



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΝΑΥΣΠΛΟΪΑΣ
και
ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΜΕΓΑΛΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ
ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΠΑΛΛΗΚΑΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2010

“Η έγκριση διδακτορικής διατριβής από το τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.”
(Ν. 5343/1932, άρθρο 202)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ
και
ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΜΕΓΑΛΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ
ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΠΑΛΛΗΚΑΡΗΣ

Τριμελής επιτροπή:

Λύσανδρος Τσούλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δημήτριος Παραδείσης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μιχαήλ Φαφαλιός, Καθηγητής Σ.Ν.Δ.

ΑΘΗΝΑ 2010

Πρόλογος

Η ιδέα της εκπόνησης της παρούσας διατριβής προέκυψε στις αρχές του έτους 2006 κατά τη διάρκεια άτυπης συνάντησης εργασίας που είχα με τον καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Λύσανδρο Τσούλο, στο περιθώριο της οποίας του γνωστοποίησα την έκβαση προσπαθειών/προτάσεων μου για την ανάπτυξη Συστήματος Απεικόνισης Ηλεκτρονικού Χάρτη και Πληροφοριών με στόχο την κάλυψη εκπαιδευτικών αναγκών της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων και την επιχειρησιακή του αξιοποίηση σε πλοία του στόλου (σύστημα WECDIS). Τον καθηγητή κ. Λύσανδρο Τσούλο είχα την τύχη να γνωρίσω και να συνεργαστώ εποικοδομητικά για θέματα Ναυτικής Χαρτογραφίας κατά τα έτη της συνυπηρεσίας μας στην Υδρογραφική Υπηρεσία μέχρι τη στιγμή που αποφάσισε να σταδιοδρομήσει στον ακαδημαϊκό χώρο. Τον ευχαριστώ για την σημαντικότερη αυτή ευκαιρία που μου έδωσε.

Για τους ίδιους λόγους, ευχαριστώ τον καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Δημήτρη Παραδείση με τον οποίο είχα επίσης την τύχη στο παρελθόν να συνεργαστώ εποικοδομητικά για θέματα θαλάσσιου εντοπισμού θέσης.

Ευχαριστώ τον καθηγητή της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων κ. Μιχαήλ Φαφαλιό για την ηθική υποστήριξη αυτής της προσπάθειας και τα εποικοδομητικά του σχόλια στα δοκίμια της διατριβής.

Η παλαιότερη συνεργασία με τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή έκβαση της διατριβής. Η συστηματική ανταλλαγή απόψεων, οι αναλυτικές συζητήσεις και διαδοχικές προσεγγίσεις για την εξέταση των θεμάτων των τριών (3) γνωστικών πεδίων που συνθέτουν την διατριβή (ναυσιπλοΐα, γεωδαισία και αναλυτική/ψηφιακή χαρτογραφία), ήταν μια παλαιά γνώριμη και ευχάριστη διαδικασία.

Ευχαριστώ τον πρόεδρο και τα μέλη του εκπαιδευτικού συμβουλίου της Σ.Ν.Δ. για την χορήγηση εκπαιδευτικής άδειας, η οποία μου επέτρεψε την κατά αποκλειστικότητα ενασχόλησή μου με τη διατριβή κατά το τελευταίο έτος εκπόνησής της.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρόεδρο του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών καθηγητή κ. Μαρίνο Κάβουρα και τους διατελέσαντες διευθυντές του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας καθηγητές κ.κ. Βύρωνα Νάκο και Βασιλική Φιλιππακοπούλου για το ευχάριστο περιβάλλον που μου παρείχαν και το πνεύμα συνεργασίας που επέδειξαν κατά τη διάρκεια της εργασίας μου στο χώρο του Εργαστηρίου.

Αθανάσιος Παλληκάρης
Ιούνιος 2010

Περίληψη

Ο βασικός σκοπός της διδακτορικής διατριβής ήταν η διερεύνηση των μεθόδων επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας καθώς και των γενικών αρχών και μεθόδων επιλογής και υλοποίησης χαρτογραφικών απεικονίσεων για την ανάδειξη νέων βελτιωμένων μεθόδων, τόσο για την ακριβέστερη σχεδίαση του πλου, όσο και για την πιστότερη απεικόνιση δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων στα Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ).

Στο 1^ο εισαγωγικό κεφάλαιο με τίτλο: “*Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ ΣΤΙΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ*” παρουσιάζεται μια συνοπτική επισκόπηση των βασικών αρχών και μεθόδων επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων της ναυσιπλοΐας σε συνδυασμό με τις μεθόδους χαρτογραφικής απεικόνισης και οπτικοποίησης δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων, τόσο στην παραδοσιακή ναυσιπλοΐα, όσο και σε περιβάλλον ΣΗΝΧ. Έμφαση δίνεται στις αδυναμίες των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και τα περιθώρια βελτίωσής τους, στις διεθνείς προδιαγραφές των ΣΗΝΧ και στους στόχους της διατριβής.

Στο 2^ο κεφάλαιο με τίτλο: “*ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ*” παρουσιάζονται, αναλύονται και αξιολογούνται παραδοσιακές και νεότερες μέθοδοι επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας στη σφαίρα και στο ΕΕΠ και προτείνονται νέες βελτιωμένες μέθοδοι και αλγόριθμοι γεωδαιτικής επίλυσης, τόσο για την ακριβέστερη σχεδίαση του πλου, όσο και για την απεικόνιση δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων σε ΣΗΝΧ σε οποιαδήποτε χαρτογραφική απεικόνιση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι προτεινόμενες νέες μέθοδοι για:

- Τον ακριβέστερο και αποτελεσματικότερο υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού που χρησιμοποιείται ως προαπαιτούμενος υπολογισμός για την επίλυση αρκετών προβλημάτων ναυσιπλοΐας.
- Την ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη επίλυση των προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (ευθέος και αντιστρόφου) στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς και τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων των δρομολογίων λοξοδρομικού πλου, για την ακριβέστερη απεικόνιση αυτών των δρομολογίων στην οθόνη του συστήματος με χρήση οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης.
- Την για πρώτη φορά δημοσιευόμενη ολοκληρωμένη μέθοδο και αλγόριθμο επίλυσης του προβλήματος πλου στη μέγιστη έλλειψη (ευθέος και αντιστρόφου), συμπεριλαμβανομένου και του υπολογισμού των γεωδαιτικών συντεταγμένων μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων του μέγιστου ελλειπτικού τόξου, για την ακριβέστερη απεικόνιση των αντίστοιχων δρομολογίων στην οθόνη του συστήματος με χρήση οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης.

Η αξιοπιστία και η ακρίβεια των προτεινόμενων στο 2^ο κεφάλαιο νέων μεθόδων επίλυσης προβλημάτων ναυσιπλοΐας τεκμηριώθηκε με την εκτέλεση συγκριτικής αξιολόγησης των αριθμητικών αποτελεσμάτων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου, ορθοδρομικού πλου, πλου στη γεωδαισιακή γραμμή και πλου στη μέγιστη έλλειψη.

