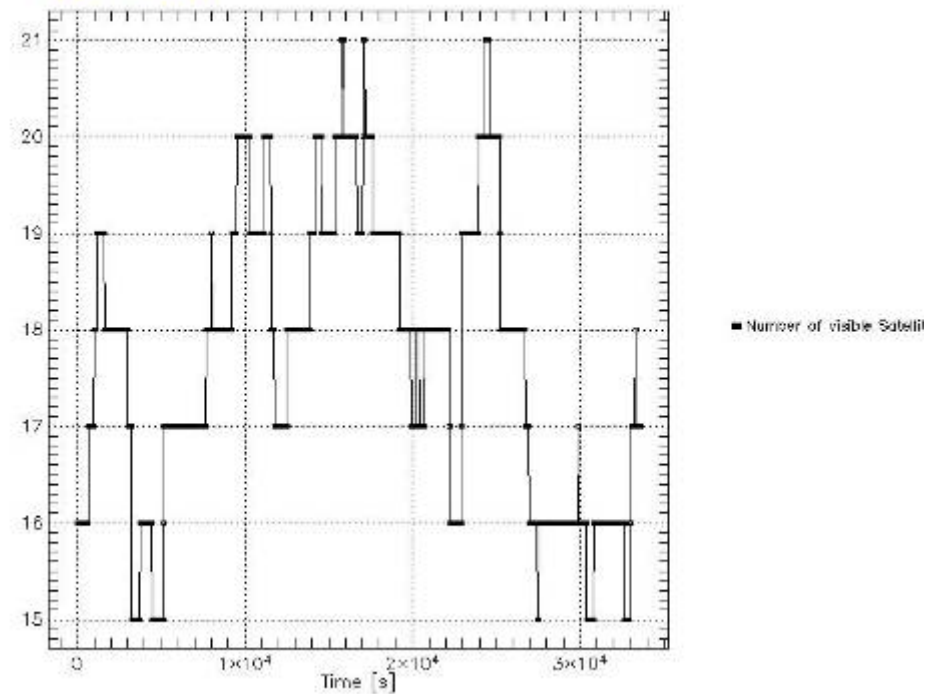
Προσομοίωση διαδρομής τρένου Αλεξανδρούπολη – Δαδιά



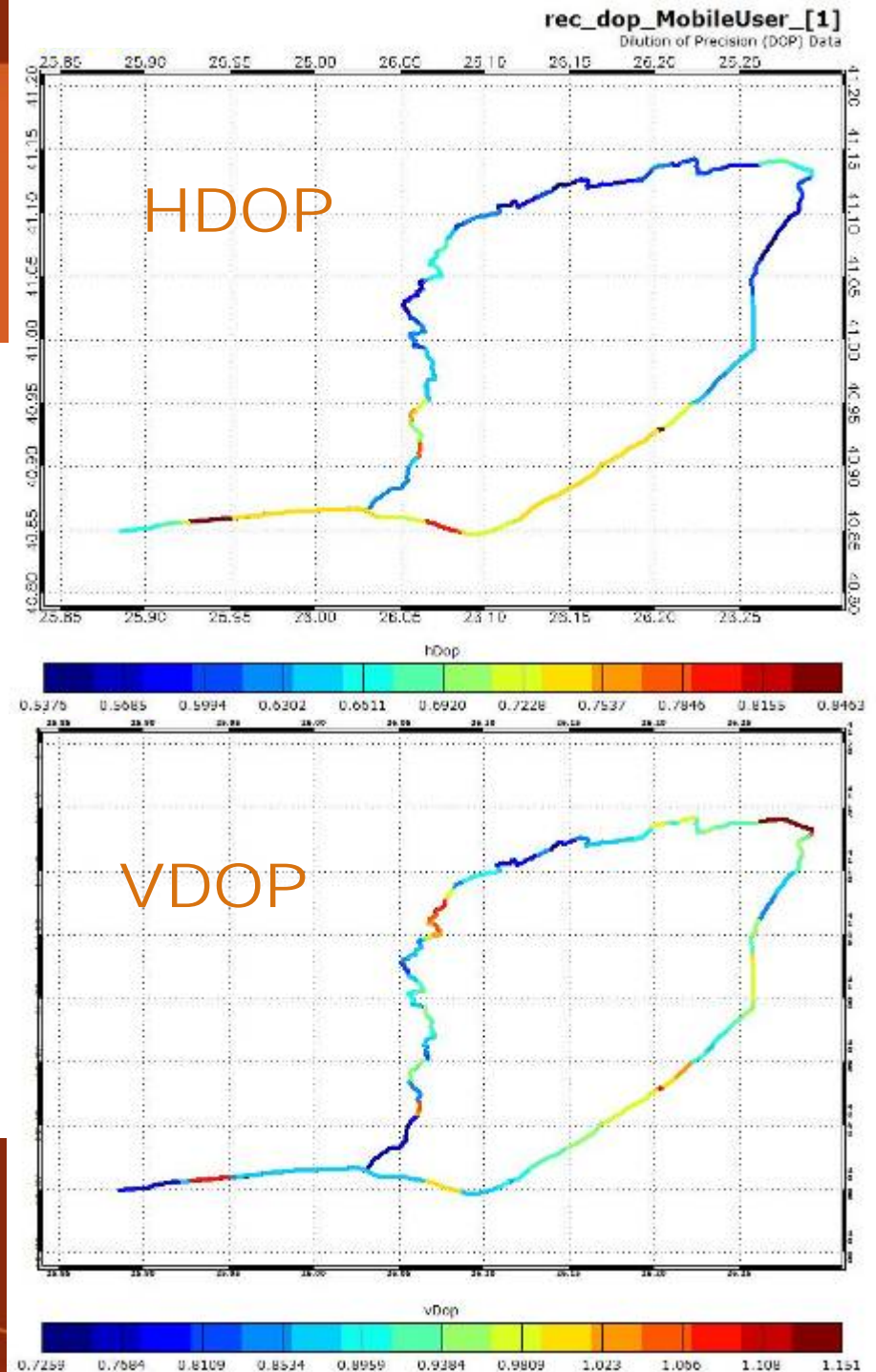
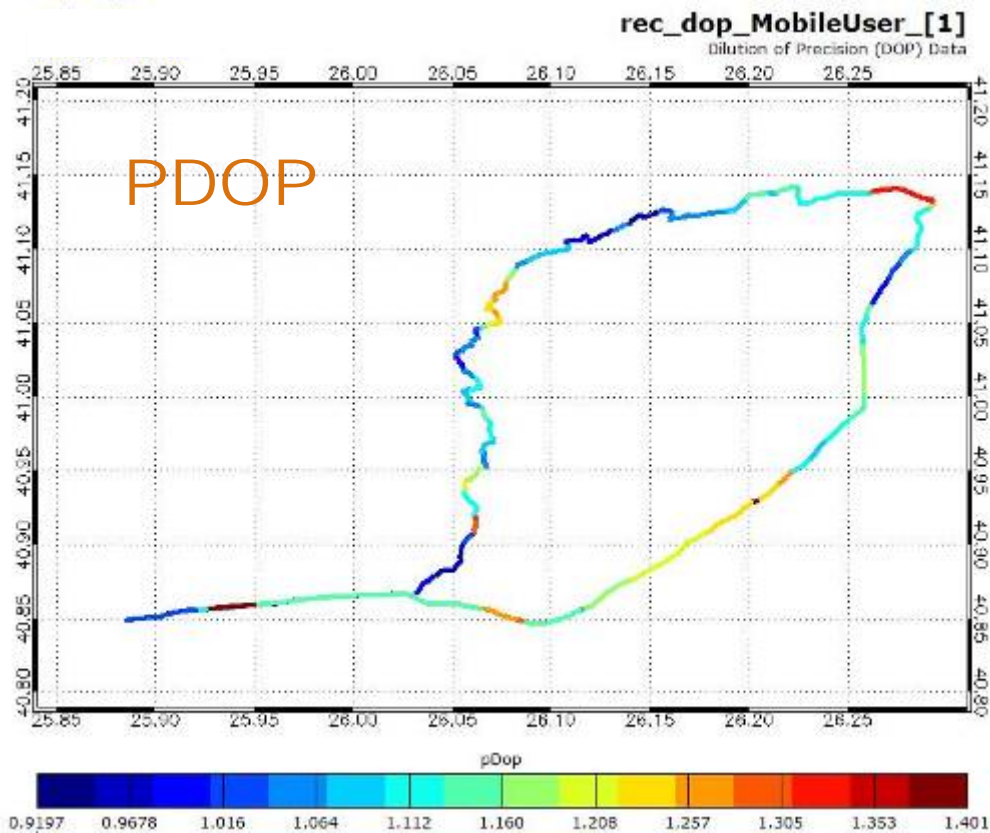