Στο 3^ο κεφάλαιο με τίτλο: “*ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΠΛΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΕΠ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ*” παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης των μεθόδων μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαιρική επιφάνεια και προτείνεται η καταλληλότερη για ΣΗΝΧ μέθοδος διπλού μετασχηματισμού του ΕΕΠ (στη σφαίρα και στη συνέχεια στο επίπεδο). Αρχικά παρουσιάζεται επισκόπηση των μεθόδων μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα και καθορίζονται τέσσερις μέθοδοι μετασχηματισμού για πιθανή χρήση σε ΣΗΝΧ. Στη συνέχεια εκτελείται αναλυτική συγκριτική αξιολόγηση των παραμορφώσεων των μεθόδων αυτών με τον υπολογισμό και την ανάλυση των αντίστοιχων παραμορφώσεων. Ως αποτέλεσμα προτείνεται η καταλληλότερη για χρήση σε ΣΗΝΧ μέθοδος διπλού μετασχηματισμού του ΕΕΠ (σε σφαίρα και στη συνέχεια σε επίπεδο) για την αξιοποίηση και των χαρτογραφικών απεικονίσεων, στις οποίες υφίστανται συναρτήσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού μόνο για τη σφαίρα.

Στο 4^ο κεφάλαιο με τίτλο: “*ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ*” παρουσιάζεται αρχικά επισκόπηση των γενικών μεθόδων επιλογής και αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων και καθορίζονται οι ειδικές απαιτήσεις για ΣΗΝΧ. Με βάση τις ειδικές αυτές απαιτήσεις προσδιορίζονται δεκαοκτώ (18) απεικονίσεις που αξιολογούνται αναλυτικότερα σε επόμενα στάδια για ενδεχόμενη χρήση σε ΣΗΝΧ. Ο προσδιορισμός αυτός στηρίχτηκε στη συγκριτική μελέτη των βασικών χαρακτηριστικών του συνόλου των χαρτογραφικών απεικονίσεων που παρουσιάζονται στα κυριότερα συγγράμματα της αναλυτικής χαρτογραφίας (μέγεθος και κατανομή παραμορφώσεων, μορφή των γραμμών της ορθοδρομίας/λοξοδρομίας και των μεσημβρινών/παραλλήλων). Στη συνέχεια εκτελείται η αρχική αξιολόγηση των απεικονίσεων αυτών με την εκπόνηση και ανάλυση ειδικών χαρτών, στους οποίους απεικονίζονται επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου καθώς και ελλείψεις παραμόρφωσης για κάθε αξιολογούμενη απεικόνιση. Από την αρχική αυτή αξιολόγηση επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτικότερη αξιολόγηση δεκαπέντε (15) απεικονίσεις. Στο τελευταίο τμήμα του κεφαλαίου 4 καθορίζονται εξειδικευμένα κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ που θα χρησιμοποιηθούν στα επόμενα στάδια αξιολόγησης.

Στο 5^ο κεφάλαιο με τίτλο: “*ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ*” παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αναλυτικότερης συγκριτικής αξιολόγησης των δεκαπέντε (15) απεικονίσεων που επιλέχθηκαν στο 4ο κεφάλαιο. Αυτό το στάδιο αξιολόγησης στηρίχτηκε στον υπολογισμό και στην ανάλυση των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση. Για το σκοπό αυτό εκπονήθηκαν αναλυτικά διαγράμματα κατανομής των παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος, καθώς και χάρτες με τις ισარიθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων για τις εξεταζόμενες απεικονίσεις. Από την αξιολόγηση αυτή επιλέχθηκαν επτά (7) απεικονίσεις για περαιτέρω αναλυτικότερη αξιολόγηση, ανάλογα με τη θέση και την έκταση της γεωγραφικής περιοχής.

Στο 6^ο κεφάλαιο με τίτλο: “*ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΗΝΧ*” παρουσιάζονται η διαδικασία και τα αποτελέσματα της τελικής συγκριτικής αξιολόγησης των χαρτογραφικών απεικονίσεων που επιλέχθηκαν στο 5ο κεφάλαιο. Αυτό το στάδιο αξιολόγησης στηρίχτηκε τόσο στη λεπτομερέστερη ανάλυση της κατανομής των παραμορφώσεων ανάλογα με τη θέση και την έκταση της αποδιδόμενης στην οθόνη του συστήματος γεωγραφικής περιοχής, όσο και στην αξιολόγηση ειδικών κριτηρίων και παραμέτρων αξιολόγησης για ΣΗΝΧ. Τελικά προτείνονται πέντε (5) απεικονίσεις για χρήση σε ΣΗΝΧ σύμφωνα με προτεινόμενους κανόνες επιλογής της κατά περίπτωση καταλληλότερης.

Στο 7^ο κεφάλαιο με τίτλο: “*ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ*” παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των επί μέρους συνιστωσών της εκτελεσθείσας έρευνας και προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.

Στα δέκα (10) παραρτήματα παρουσιάζονται λεπτομερέστερα τα σημαντικότερα προϊόντα της ανάλυσης που εκτελέστηκε για την τεκμηρίωση της διατριβής, όπως: η αναλυτική εξαγωγή των τύπων της λοξοδρομίας στο ελλειψοειδές, ειδικοί χάρτες για κάθε αξιολογούμενη χαρτογραφική απεικόνιση, στους οποίους έχουν σχεδιαστεί ελλείψεις παραμόρφωσης, καθώς και επιλεγμένα δρομολόγια λοξοδρομικού και ορθοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων, κ.α.

Abstract

The aim of this dissertation is twofold: firstly to investigate the methods of sailing calculations used in ECDIS and ECS systems and propose new improved methods for precise calculation on the ellipsoid and secondly to investigate the issue of the employment of map projections in ECDIS and ECS systems and propose specific projections for improved visual perception of long navigational paths.

The first chapter presents a brief overview of the methods and practices used in traditional navigation and ECDIS/ECS systems and the corresponding IMO performance standards for ECDIS concerning the conduction of sailing calculations, the employment of map projections and the visualization of long navigational paths.

The second chapter presents formulas for both Rhumb Line Sailing (RLS) on the ellipsoid and Great Elliptic Sailing (GES). The RLS formulas result from the analysis of the geometry of the loxodrome on the ellipsoid and are simpler and faster than those traditionally used for Rhumb Line Sailing on the ellipsoid, which are normally based on the Mercator projection formulas. The proposed algorithm for Great Elliptic Sailing provides high accuracy comparable to that obtained by the computations of geodesics. Numerical tests show that discrepancies in the computed distances between “geodesic” and the proposed new method and algorithm for the “great elliptic arc sailing” are practically negligible for navigation. The proposed algorithms for RLS and GES calculate also the geodetic coordinates of any finite number of intermediate points for the precise depiction on long navigational paths on the screen.

The third chapter presents the results of the conducted study on the most appropriate method of double projection of the ellipsoid (intermediate transformation of the ellipsoid to sphere) for the employment of map projections for which formulas are provided only for the sphere.

The fourth chapter elaborates on the criteria and methodology that have been used for the selection of the appropriate map projection in ECDIS. According to these criteria eighteen (18) map projections are initially selected and evaluated for potential use in navigational systems. As a result of this preliminary evaluation, fifteen (15) map projections are proposed for further analytical evaluation.

The fifth chapter presents the results of the calculation and analysis of distortion and other evaluation criteria and parameters for the fifteen (15) projections selected in chapter 4. As a result, seven (7) map projections are proposed for final evaluation.

The sixth chapter presents the results of the final evaluation depending on the location and the extend of the area portrayed on the screen. Improved visual perception is possible through the proper choice among five (5) alternative solutions for the selection of the most appropriate map projection.

The last (seventh) chapter presents a brief overview of the conclusions, the proposed new sailing calculation methods on the ellipsoid and the rules established for the choice of map projections for improved visual perception of long navigational paths on the ECDIS/ECS screen.