Προσομοίωση διαδρομής τρένου: Αλεξανδρούπολη – Δαδιά

- GPS, III L2-L5
&
• GALILEO



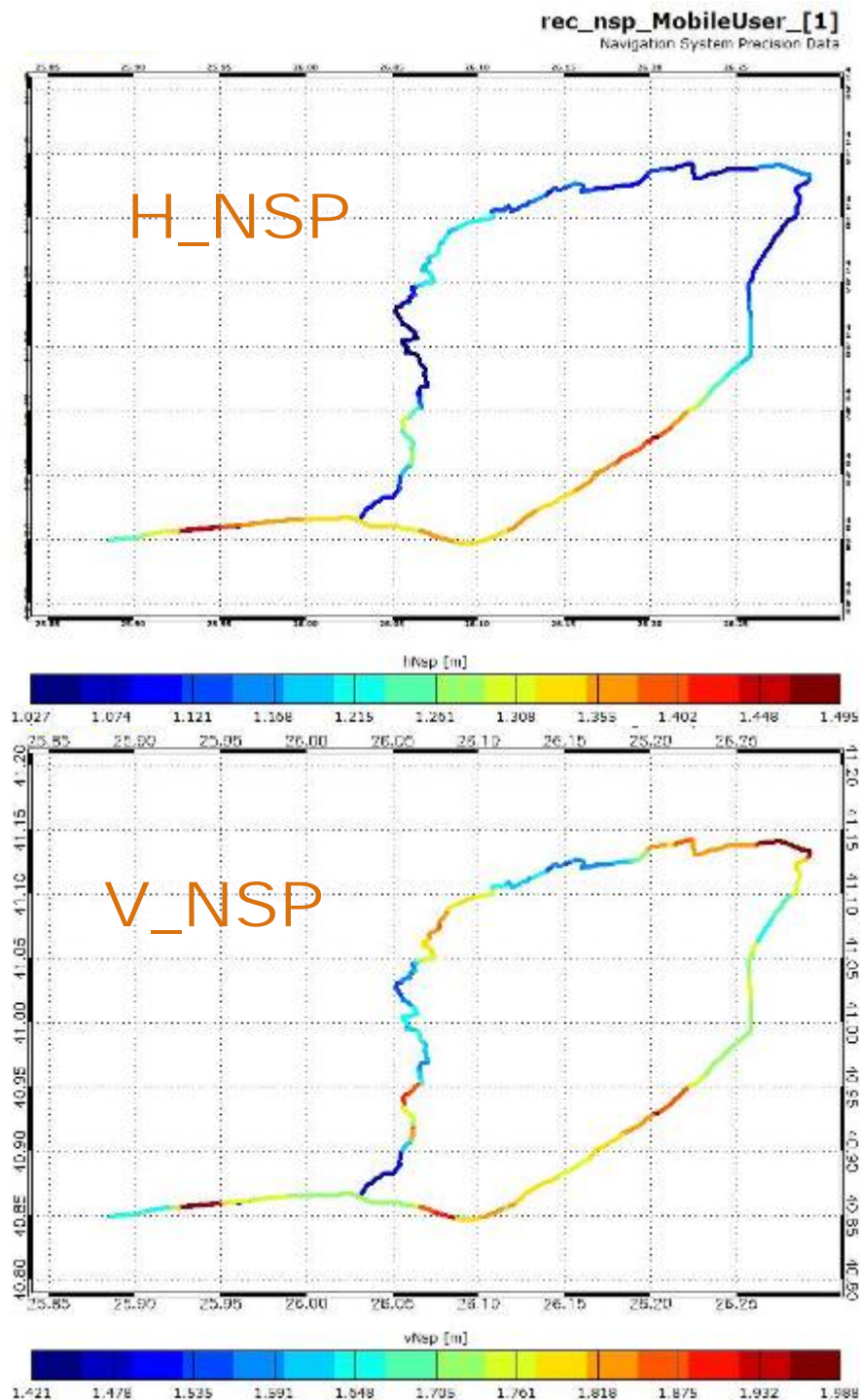
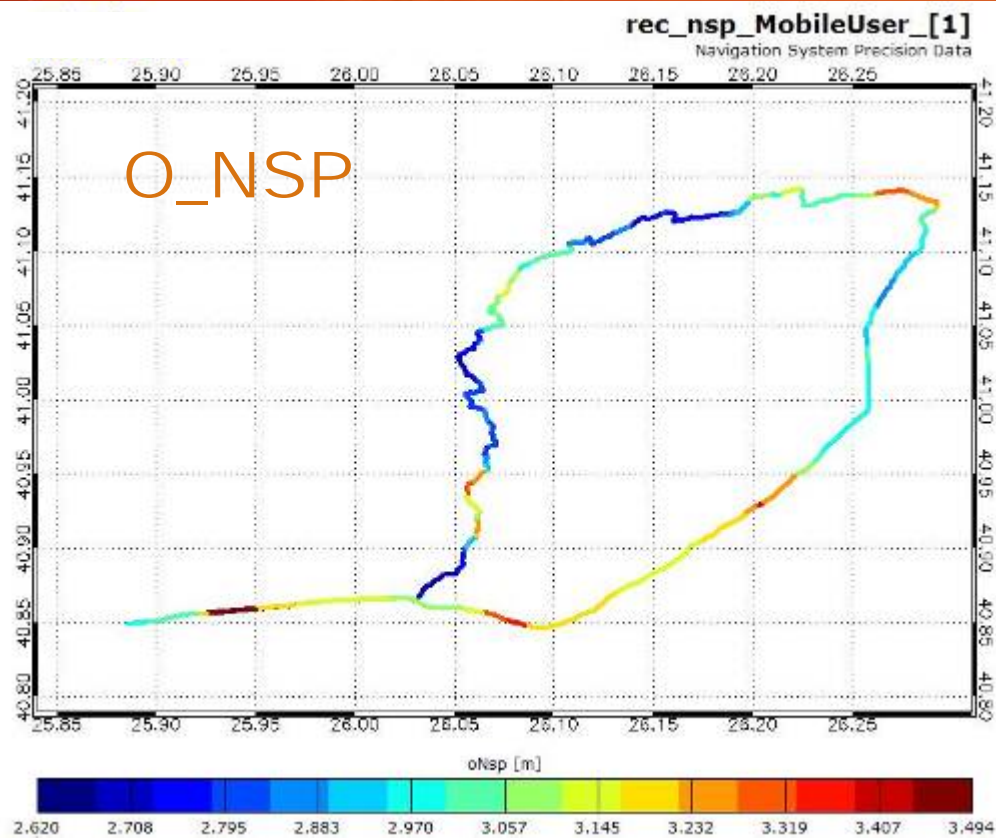
Προσομοίωση διαδρομής τρένου: Αλεξανδρούπολη – Δαδιά



GPS, III L2-L5 & GALILEO

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ

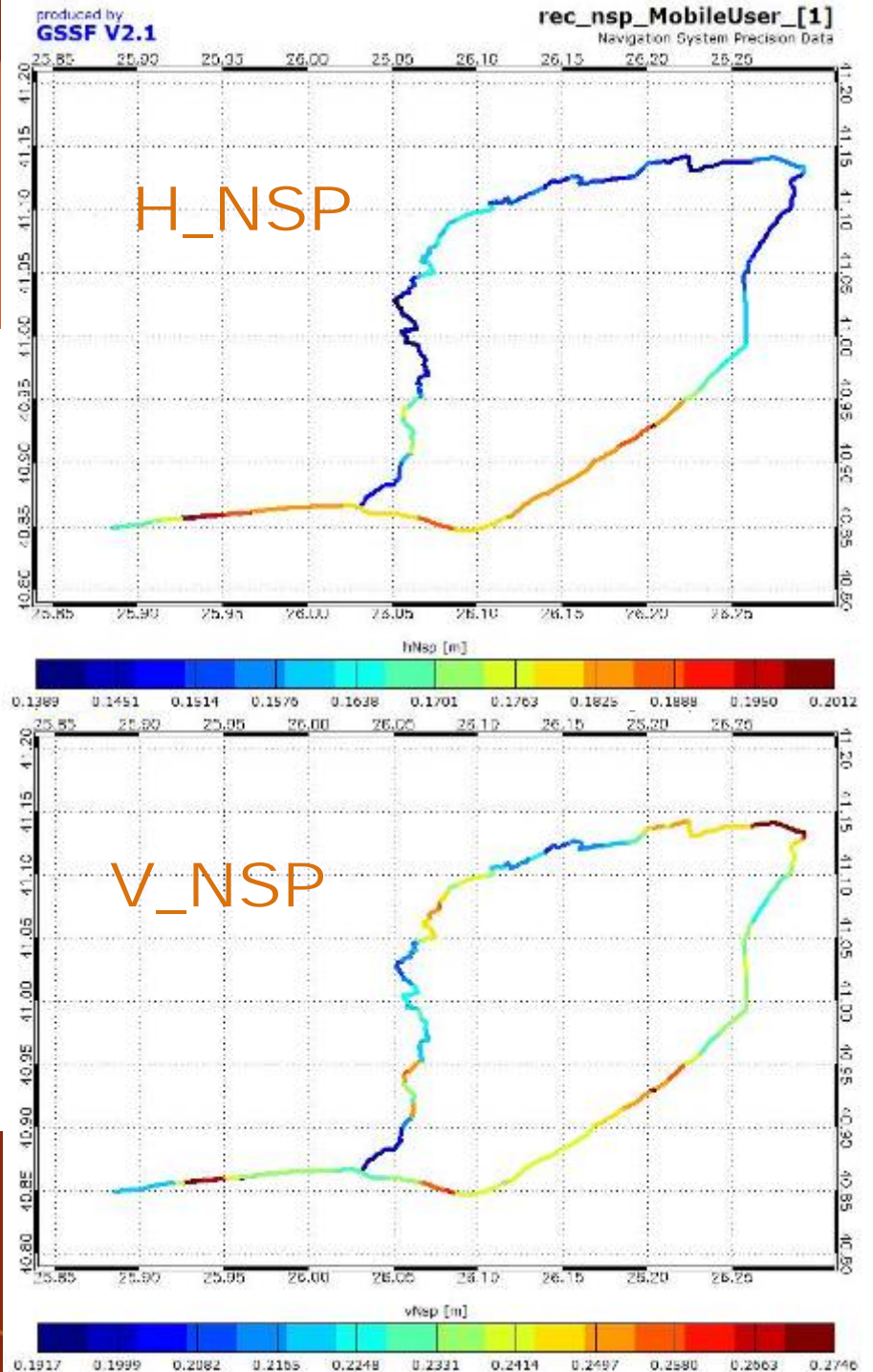
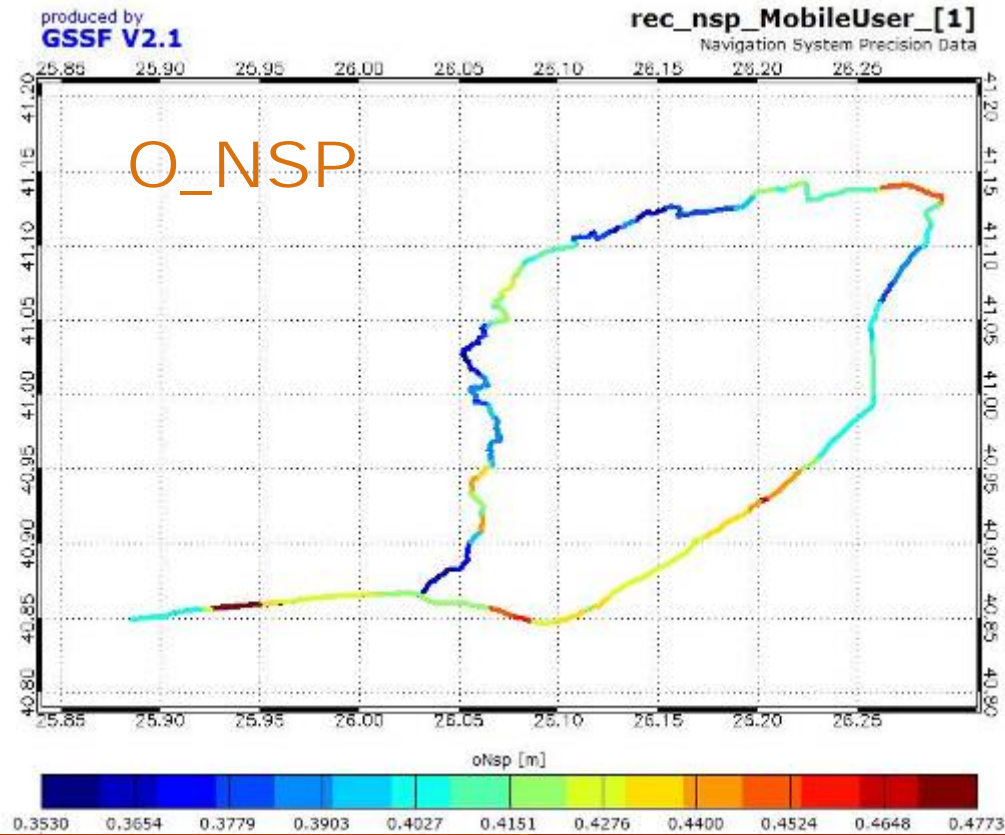
Προσομοίωση διαδρομής τρένου: Αλεξανδρούπολη – Δαδιά