The ten (10) annexes contain maps and other products that have been constructed for the support of the conducted research such as: specially constructed maps showing selected Great Circles (GCs) and Rhumb Lines (RLs)/loxodromes routes, distortion ellipses and isolines of area and angular distortion for the evaluated projections.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος

Περίληψη/Abstract

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

1.1	Η διαχρονικότητα των μεθόδων ναυσιπλοΐας και οι εξελίξεις της τεχνολογίας.....	1
1.2	Βασικά χαρακτηριστικά του λοξοδρομικού, του ορθοδρομικού και του σύνθετου πλου.....	2
1.3	Επίλυση προβλημάτων ναυσιπλοΐας και σχεδίαση πλου στην παραδοσιακή ναυτιλία.....	5
1.3.1	Σχεδίαση λοξοδρομικού, ορθοδρομικού και σύνθετου πλου σε μερκατορικό και σε γωνιολογικό ναυτικό χάρτη	5
1.3.2	Αριθμητική επίλυση λοξοδρομικών προβλημάτων στην παραδοσιακή ναυτιλία	10
1.3.3	Αριθμητική επίλυση προβλημάτων ορθοδρομικού και σύνθετου πλου στην παραδοσιακή ναυτιλία.....	10
1.3.4	Αδυναμίες και σφάλματα των παραδοσιακών μεθόδων επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων της ναυσιπλοΐας	12
1.4	Ναυσιπλοΐα σε περιβάλλον ΣΗΝΧ.....	14
1.4.1	Βασική ορολογία.....	14
1.4.2	Ηλεκτρονικοί Ναυτιλιακοί Χάρτες (ENCs) και Βάση Δεδομένων Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη Συστήματος (SENC).....	14
1.4.3	Απεικόνιση χαρτογραφικών και ναυτιλιακών πληροφοριών στην οθόνη των ΣΗΝΧ - Βιβλιοθήκη Συμβόλων (ECDIS Presentation Library).....	18
1.4.4	Κλίμακα απεικόνισης και προσανατολισμός Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών	20
1.4.5	Σχεδίαση και οπτικοποίηση δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων σε ΣΗΝΧ.....	20
1.5	Χαρτογραφικές απεικονίσεις στην παραδοσιακή ναυτιλία και σε ΣΗΝΧ	27
1.6	Συνοπτική επισκόπηση δυνατοτήτων και προοπτικών εξέλιξης ΣΗΝΧ και στόχοι της διδασκαλίας διατριβής.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ

2.1	Επίλυση προβλημάτων ναυσιπλοΐας και απεικόνιση δρομολογίων πλου σε ΣΗΝΧ.....	33
2.2	Συγκριτική μελέτη μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου.....	35
2.2.1	Μέθοδος του Bowring	37
2.2.2	Μέθοδος του Snyder	39
2.2.3	Μέθοδος του Bennett.....	40
2.2.4	Προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου.....	41
2.2.5	Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου.....	42
2.3	Επίλυση προβλημάτων ορθοδρομικού πλου.....	50
2.3.1	Μέθοδοι σφαιρικής τριγωνομετρίας.....	50
2.3.2	Μέθοδοι γραμμικής άλγεβρας και διανυσματικής ανάλυσης.....	51

2.3.3	Σχολιασμός μεθόδων επίλυσης προβλημάτων ορθοδρομικού πλου.....	56
2.4	Επίλυση προβλημάτων πλου στη γεωδαισιακή	57
2.5	Επίλυση προβλημάτων στη μέγιστη έλλειψη	58
2.5.1	Βασικές αρχές επίλυσης προβλημάτων πλου στη μέγιστη έλλειψη	58
2.5.2	Συνοπτική επισκόπηση μεθόδων επίλυσης προβλημάτων πλου στη μέγιστη έλλειψη	60
2.5.3	Προτεινόμενη μέθοδος/αλγόριθμος επίλυσης στη μέγιστη έλλειψη	61
2.5.4	Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων επίλυσης στη μέγιστη έλλειψη.....	66
2.6	Σχόλια, συμπεράσματα και προτάσεις κεφαλαίου 2.....	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΠΛΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΕΠ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ

3.1	Βασικές αρχές και θεμελιώδη προβλήματα της αναλυτικής χαρτογραφίας.....	77
3.1.1	Το ευθύ και το αντίστροφο πρόβλημα της αναλυτικής χαρτογραφίας.....	77
3.1.2	Μέθοδοι απεικόνισης της επιφάνειας του ΕΕΠ σε επίπεδο.....	79
3.2	Παραμορφώσεις απεικονίσεων	81
3.2.1	Βασικοί ορισμοί	81
3.2.2	Εξισώσεις υπολογισμού παραμορφώσεων	83
3.2.3	Μέθοδοι υπολογισμού και ανάλυσης παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτελεσθείσα έρευνα.....	85
3.3	Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε σφαιρική επιφάνεια	86
3.3.1	Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε σφαίρα συμμορφίας	87
3.3.2	Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε ισοδύναμη σφαίρα	89
3.3.3	Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρα	90
3.3.4	Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρα	92
3.4	Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων χαρτογραφικής απεικόνισης.....	93
3.4.1	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μετασχηματισμού γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος.....	93
3.4.2	Αξιολόγηση παραμορφώσεων μετασχηματισμού ΕΕΠ σε σφαίρα	101
3.4.3	Αξιολόγηση παραμορφώσεων απλής και διπλής απεικόνισης	109
3.5	Επιλογή βοηθητικής σφαίρας για χρήση στα ΣΗΝΧ.....	114
3.6	Σχόλια, συμπεράσματα και προτάσεις κεφαλαίου 3.....	114

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

4.1	Γενικές αρχές επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων	117
4.2	Κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ειδικές εφαρμογές	121
4.2.1	Θέση της απεικονιζόμενης περιοχής.....	121
4.2.2	Έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής και κλίμακα απεικόνισης	122
4.2.3	Σχήμα /μορφή της απεικονιζόμενης περιοχής.	124
4.2.4	Κατανομή των παραμορφώσεων σε συνδυασμό με άλλες βασικές ιδιότητες.....	127
4.3	Ειδικές απαιτήσεις και κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ.....	128
4.4	Ομαδοποίηση χαρτογραφικών απεικονίσεων προς αξιολόγηση	130

4.4.1	Επιλογή καταλληλότερων κυλινδρικών απεικονίσεων.....	132
4.4.2	Επιλογή καταλληλότερων κωνικών απεικονίσεων.....	134
4.4.3	Επιλογή καταλληλότερων αζιμουθιακών απεικονίσεων.....	137
4.4.4	Επιλογή καταλληλότερων ψευδοκυλινδρικών κωνικών απεικονίσεων.....	138
4.4.5	Διαδικασία περαιτέρω αξιολόγησης και επιλογής.....	140
4.5	Καθορισμός «κλιμάκων απεικόνισης» και γεωγραφικών περιοχών για συγκριτική αξιολόγηση.....	141
4.6	Καθορισμός παραμέτρων αξιολόγησης και μέγιστων επιτρεπόμενων αποκλίσεων.....	145
4.6.1	Παράμετροι υπολογισμού παραμορφώσεων και πιστότητας οπτικοποίησης.....	145
4.6.2	Μέγιστες επιτρεπόμενες αποκλίσεις παραμέτρων αξιολόγησης.....	148
4.7	Σύνοψη συμπερασμάτων και προτάσεων κεφαλαίου 4.....	151

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

5.1	Υπολογισμοί παραμορφώσεων κυλινδρικών απεικονίσεων.....	153
5.2	Υπολογισμοί παραμορφώσεων κωνικών απεικονίσεων.....	163
5.3	Υπολογισμοί παραμορφώσεων αζιμουθιακών απεικονίσεων.....	168
5.4	Υπολογισμοί παραμορφώσεων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων.....	171
5.5	Ανάλυση παραμορφώσεων αξιολογούμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων.....	173
5.5.1	Ανάλυση παραμορφώσεων κυλινδρικών απεικονίσεων.....	174
5.5.2	Ανάλυση παραμορφώσεων κωνικών απεικονίσεων.....	179
5.5.3	Ανάλυση παραμορφώσεων αζιμουθιακών απεικονίσεων.....	180
5.5.4	Ανάλυση παραμορφώσεων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων.....	181
5.6	Σύνοψη συμπερασμάτων, σχόλια και προτάσεις κεφαλαίου 5.....	182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΗΝΧ

6.1	Βασικές αρχές και διαδικασία επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ.....	185
6.2	Αξιολόγηση χαρτογραφικών απεικονίσεων ανάλογα με την ελαχιστοποίηση των τιμών και τον έλεγχο της κατανομής των παραμορφώσεων.....	186
6.3	Αξιολόγηση ανάλογα με την πιστότητα απεικόνισης της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας.....	196
6.4	Αξιολόγηση ανάλογα με τη δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού με βάση τη σχετική θέση δύο σημείων της οθόνης.....	202
6.5	Συνοπτική επισκόπηση και σχολίαση της μεθοδολογίας αξιολόγησης και των προταθέντων κανόνων επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων.....	202
6.6	Προτεινόμενοι κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ.....	204

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1	Συνοπτική επισκόπηση των αποτελεσμάτων της διδακτορικής διατριβής.....	205
7.1.1	Αποτελέσματα για άμεση αξιοποίηση στη βελτίωση της λειτουργικότητας των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ).....	205

7.1.2	Αποτελέσματα για άμεση αξιοποίηση στη βελτίωση της λειτουργικότητας των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ)	207
7.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και εφαρμογές.	208

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ:

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Α ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΛΟΞΟΔΡΟΜΙΑΣ ΣΤΟ ΕΕΠ	209
---	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ	213
---	------------

- Σχήμα Β-1: Ισημερινή μερκατορική απεικόνιση
- Σχήμα Β-2: Ορθή μερκατορική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°
- Σχήμα Β-3: Κυλινδρική ισοδύναμη ισημερινή απεικόνιση
- Σχήμα Β-4: Κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°
- Σχήμα Β-5: Κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°
- Σχήμα Β-6: Κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°
- Σχήμα Β-7: Κυλινδρική ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση
- Σχήμα Β-8: Κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°
- Σχήμα Β-9: Κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°
- Σχήμα Β-10: Κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°
- Σχήμα Β-11: Συμβατική κυλινδρική απεικόνιση του Miller
- Σχήμα Β-12: Στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση του Gall
- Σχήμα Β-13: Στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση του Σοβιετικού άτλαντα BASM

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΚΩΝΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ	221
---	------------

- Σχήμα Ζ.1: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Ζ.2: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Ζ.3: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Ζ.4: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Ζ.5: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Ζ.6: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Ζ.7: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους
- Σχήμα Ζ.8: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους
- Σχήμα Ζ.9: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους
- Σχήμα Ζ.10: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους
- Σχήμα Ζ.11: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους

- Σχήμα Z.12: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους
- Σχήμα Z.13: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου
- Σχήμα Z.14: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου
- Σχήμα Z.15: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ..... 237**

- Σχήμα Δ-1: Πολική γνωμονική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-2: Πλάγια γνωμονική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-3: Ισημερινή γνωμονική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-4: Πολική στερεογραφική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-5: Πλάγια στερεογραφική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-6: Ισημερινή στερεογραφική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-7: Πολική ορθογραφική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-8: Πλάγια ορθογραφική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-9: Ισημερινή ορθογραφική απεικόνιση
- Σχήμα Δ-10: Πολική αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση
- Σχήμα Δ-11: Πλάγια αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση
- Σχήμα Δ-12: Ισημερινή αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση
- Σχήμα Δ-13: Πολική αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση
- Σχήμα Δ-14: Πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση
- Σχήμα Δ-15: Ισημερινή αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΨΕΥΔΟΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ 251**

- Σχήμα Ε-1: Λοξιμουθιακή ισημερινή απεικόνιση
- Σχήμα Ε-2: Λοξιμουθιακή απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=30^\circ$
- Σχήμα Ε-3: Απεικόνιση του Robinson

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ 243**

- Σχήμα ΣΤ-1 : Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης Μερκατορικής ισημερινής απεικόνισης
- Σχήμα ΣΤ-2: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης
- Σχήμα ΣΤ-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης
- Σχήμα ΣΤ-4: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής απεικόνισης Miller
- Σχήμα ΣΤ-5: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής απεικόνισης Miller

Σχήμα ΣΤ-6: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής στερεογραφικής απεικόνισης

Σχήμα ΣΤ-7: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής στερεογραφικής απεικόνισης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ: ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

ΚΩΝΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ 257

Σχήμα Ζ-1: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης σύμμορφης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$

Σχήμα Ζ-2: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης σύμμορφης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$

Σχήμα Ζ-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης σύμμορφης κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=45^\circ$

Σχήμα Ζ-4: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισοδύναμης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$

Σχήμα Ζ-5: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισοδύναμης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$

Σχήμα Ζ-6: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισοδύναμης κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=45^\circ$

Σχήμα Ζ-7: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$

Σχήμα Ζ-8: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$

Σχήμα Ζ-9: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=45^\circ$

Σχήμα Ζ-10: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$

Σχήμα Ζ-11: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$

Σχήμα Ζ-12: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=45^\circ$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η: ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ 263

Σχήμα Η-1: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισημερινής ορθογραφικής απεικόνισης

Σχήμα Η-2: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισημερινής ορθογραφικής απεικόνισης

Σχήμα Η-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης αζιμουθιακής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης

Σχήμα Η-4: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης αζιμουθιακής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης

Σχήμα Η-5: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισημερινής στερεογραφικής απεικόνισης

Σχήμα Η-6: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης αζιμουθιακής ισοδύναμης ισημερινής απεικόνισης

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ: ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ
ΨΕΥΔΟΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ 267**

- Σχήμα Θ-1: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης απεικόνισης Robinson
- Σχήμα Θ-2: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης απεικόνισης Robinson
- Σχήμα Θ-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισημερινής λοξιμουθιακής απεικόνισης
- Σχήμα Θ-4: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισημερινής λοξιμουθιακής απεικόνισης
- Σχήμα Θ-5: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=15^\circ$
- Σχήμα Θ-6: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=15^\circ$
- Σχήμα Θ-7: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=30^\circ$
- Σχήμα Θ-8: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=30^\circ$
- Σχήμα Θ-9: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=45^\circ$
- Σχήμα Θ-10: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=45^\circ$
- Σχήμα Θ-11: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=60^\circ$
- Σχήμα Θ-12: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης σε $\varphi_0=60^\circ$

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΘΟΡΙΣΘΕΝΤΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ
ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ 275**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 279