GPS, III L2-L5 & GALILEO

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ

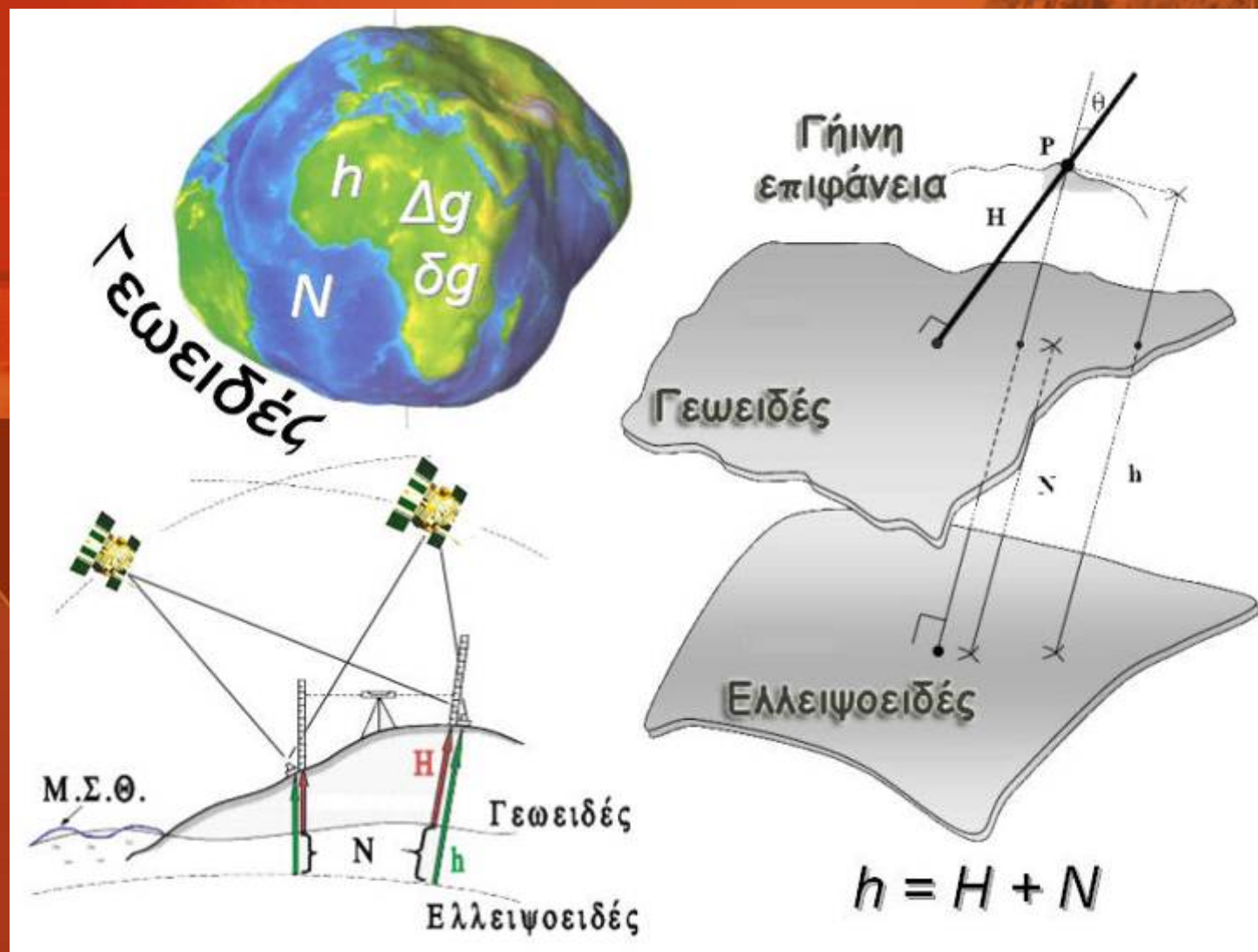
Προσομοίωση διαδρομής τρένου: Αλεξανδρούπολη – Δαδιά



**RTK: GPS, III L2-L5 &
GALILEO**

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ

Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS χωροστάθμηση



Παράδειγμα εφαρμογής: προ-GNSS εποχή



κινηματικές
διεργασίες
χωροστάθμησης



Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS εποχή



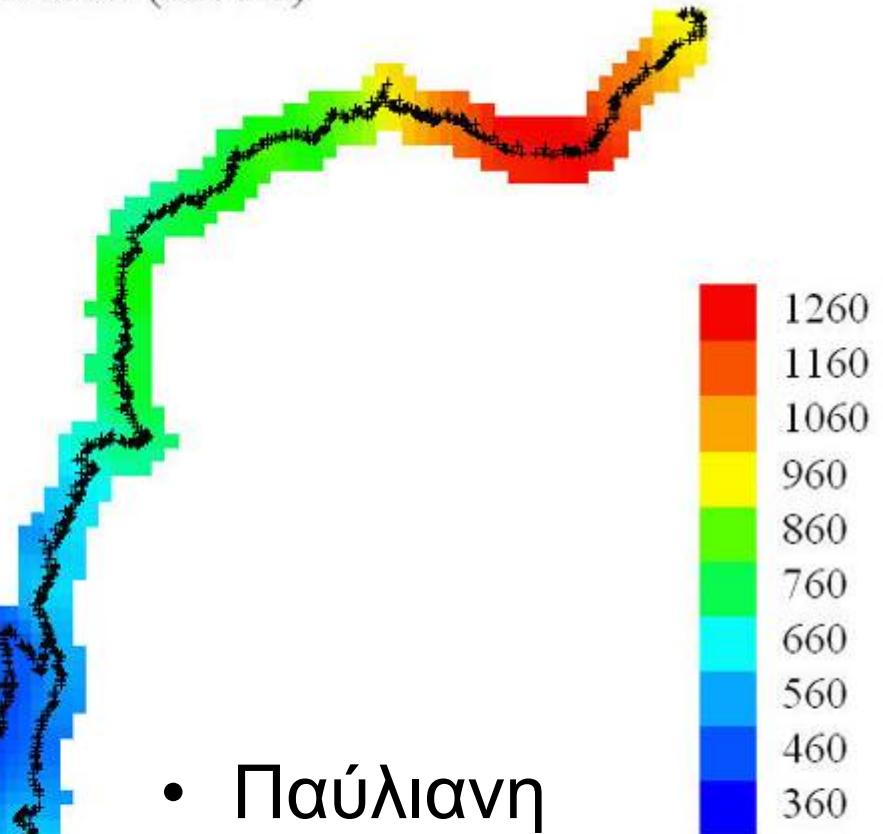
**Dynamic/RTK
διεργασίες
χωροστάθμησης**



Παράδειγμα: GNSS κινηματική όδευση

38°44.34'

Limni Mornou route (124 km)



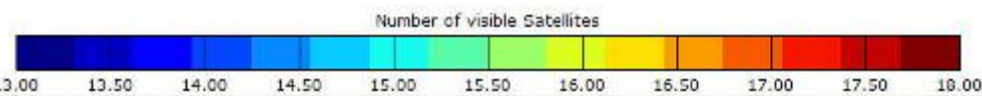
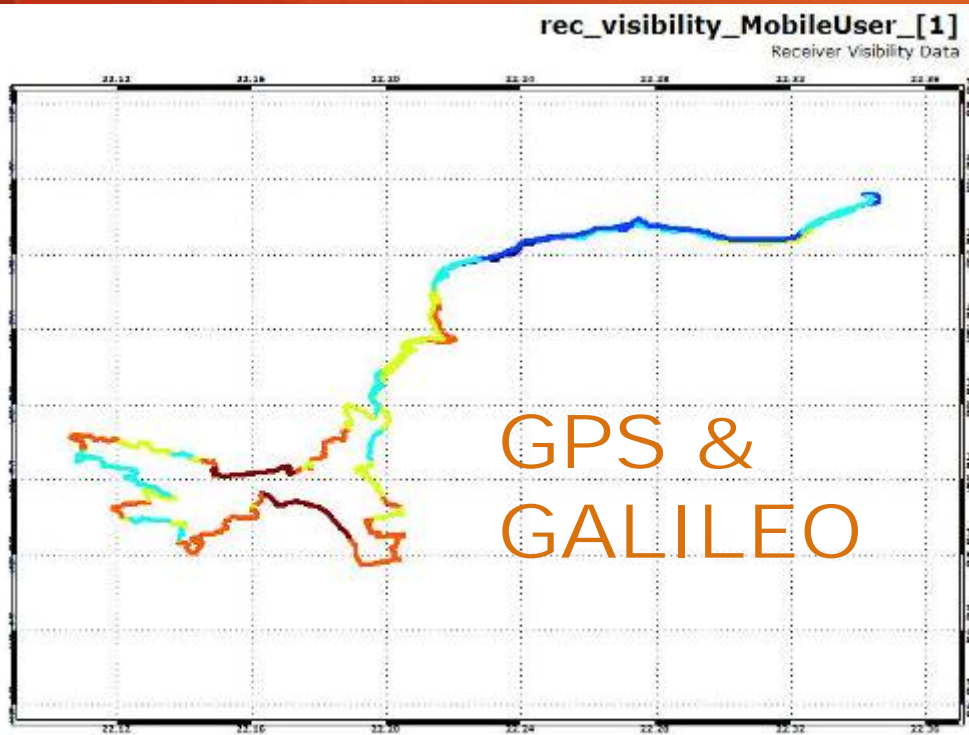
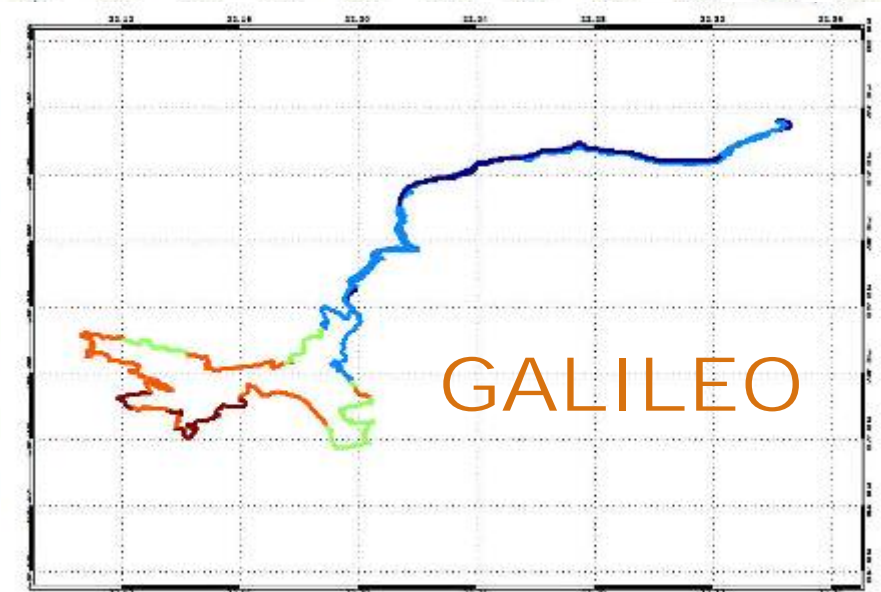
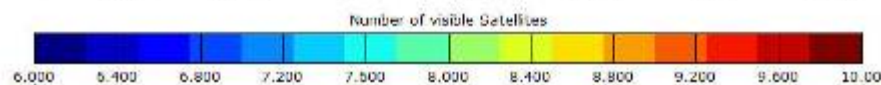
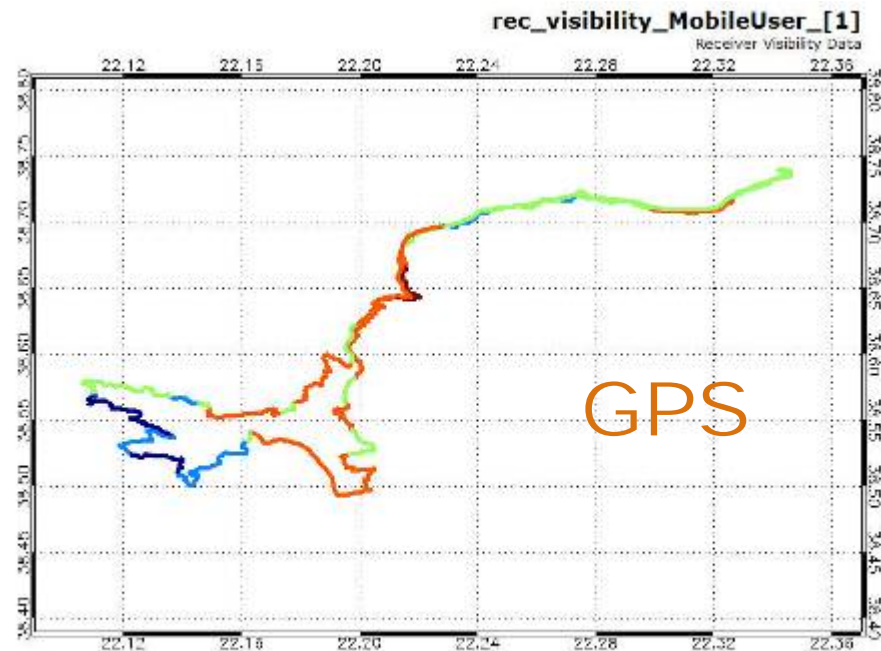
- Παύλιανη
- Τριβιδιό
- Λίμνη Μόρνου