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

AIS: Automated Identification System

AMN: Admiralty Manual of Navigation

APN: American Practical Navigator

ARPA: Automated Radar Plotting Aid (Σύστημα αυτόματης υποτύπωσης στόχων ραντάρ)

BASM: Bol'soy Sovetskiy Atlas Mira

ECDIS: Electronic Chart Display and Information System

ΕΕΠ: Ελλειψοειδές εκ περιστροφής

ENC: Electronic Navigational Chart (HNX)

HNX: Ηλεκτρονικός Ναυτιλιακός Χάρτης (ENC)

IBS: Integrated Bridge Systems

IHO: International Hydrographic Organization

IMO: International Maritime Organization

INS: Integrated Navigational Systems

ν.μ.: ναυτικά μίλια

SENC: System Electronic Navigational Chart

ΣHNX: Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη

ΣΓΠ: Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ ΣΤΙΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

1.1 Η διαχρονικότητα των μεθόδων ναυσιπλοΐας και οι εξελίξεις της τεχνολογίας

Από την εξέταση της ιστορικής εξέλιξης των μεθόδων ναυσιπλοΐας διαπιστώνεται ότι οι μέθοδοι υπακούουν σε κοινή διαχρονική λογική. Η διαθέσιμη τεχνολογία υποστηρίζει ανά εποχή σταθερές μεθόδους ναυσιπλοΐας, κάθε φορά με πλέον εξελιγμένα μέσα (Παλληκάρης και Κατσούλης 2008). Για παράδειγμα αναφέρεται η συνηθισμένη περίπτωση των μεθόδων της παραδοσιακής ναυσιπλοΐας για τον προσδιορισμό και την υποτύπωση της θέσης (στίγματος) του πλοίου με την αξιοποίηση:

- ενός φανού του φαρικού δικτύου ως σημείου αναφοράς για τον προσδιορισμό της θέσης (στίγματος) του πλοίου,
- του επαναλήπτη της γυροπυξίδας για τη μέτρηση της διόπτρευσης του φανού αυτού,
- του παραδοσιακού ραντάρ με αναλογική οθόνη για τη μέτρηση της απόστασης από τη θέση του φανού και
- ενός έντυπου ναυτικού χάρτη και οργάνων σχεδίασης (μολύβι, γομολάστιχα, κουμπάσο, δι-παράλληλο) για την υποτύπωση του στίγματος στο χάρτη και για τη σχεδίαση του δρομολογίου πλου.

Η παραπάνω διαδικασία της παραδοσιακής ναυτιλίας σήμερα μπορεί να γίνει με νεότερα ναυτιλιακά βοηθήματα και εργαλεία εξελιγμένης τεχνολογίας, όπως:

- οι δορυφόροι του συστήματος GNSS (αντί των πυρσών του φαρικού δικτύου), με χρήση τους ως σημείων αναφοράς για τον προσδιορισμό της θέσης (στίγματος) του πλοίου,
- ο δέκτης του δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης καθώς και η συσκευή ψηφιακού Radar/Airra που έχουν διασυνδεθεί με το σύστημα ECDIS¹ (αντί του επαναλήπτη της γυροπυξίδας και του αναλογικού ραντάρ), για την εκτέλεση των απαραίτητων για τον προσδιορισμό της θέσης (στίγματος) παρατηρήσεων/μετρήσεων,
- οι ηλεκτρονικοί χάρτες του συστήματος ECDIS (αντί των έντυπων ναυτικών χαρτών), για την απεικόνιση της περιοχής πλου και
- το ναυτιλιακό λογισμικό του συστήματος ECDIS (αντί των οργάνων σχεδίασης) για την υποτύπωση της θέσης (στίγματος) του πλοίου στον ηλεκτρονικό χάρτη του συστήματος, για τη σχεδίαση του δρομολογίου πλου καθώς και για την εκτέλεση των γραφικών εργασιών που στην παραδοσιακή ναυτιλία εκτελούνται στον έντυπο ναυτικό χάρτη.

Ακόμη και στα πιο σύγχρονα αυτόματα συστήματα πλοήγησης, όπως τα ολοκληρωμένα συστήματα ναυτιλίας INS² και τα ολοκληρωμένα συστήματα γέφυρας IBS³ ή στα υποσυστήματα που τα απαρτίζουν, όπως το σύστημα αυτόματης αναγνώρισης AIS⁴, για την πλήρη αξιοποίηση των στοιχείων και πληροφοριών που παρέχουν τα συστήματα αυτά, απαιτείται ο συσχετισμός τους με την εικόνα της περιοχής πλου που δίνεται από τον κατάλληλο ναυτικό χάρτη. Σύμφωνα με τις σχετικές αποφάσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού οι απαιτήσεις της χαρτογραφικής απόδοσης της περιοχής πλου καλύπτονται αποτελεσματικότερα με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του ναυτιλιακού συστήματος (IMO 2006).

¹ ECDIS: Electronic Chart Display and Information System.

² INS: Integrated Navigational System.

³ IBS: Integrated Bridge System.

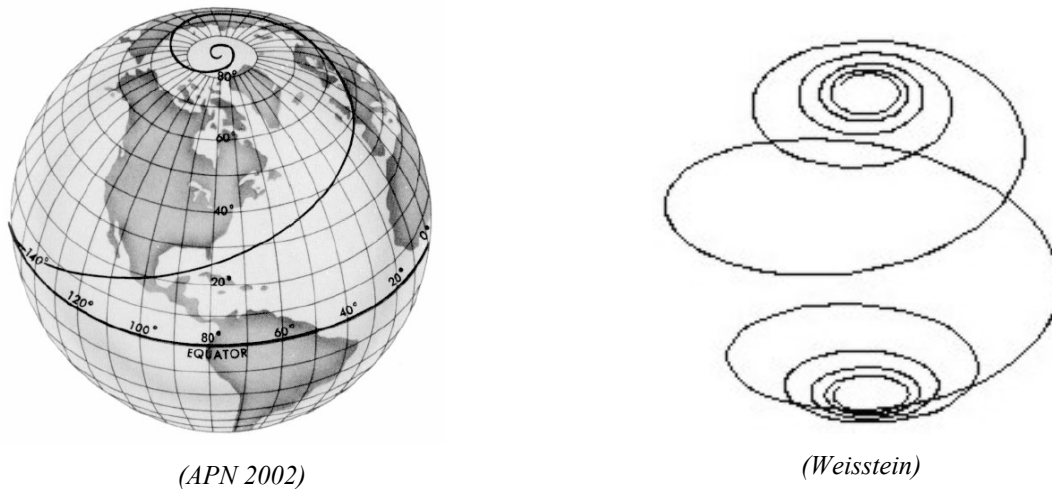
⁴ AIS: Automated Identification System.

Όπως αναφέρεται στη συνέχεια του παρόντος εισαγωγικού κεφαλαίου (§ 1.4), οι βασικές θεσμικές αποφάσεις του IMO⁵ καθώς και άλλων Διεθνών Οργανισμών και επιτροπών καλύπτουν με μεγάλη λεπτομέρεια και πληρότητα τις τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές του συστήματος ECDIS για την εκτέλεση ασφαλούς ναυσιπλοΐας. Εν τούτοις οι βασικές αυτές θεσμικές αποφάσεις δεν περιλαμβάνουν σαφείς προδιαγραφές ή οδηγίες για την απαιτούμενη ακρίβεια επίλυσης των βασικών για τη ναυσιπλοΐα προβλημάτων του ορθοδρομικού, του λοξοδρομικού και του σύνθετου πλου, ούτε για τη χρήση συγκεκριμένων συστημάτων χαρτογραφικής απεικόνισης για την απόδοση των χαρτογραφικών και των ναυτιλιακών πληροφοριών στην οθόνη του συστήματος.