38°29.4'

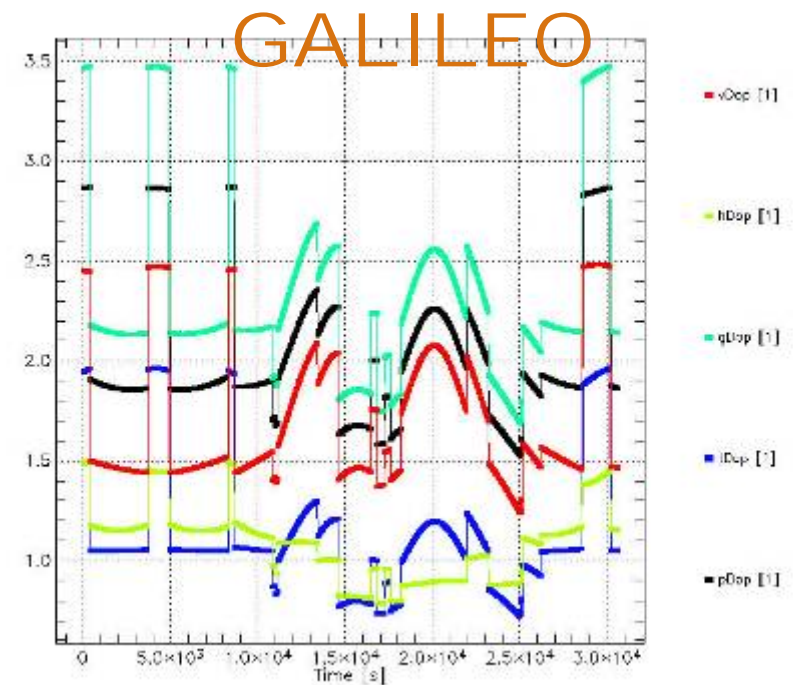
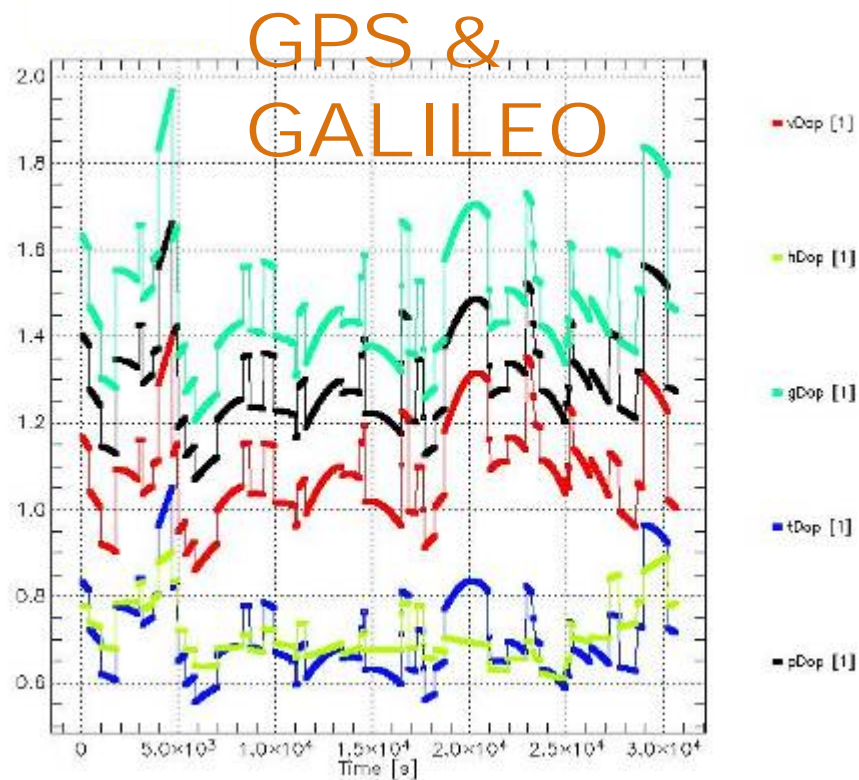
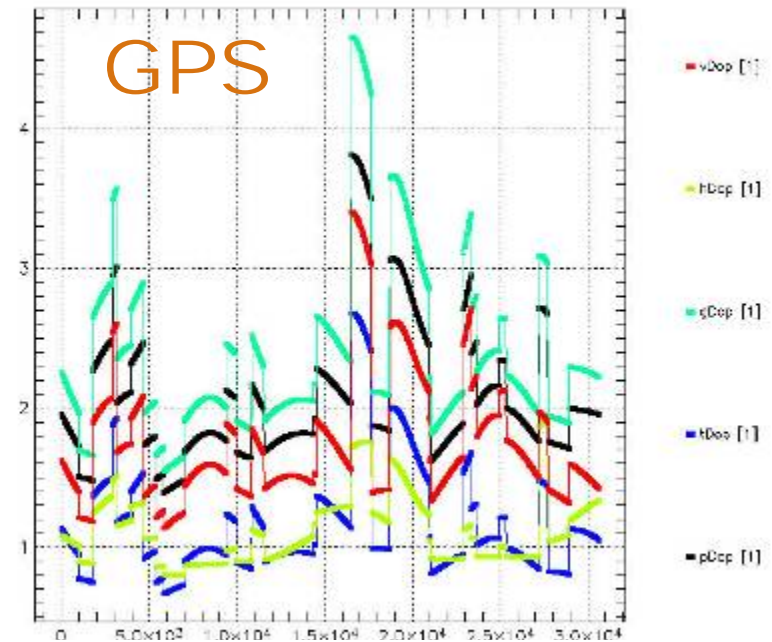
22°6.24001'

22°20.82' E

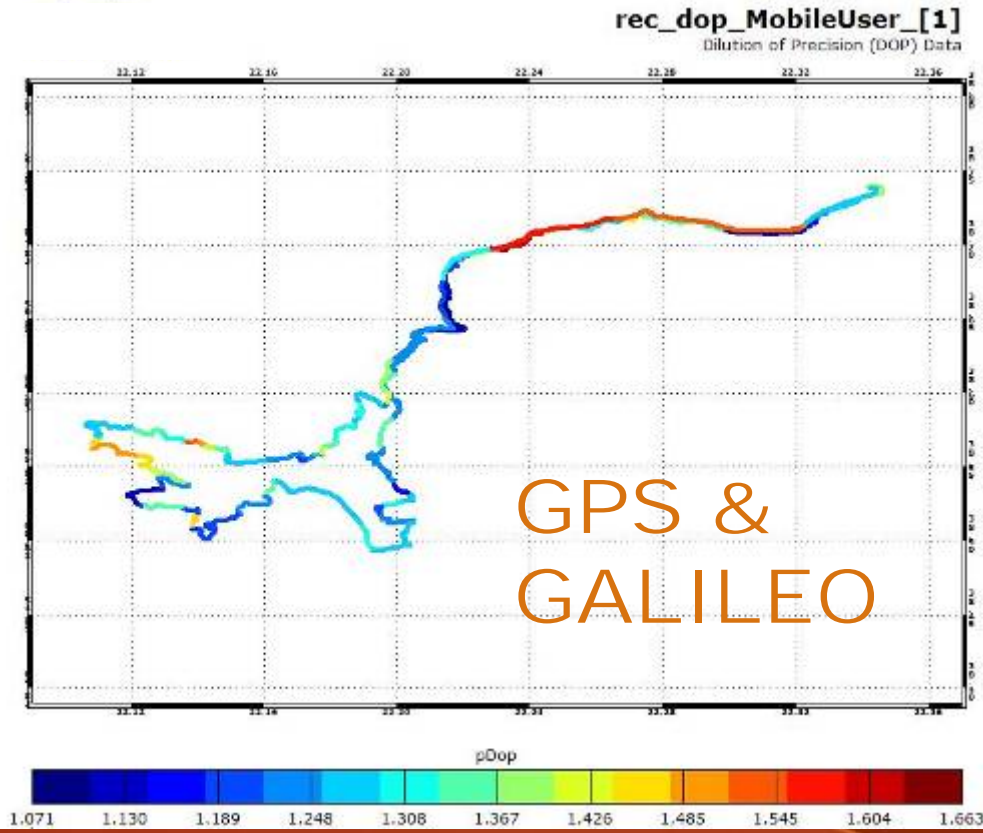
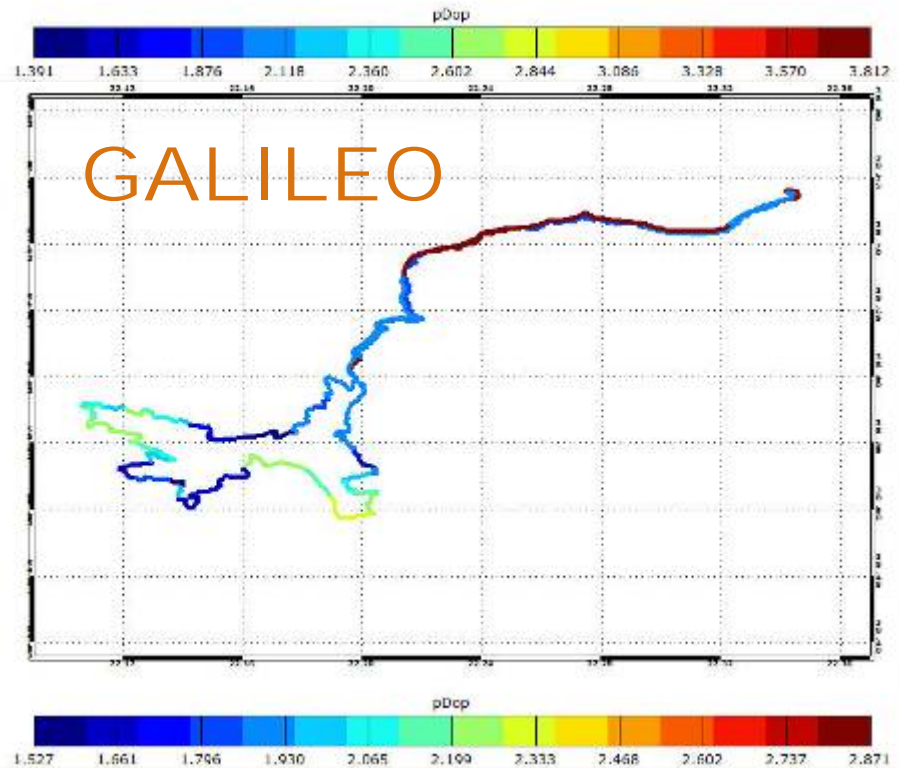
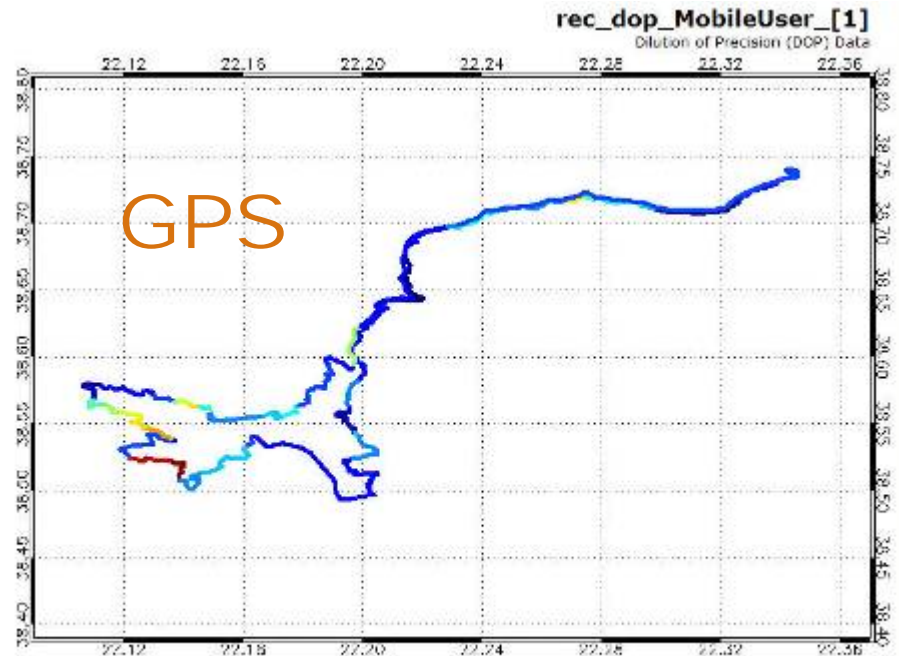
Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS κινηματική όδευση Λίμνη Μόρνου Ορατοί δορυφόροι



Παράδειγμα εφαρμογής:
GNSS κινηματική όδευση
Λίμνη Μόρνου
Δείκτες γεωμετρίας - *DOP*

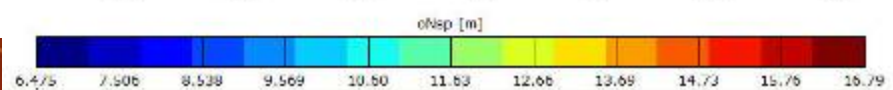
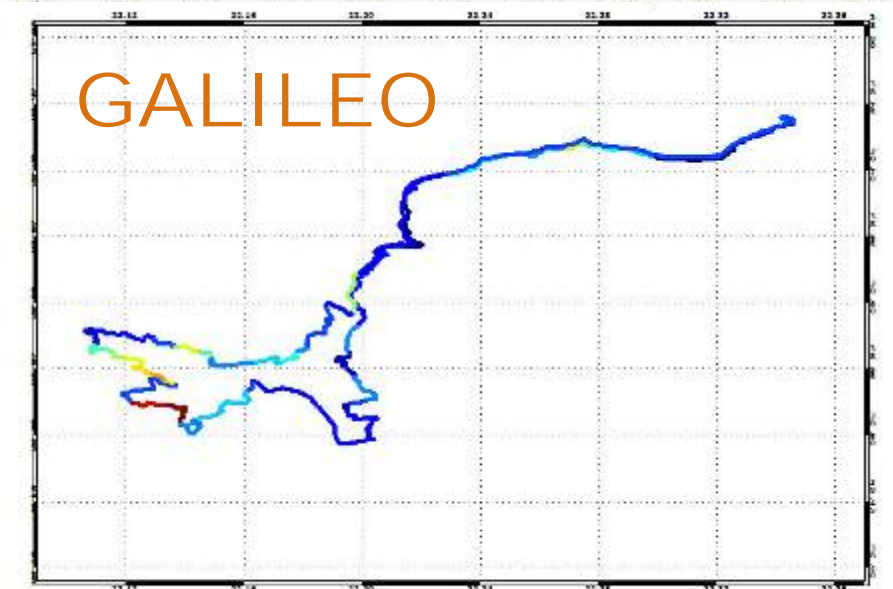
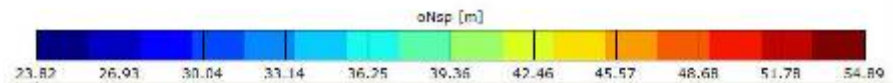
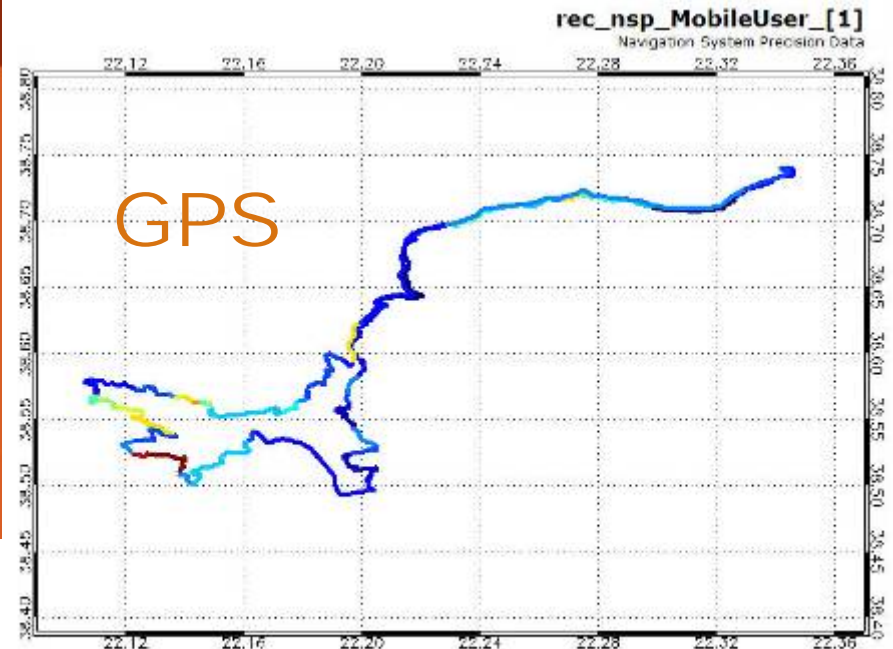


Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS κινηματική όδευση Λίμνη Μόρνου Δείκτης γεωμετρίας - PDOP

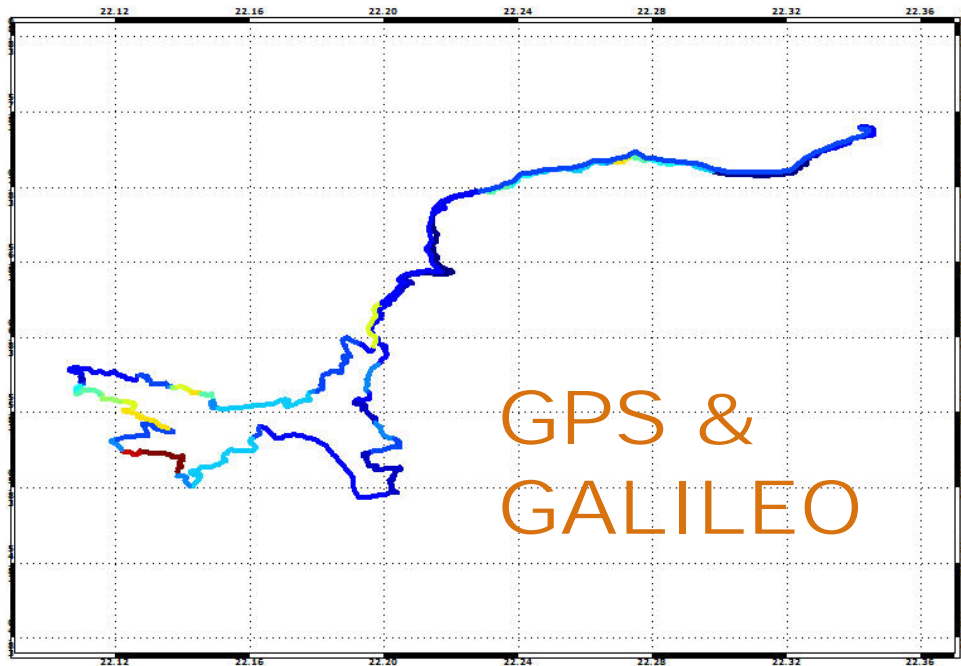


GNSS κινηματική όδευση Λίμνη Μόρνου

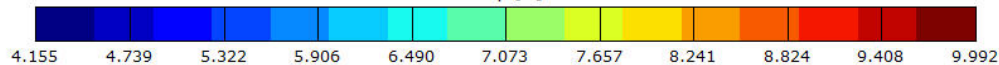
Δείκτης ακρίβειας – O_{NSP}
GPS σήμερα, L1 & GALILEO L1



rec_nsp_MobileUser_[1]
Navigation System Precision Data



O_{NSP} [m]

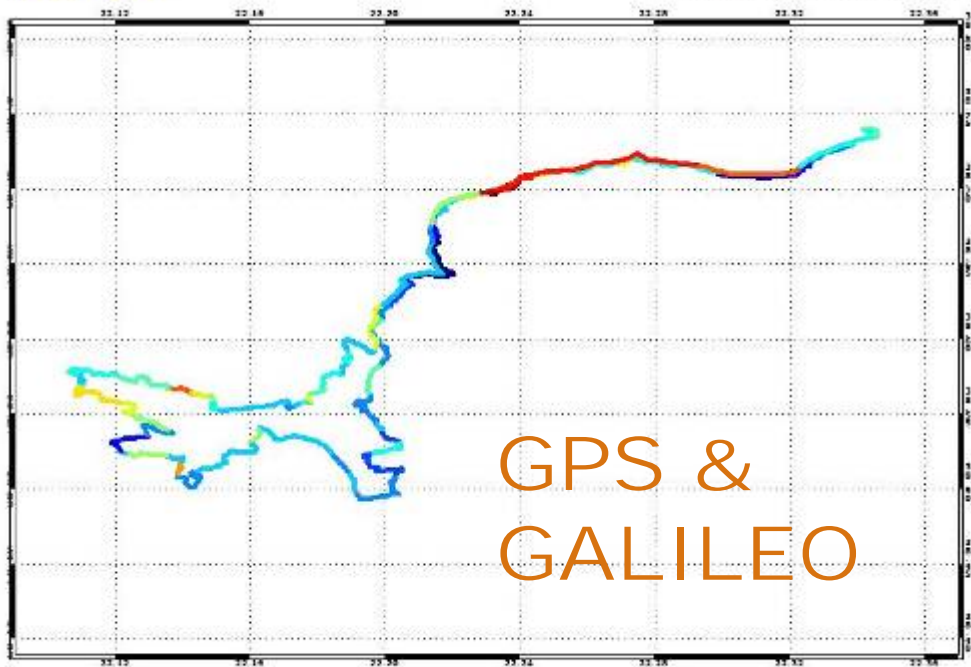


GNSS κινηματική όδευση Λίμνη Μόρνου

Δείκτης ακρίβειας – σ_{NSP}
GPS III L1-L5 & GALILEO E5B-E1

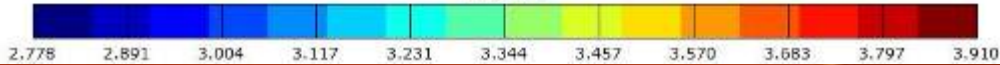
produced by
GSSF V2.1

rec_nsp_MobileUser_[1]
Navigation System Precision Data



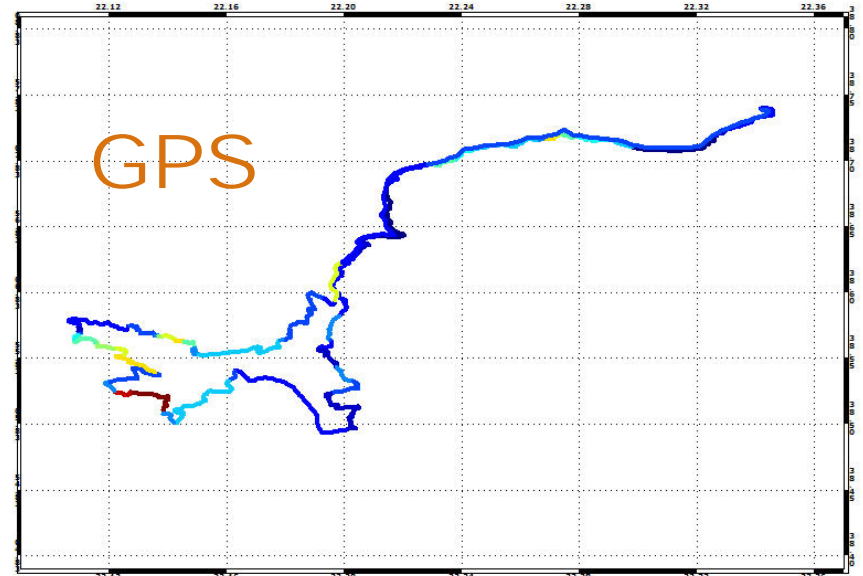
GPS &
GALILEO

σ_{NSP} [m]