1.2 Βασικά χαρακτηριστικά του λοξοδρομικού, του ορθοδρομικού και του σύνθετου πλου

Στην παραδοσιακή ναυτιλία ο πλους από ένα σημείο αναχώρησης Α προς ένα σημείο προορισμού Β υλοποιείται είτε με τη μέθοδο του λοξοδρομικού πλου, είτε με τη μέθοδο του ορθοδρομικού πλου, είτε με το συνδυασμό των δύο αυτών βασικών μεθόδων (μικτός ή σύνθετος πλους).

Στο λοξοδρομικό πλου τηρείται σταθερή πορεία, αλλά δεν διανύεται η συντομότερη απόσταση. Το ίχνος του λοξοδρομικού πλου (πλους με σταθερή πορεία) στην επιφάνεια της σφαίρας ή του σφαιροειδούς ονομάζεται ρumbοειδής γραμμή (Rhumbline)⁶ ή λοξοδρομία (Loxodrome) (Σχ. 1.1). Στην ελληνική βιβλιογραφία χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά ο όρος λοξοδρομία. Στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία οι δύο όροι είναι συνώνυμοι, εν τούτοις η ονομασία ρumbοειδής γραμμή (Rhumbline) χρησιμοποιείται κυρίως ως ναυτιλιακός όρος για το ίχνος του λοξοδρομικού πλου και η ονομασία λοξοδρομία (Loxodrome) χρησιμοποιείται κυρίως ως γεωμετρικός όρος για τον ορισμό και την περιγραφή της γραμμής αυτής (η μη επίπεδη γραμμή στην επιφάνεια της σφαίρας ή του σφαιροειδούς που τέμνει τους μεσημβρινούς με σταθερή γωνία) [Σχ. 1.1].



Σχ. 1.1: Ρumbοειδής γραμμή ή λοξοδρομία

Στον ορθοδρομικό πλου διανύεται η συντομότερη απόσταση, αλλά δεν τηρείται σταθερή πορεία (πλους με μεταβαλλόμενη πορεία). Η συντομότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων στην επιφάνεια της σφαίρας είναι το τόξο του μοναδικού μεγίστου κύκλου που διέρχεται από τα δύο αυτά σημεία (ορθοδρομικό τόξο). Στην επιφάνεια του σφαιροειδούς η συντομότερη απόσταση μεταξύ δύο σημείων είναι η γεωδαισιακή γραμμή (στην επιφάνεια του σφαιροειδούς είναι δυνατό να υπάρχουν περισσότερες από μία γεωδαισιακές γραμμές, οι οποίες να διέρχονται από δύο σημεία).

⁵ IMO: International Maritime Organization (Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός).

⁶ Ο όρος ρumbοειδής γραμμή (rhumbline) προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη “ρumbος” (Williams 1998 136), η οποία σημαίνει σπείρα και χρησιμοποιήθηκε στη ναυσιπλοΐα για πρώτη φορά με την εκλατινισμένη ονομασία “Rumbo” κατά το έτος 1566 από τον “Pedro Nunes”, καθηγητή μαθηματικών του πανεπιστημίου Coibra της Πορτογαλίας σε μονογραφία του για το λοξοδρομικό πλου (Randles 1997), (Alexander 2004).

Η ρυνβοειδής γραμμή (λοξοδρομία) και το ορθοδρομικό τόξο (ορθοδρομία) είναι κατά κανόνα δύο διαφορετικά δρομολόγια πλου (Σχ. 1.2). Ανάλογα με τη σχετική θέση των σημείων αναχώρησης και προορισμού, τα δρομολόγια του λοξοδρομικού και του ορθοδρομικού πλου έχουν μεγαλύτερες ή μικρότερες αποκλίσεις. Στις ειδικές περιπτώσεις, κατά τις οποίες τα σημεία αυτά βρίσκονται επί του ισημερινού ή επί του ίδιου μεσημβρινού, η ορθοδρομία και η λοξοδρομία ταυτίζονται.

Το πρόβλημα του σύνθετου ή μικτού πλου (Composite Sailing) αφορά τη σχεδίαση πλου ελάχιστης διαδρομής από ένα σημείο αναχώρησης Α προς ένα σημείο προορισμού Β, όταν υπάρχουν περιορισμοί στη σχεδίαση του ορθοδρομικού πλου, όπως π.χ. χερσαίες περιοχές που παρεμβάλλονται στο ίχνος του ορθοδρομικού πλου, αποφυγή πλου σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές ο πλους εκτελείται σε ορισμένα τμήματά του ως ορθοδρομικός πλους και στα υπόλοιπα ως λοξοδρομικός πλους.

Η συνηθέστερη μορφή του σύνθετου πλου αφορά τη σχεδίαση πλου ελάχιστης διαδρομής από ένα σημείο αναχώρησης Α προς ένα σημείο προορισμού Β, με τον περιορισμό το δρομολόγιο του πλου να μην υπερβεί ένα παράλληλο πλάτους φ_{σ} , ο οποίος λέγεται παράλληλος ασφαλείας (AMN 1987/ Οικονομόπουλος 2004). Ο περιορισμός αυτός δεν επιτρέπει την υλοποίηση του ορθοδρομικού πλου επί του ορθοδρομικού τόξου ΑΚΒ (Σχ. 1.3). Σε αυτή την περίπτωση σύνθετου πλου συνδυάζεται ο ορθοδρομικός πλους με την ειδική περίπτωση λοξοδρομικού πλου επί παραλλήλου (πορεία 090° ή 270°) και η πλευση από το σημείο αναχώρησης Α προς το σημείο προορισμού Β (Σχ. 1.3) εκτελείται με:

- Ορθοδρομικό πλου από το σημείο αναχώρησης Α μέχρι το σημείο Σ_1 του παραλλήλου ασφαλείας φ_{σ} . Το (ορθοδρομικό) τόξο Α Σ_1 εφάπτεται στον παράλληλο ασφαλείας στο σημείο Σ_1 .
- Λοξοδρομικό πλου επί του παραλλήλου ασφαλείας φ_{σ} με πορεία 090° ή 270° , (από το σημείο Σ_1 μέχρι το σημείο Σ_2). Το (ορθοδρομικό) τόξο Β Σ_2 εφάπτεται στον παράλληλο ασφαλείας στο σημείο Σ_2 .
- Ορθοδρομικό πλου από το σημείο Σ_2 του παραλλήλου ασφαλείας φ_{σ} μέχρι το σημείο προορισμού Β (τόξο Σ_2 Β).

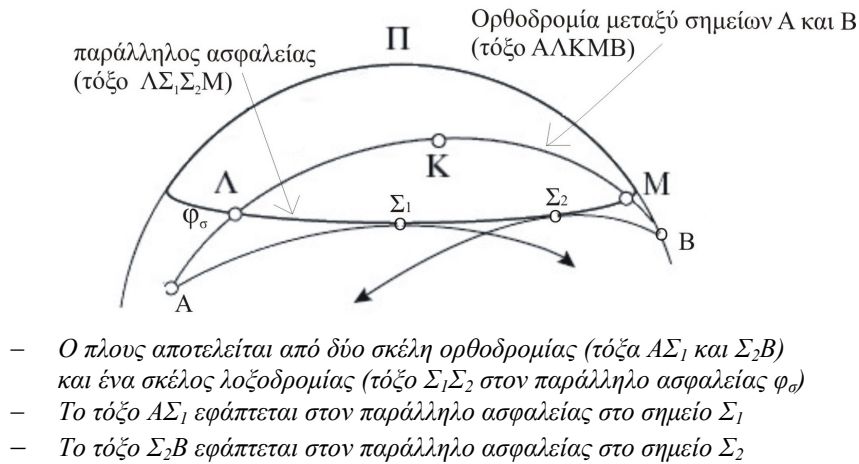


α. Απεικόνιση ορθοδρομίας και λοξοδρομίας στη σφαίρα



β. Απεικόνιση ορθοδρομίας και λοξοδρομίας στο μερκατορικό χάρτη

Σχ.1.2: Λοξοδρομία και Ορθοδρομία στη σφαίρα και στο μερκατορικό χάρτη



Σχ. 1.3: Το πρόβλημα του μικτού πλου με παράλληλο ασφαλείας

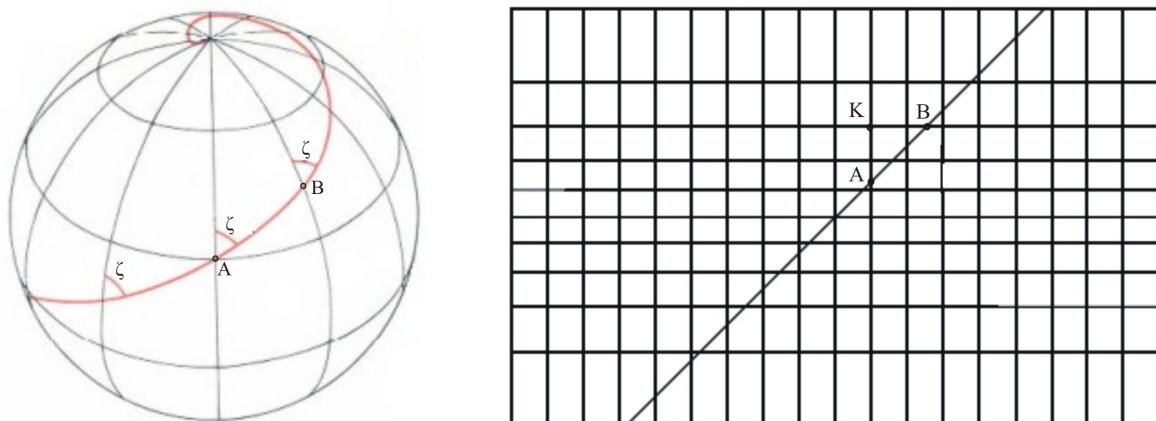
Η σχεδίαση και εκτέλεση πλου στηρίζεται στην επίλυση των θεμελιωδών προβλημάτων της ναυσιπλοΐας. Τα θεμελιώδη αυτά προβλήματα πλου περιλαμβάνουν το ευθύ και το αντίστροφο πρόβλημα του λοξοδρομικού και του ορθοδρομικού πλου και ορίζονται ως εξής:

Στο ευθύ λοξοδρομικό πρόβλημα (Σχ. 1.4) είναι γνωστές οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_A, λ_A) του σημείου αναχώρησης A, η απόσταση D_λ του λοξοδρομικού πλου από το σημείο A στο σημείο B καθώς και η σταθερή πορεία πλεύσης ζ_λ , και υπολογίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_B, λ_B) του σημείου προορισμού B.

Στο αντίστροφο λοξοδρομικό πρόβλημα (Σχ. 1.4) είναι γνωστές οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_A, λ_A) του σημείου αναχώρησης A, καθώς και οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_B, λ_B) του σημείου προορισμού B και υπολογίζονται η σταθερή πορεία ζ_λ που πρέπει τηρηθεί κατά τον πλου από το σημείο A στο σημείο B και η απόσταση D_λ του λοξοδρομικού πλου από το σημείο A στο σημείο B.

Στο ευθύ ορθοδρομικό πρόβλημα είναι γνωστές οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_A, λ_A) του σημείου αναχώρησης A, η απόσταση D_o του ορθοδρομικού πλου από το σημείο A στο σημείο B (τόξο AKB σχήματος 1.3), και η αρχική πορεία ζ_A του ορθοδρομικού πλου στο σημείο αναχώρησης A και υπολογίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_B, λ_B) του σημείου προορισμού B.

Στο αντίστροφο ορθοδρομικό πρόβλημα είναι γνωστές οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_A, λ_A) του σημείου αναχώρησης A, καθώς και οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ_B, λ_B) του σημείου προορισμού B (Σχ. 1.3), και υπολογίζονται η απόσταση D_o του ορθοδρομικού πλου από το σημείο A στο σημείο B (τόξο AKB), και η αρχική πορεία ζ_A του ορθοδρομικού πλου στο σημείο αναχώρησης A (ο ορθοδρομικός πλους είναι πλους με συνεχώς μεταβαλλόμενη πορεία).



Σχ. 1.4: Απεικόνιση λοξοδρομίας στη σφαίρα και στο μερκατορικό χάρτη

1.3 Επίλυση προβλημάτων ναυσιπλοΐας και σχεδίαση πλου στην παραδοσιακή ναυτιλία

1.3.1 Σχεδίαση λοξοδρομικού, ορθοδρομικού και σύνθετου πλου σε μερκατορικό και γωνιο-νικό ναυτικό χάρτη

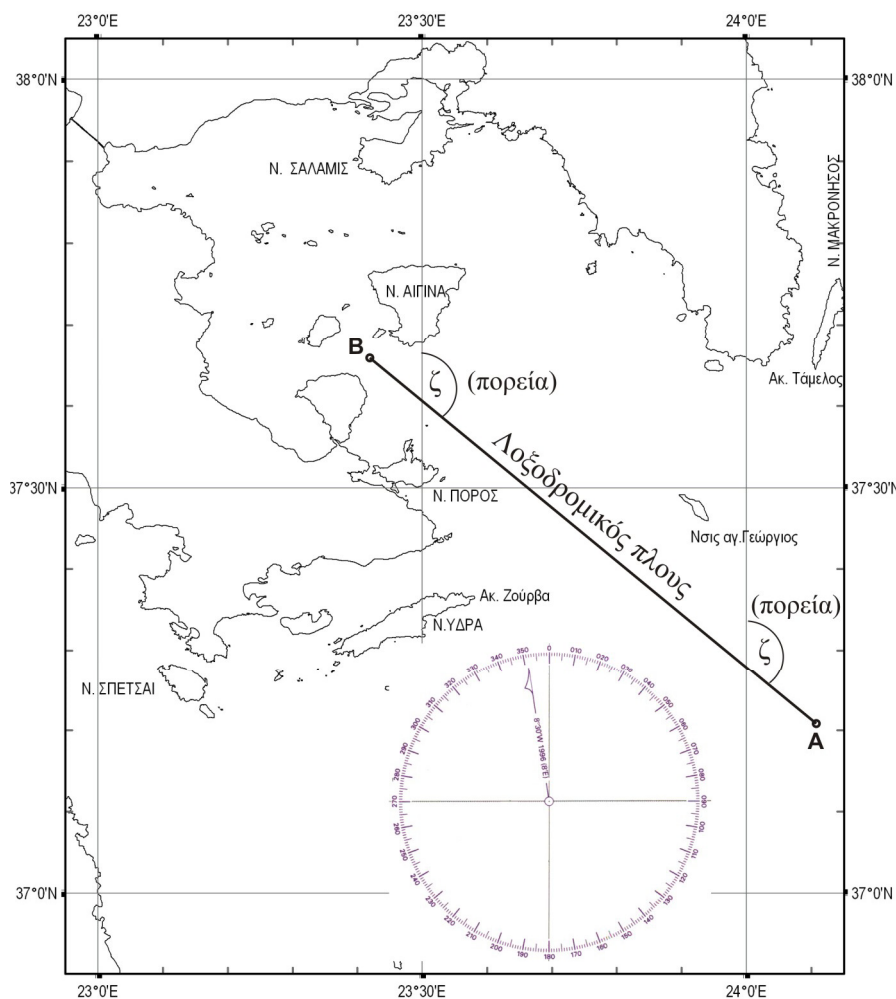
Στις παραδοσιακές μεθόδους ναυσιπλοΐας η επίλυση των θεμελιωδών προβλημάτων για τη σχεδίαση και την υλοποίηση του πλου γίνεται συνήθως με γραφικές μεθόδους στον παραδοσιακό έντυπο ναυτικό χάρτη η κατασκευή του οποίου στηρίζεται στην ορθή μερκατορική απεικόνιση και για το λόγο αυτό είναι γνωστός με το όνομα «ναυτικός μερκατορικός χάρτης», καθώς και στο γωνιομικό χάρτη, η κατασκευή του οποίου στηρίζεται στη γωνιομική απεικόνιση.