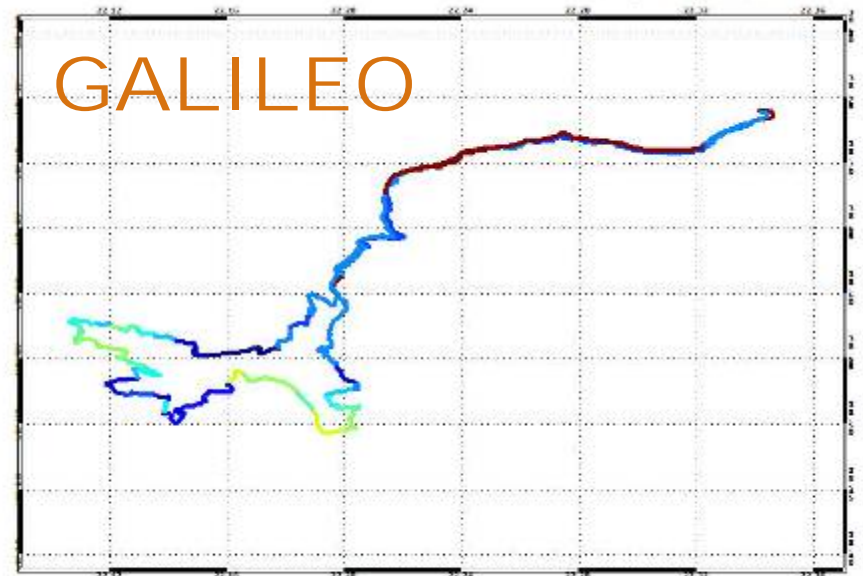
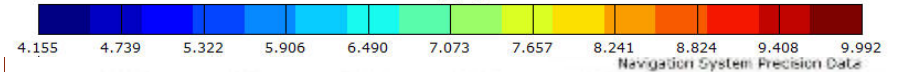
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ

rec_nsp_MobileUser_[1]
Navigation System Precision Data



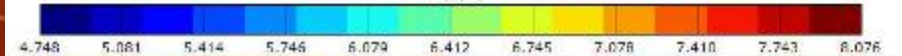
GPS

σ_{NSP} [m]



GALILEO

σ_{NSP} [m]



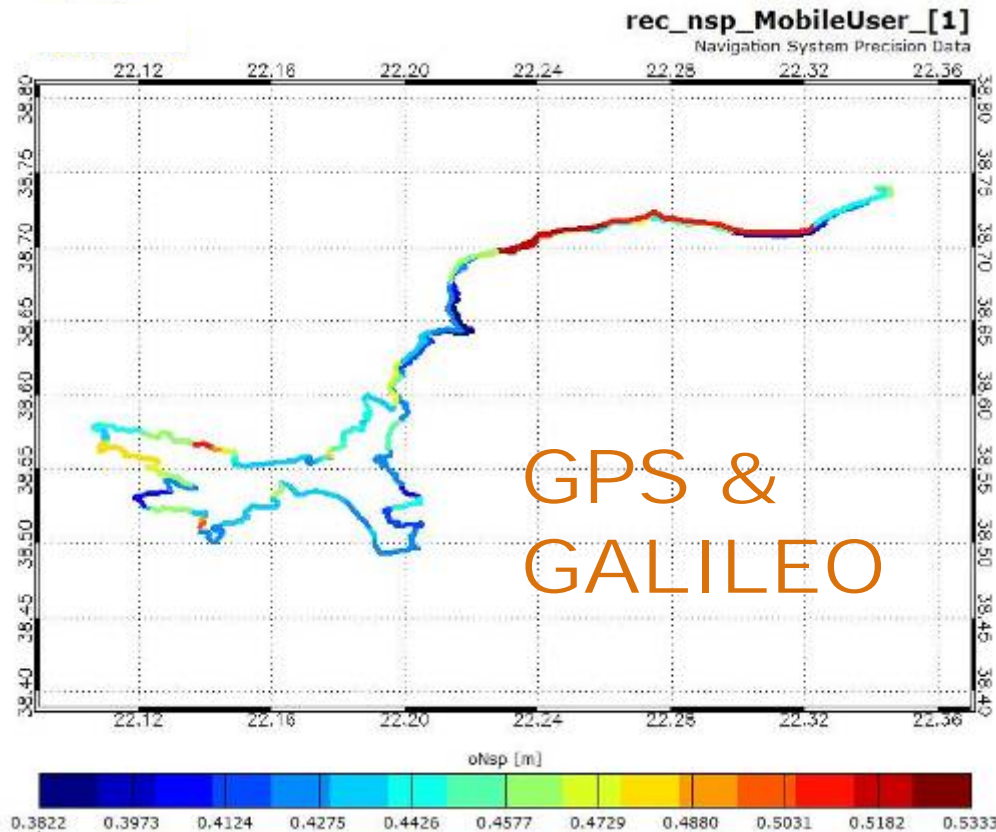
GNSS κινηματική όδευση

Λίμνη Μόρνου

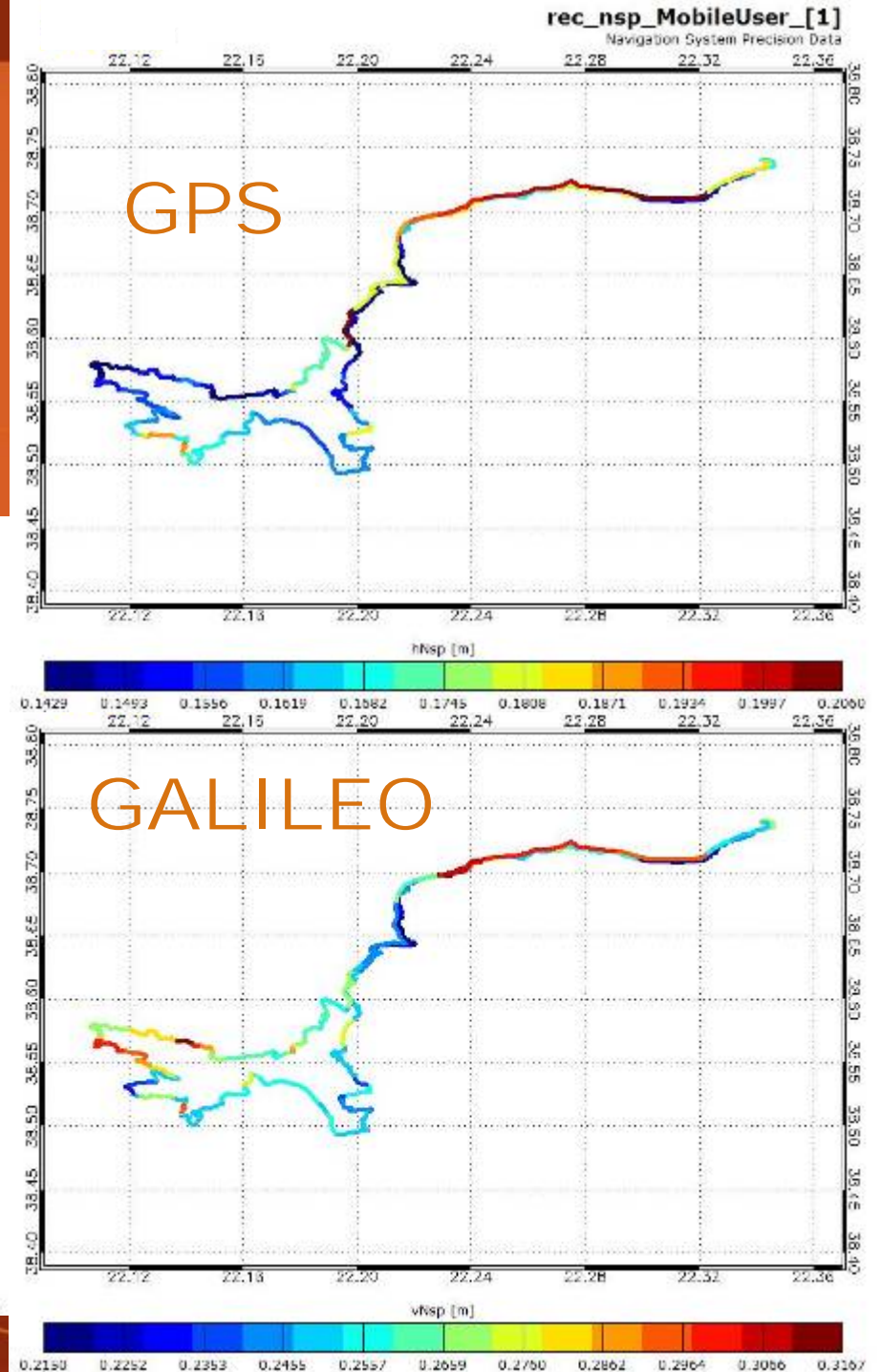
Δείκτης σχετικής ακρίβειας –

O_NSP

GPS III L1-L5 & GALILEO E5B-E1

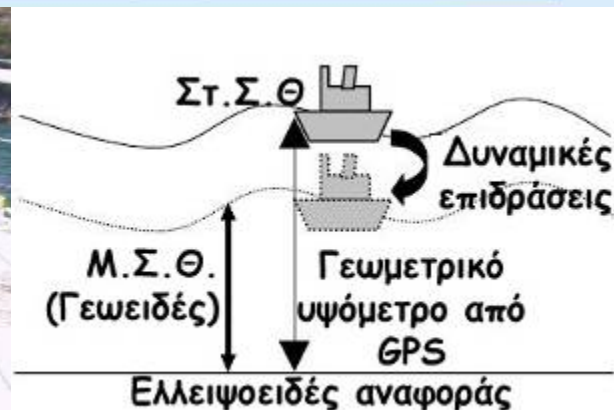
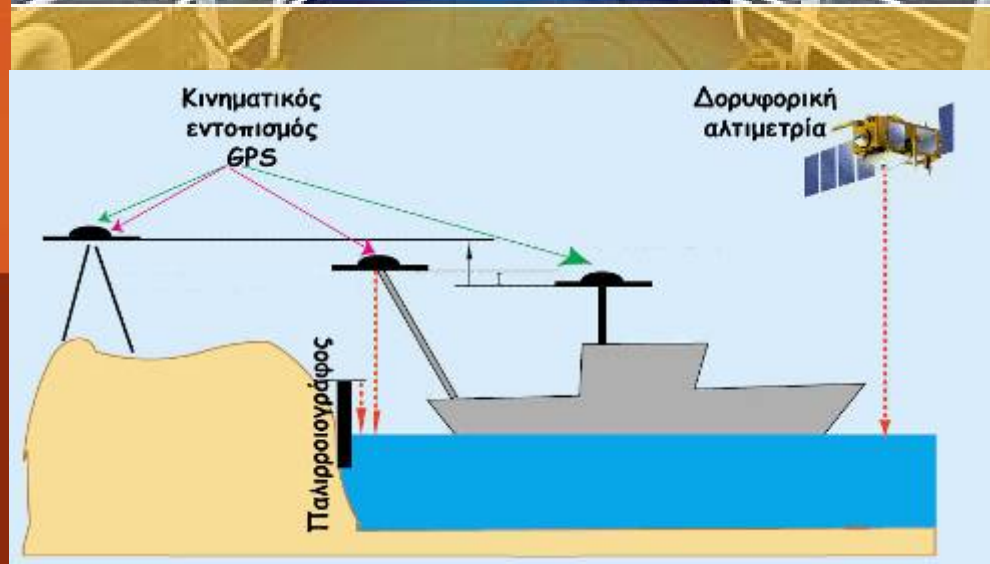


Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ



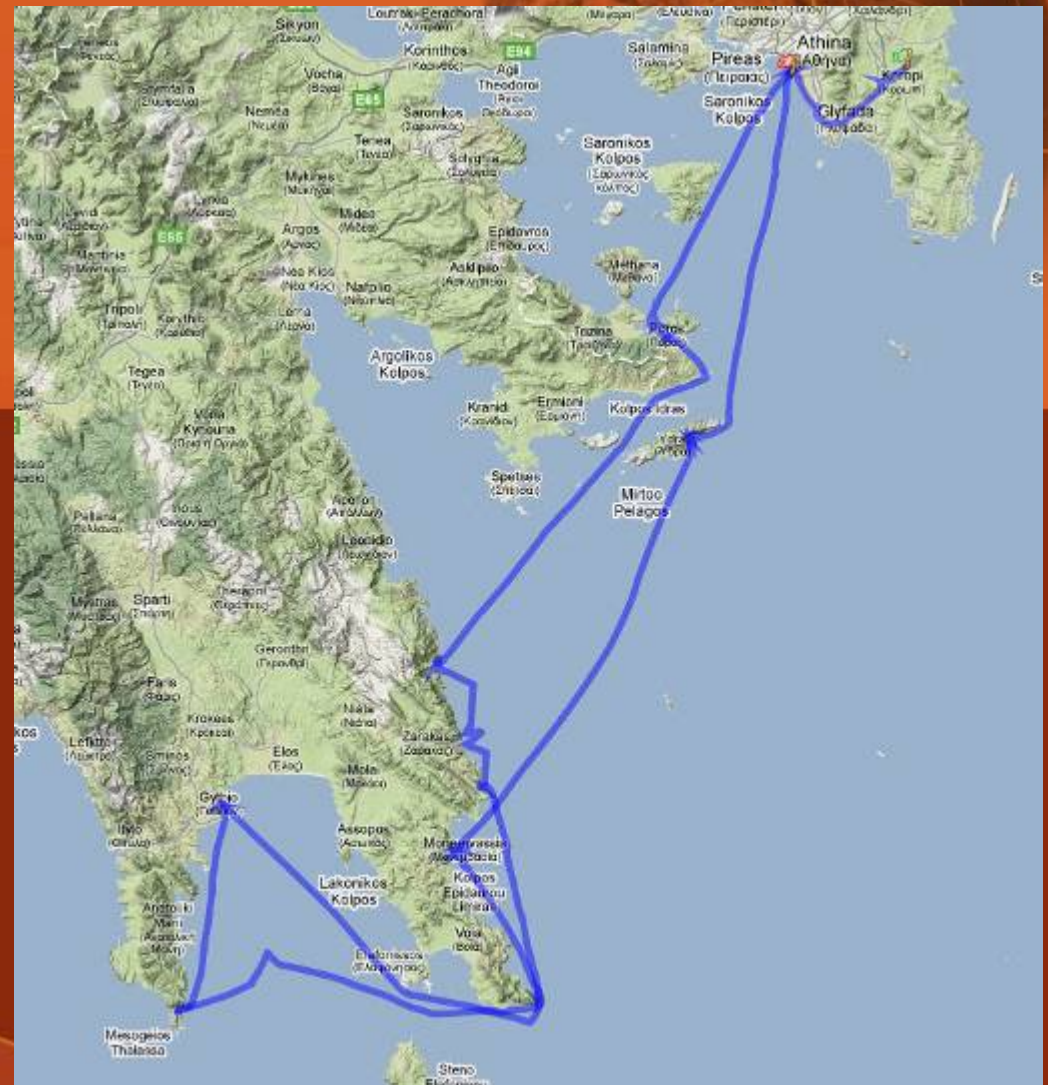
Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS εντοπισμός & πλοήγηση σκαφών

- Διεργασίες επιφανειακής θαλάσσιας αλτιμετρίας
- Πλοήγηση σε εσωτερικές πλωτές οδούς
- Βελτιστοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών
- Ακρίβεια, ακεραιότητα, συνέχεια, δυνατότητα διάθεσης και κάλυψη των διαφόρων φάσεων πλοήγησης

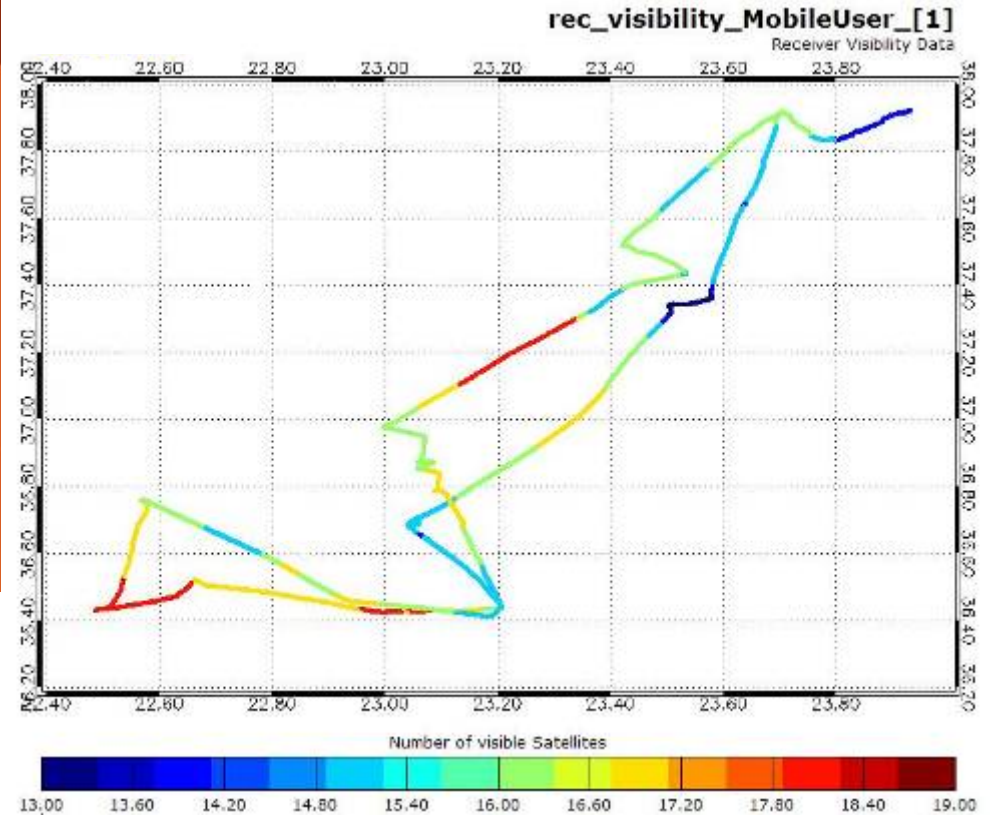
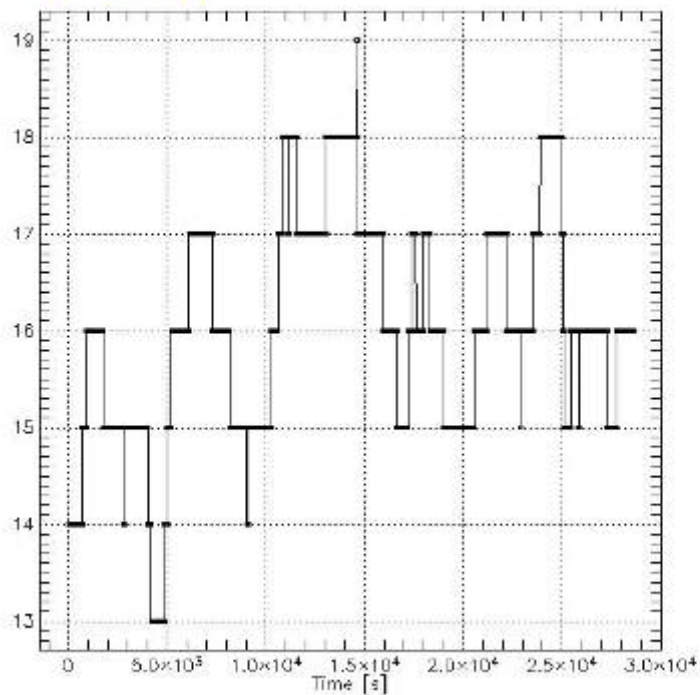


Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS εντοπισμός & πλοήγηση σκαφών

- Άλιμος – Πόρος – Ύδρα – Γύθειο (με επιστροφή)
- 624 km, σε περίπου 8 h

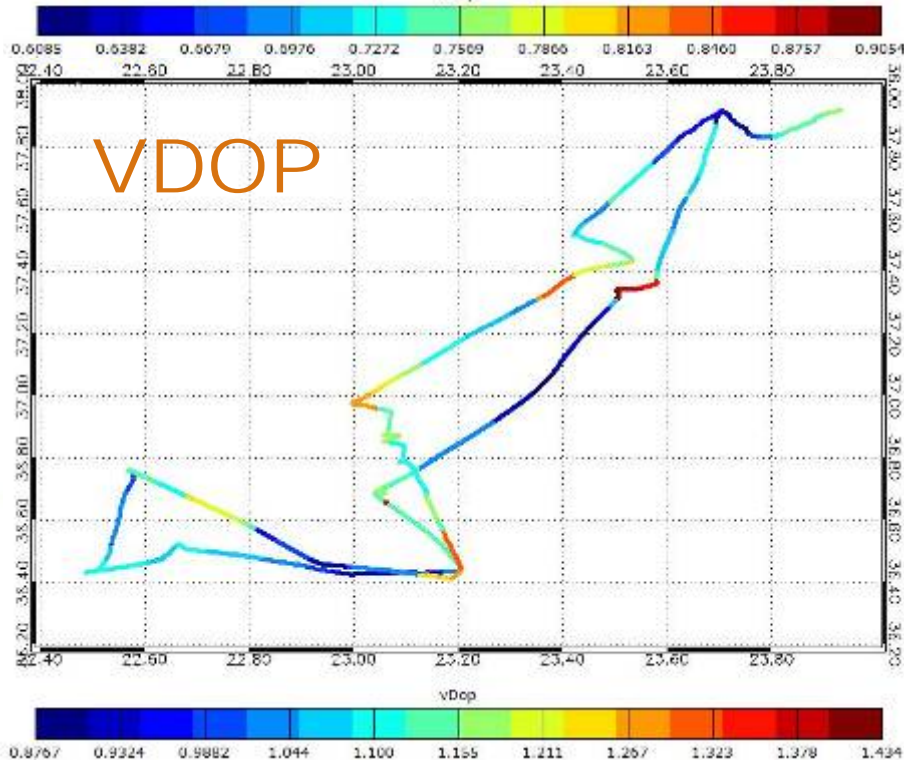
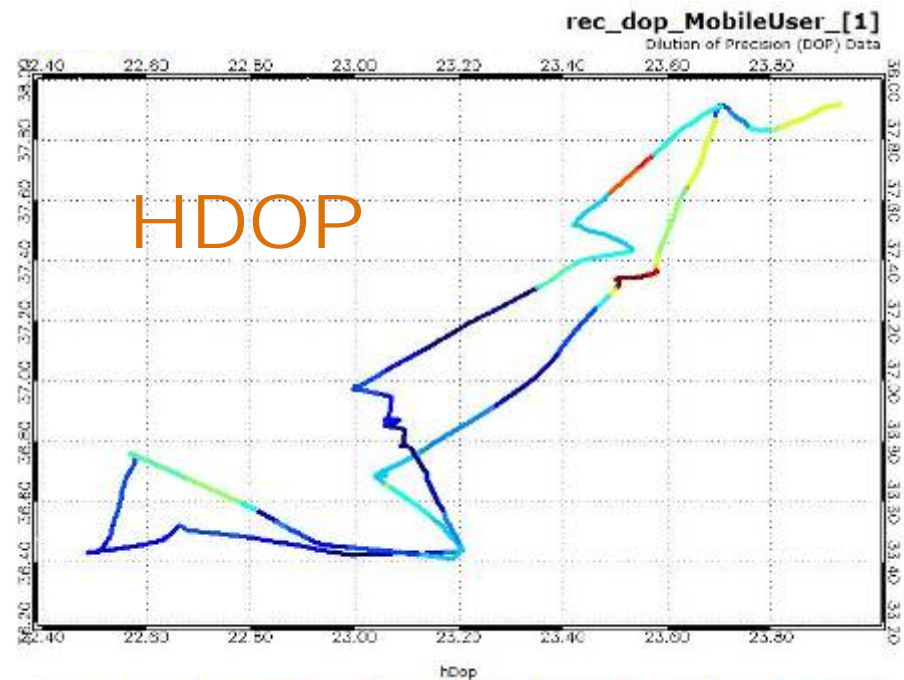
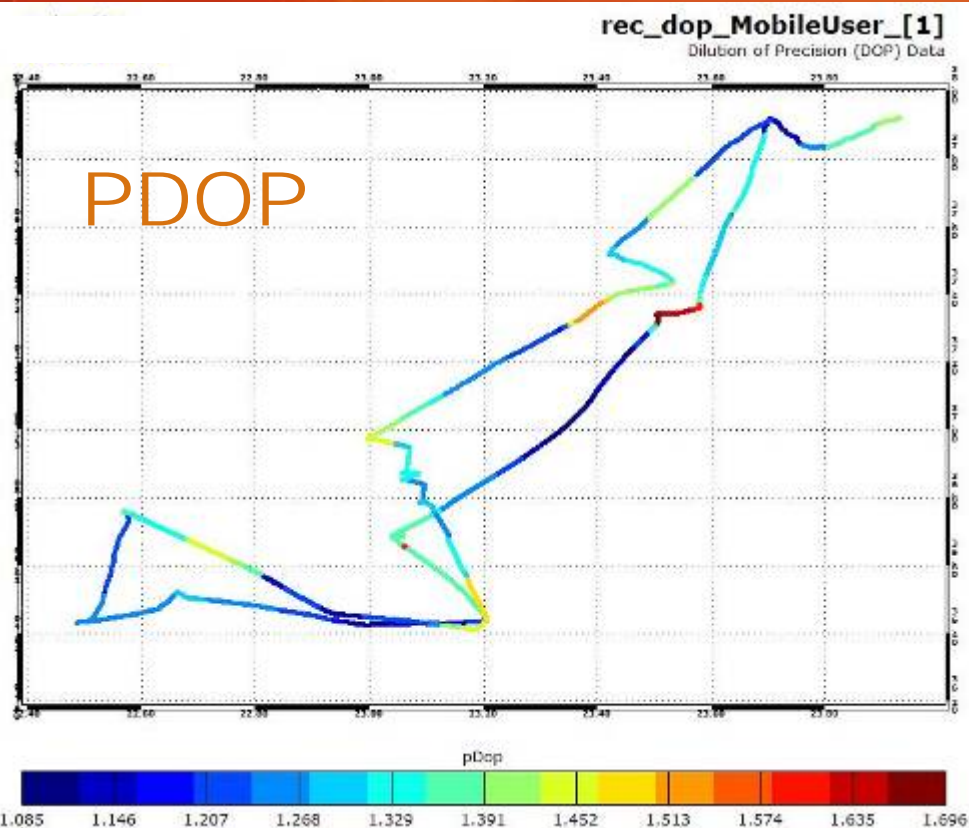


Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS εντοπισμός & πλοήγηση σκαφών



- Ορατοί δορυφόροι
- **GPS III & GALILEO**

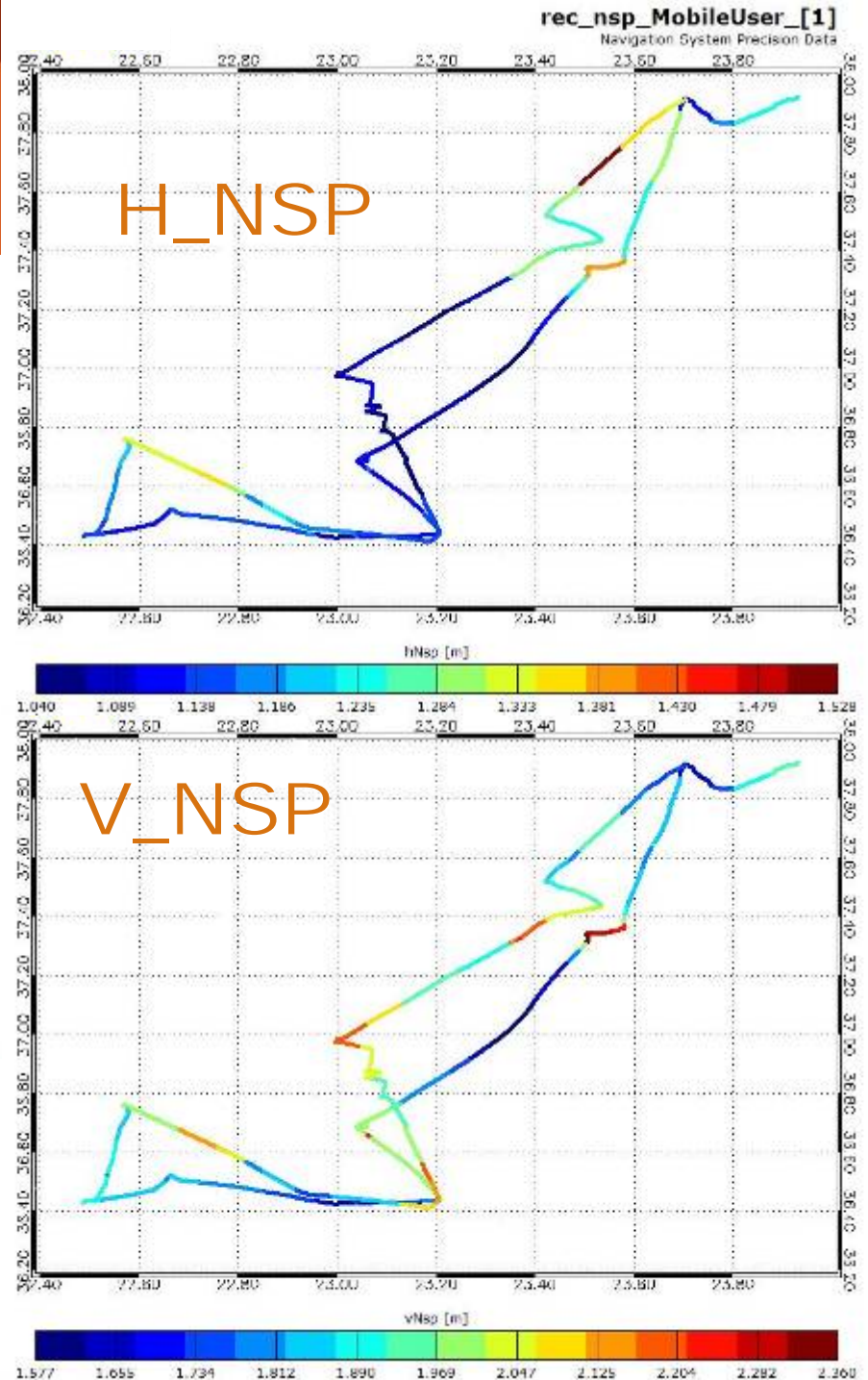
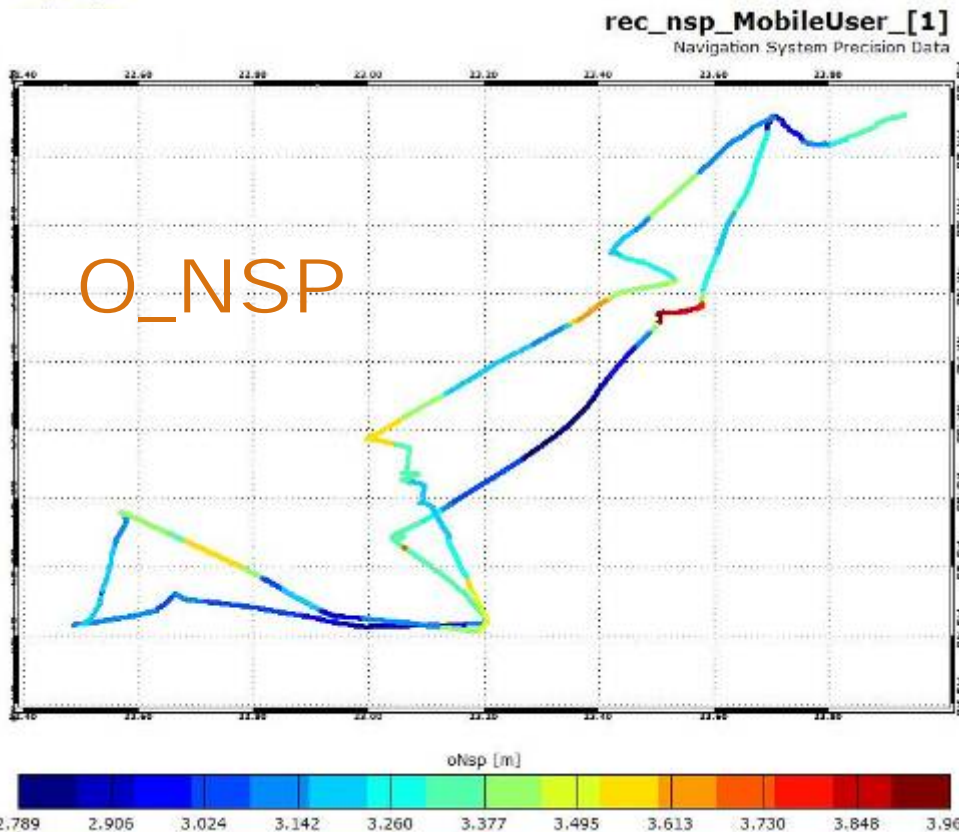
Παράδειγμα εφαρμογής: GNSS εντοπισμός & πλοήγηση σκαφών



- Δείκτες γεωμετρίας
- *GPS III & GALILEO*

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ

GNSS εντοπισμός & πλοήγηση σκαφών



- Δείκτες ακρίβειας
- **GPS III L1-L5 & GALILEO E5B-E1**

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΤ

Βασικά συμπεράσματα

- Τα διαθέσιμα εργαλεία ανάλυσης και η εμπειρία από το GPS μας επιτρέπουν τη λεπτομερή διερεύνηση της απόδοσης των συστημάτων πλοήγησης και εντοπισμού του αύριο
- Η αξιολόγηση των αποδόσεων πλοήγησης χρησιμοποιώντας μόνο το Galileo ή σε συνδυασμό με τα διάφορα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) ήδη έχει αναδείξει τα αυξημένα επίπεδα απόδοσης, π.χ. βελτίωση της γεωμετρίας, αυξημένες ορατότητες, ακρίβεια, ...
- Στη ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, μέρος των ερευνητικών εργασιών μας για το πρόγραμμα Galileo επικεντρώνονται στην ανάδειξη εφαρμογών σε διαφορετικά περιβάλλοντα (θαλάσσια και ηπειρωτικά) και σε διαφορετικά περικόωρα (αστικούς και ημιαστικούς χώρους)

Ερωτήσεις