Οι δύο βασικές ιδιότητες της ορθής μερκατορικής απεικόνισης:

- να διατηρεί τις διευθύνσεις (σύμμορφη απεικόνιση) και
- να απεικονίζει τους μεσημβρινούς ως παράλληλες και ισαπέχουσες ευθείες,

παρέχουν τα επόμενα βασικά για τη ναυσιπλοΐα πλεονεκτήματα:

- Άμεση σχεδίαση του πλου σταθερής πορείας από ένα σημείο αναχώρησης Α προς ένα σημείο προορισμού Β (λοξοδρομικός πλους) με τη χάραξη στο μερκατορικό χάρτη του ευθύγραμμου τμήματος που ορίζεται από τα σημεία αυτά (Σχ. 1.4 και Σχ. 1.5).
- Άμεσος προσδιορισμός της πορείας ζ_λ του λοξοδρομικού πλου με τη μέτρηση στο χάρτη της γωνίας που σχηματίζει το ευθύγραμμο τμήμα που ορίζεται από τα σημεία αναχώρησης και προορισμού, με οποιαδήποτε από τις παράλληλες ευθείες, οι οποίες αναπαριστούν τους μεσημβρινούς (Σχ. 1.5).



Σχ. 1.5: Σχεδίαση λοξοδρομικού πλου στο ναυτικό μερκατορικό χάρτη

Η βασική ιδιότητα του γνωμονικού χάρτη να απεικονίζει τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου ως ευθύγραμμα τμήματα παρέχει το βασικό για τη ναυσιπλοΐα πλεονέκτημα της άμεσης σχεδίασης των δρομολογίων του ορθοδρομικού πλου από ένα σημείο αναχώρησης Α προς ένα σημείο προορισμού Β με τη χάραξη στο γνωμονικό χάρτη του ευθυγράμμου τμήματος που ορίζεται από τα σημεία αυτά (Σχ. 1.6α).

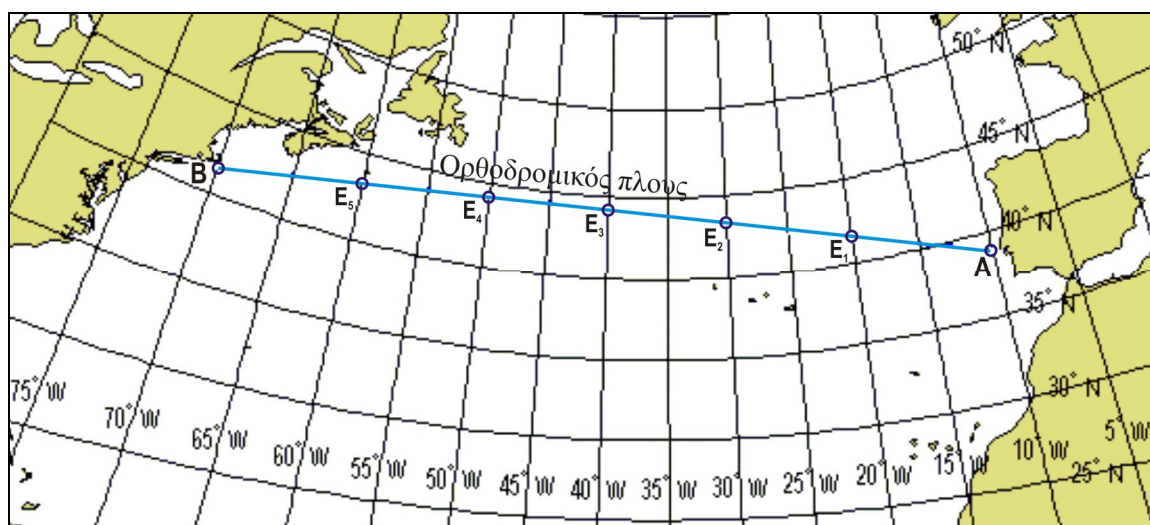
Για την υλοποίηση του ορθοδρομικού πλου απαιτείται η σχεδίαση του δρομολογίου και στο μερκατορικό χάρτη και για το λόγο αυτό στην παραδοσιακή ναυτιλία ο γνωμονικός χάρτης χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το «μερκατορικό ναυτικό χάρτη» ως εξής:

- Σχεδιάζεται στο γνωμονικό χάρτη το δρομολόγιο του ορθοδρομικού πλου με το ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει το σημείο αναχώρησης Α με το σημείο προορισμού Β (Σχ. 1.6α).
- Προσδιορίζονται επί του γνωμονικού χάρτη οι γεωγραφικές συντεταγμένες ορισμένων ενδιάμεσων σημείων του ορθοδρομικού πλου, συνήθως στα σημεία τομής του ευθυγράμμου τμήματος του ορθοδρομικού πλου με επιλεγμένους μεσημβρινούς.
- Γίνεται μεταφορά του δρομολογίου του ορθοδρομικού πλου από το γνωμονικό στο μερκατορικό χάρτη. Η μεταφορά αυτή πραγματοποιείται με τη μέτρηση επί του γνωμονικού χάρτη των συντεταγμένων ορισμένων σημείων τομής E_1, E_2, E_3, \dots του δρομολογίου του ορθοδρομικού πλου (Σχ. 1.6α) με επιλεγμένους μεσημβρινούς, η/και παραλλήλους πλάτους και στη συνέχεια με την υποτύπωση των σημείων αυτών στο μερκατορικό χάρτη (Σχ. 1.6β).
- Τα σημεία που υποτυπώνονται στο μερκατορικό χάρτη συνδέονται με ευθύγραμμο τμήματα, τα οποία αντιπροσωπεύουν λοξοδρομικούς πλόες, και με τον τρόπο αυτό ο ορθοδρομικός πλος προσεγγίζεται ικανοποιητικά με μία σειρά διαδοχικών λοξοδρομικών πλεύσεων στο μερκατορικό χάρτη (Σχ. 1.6β). Η προσέγγιση αυτή είναι πολύ ικανοποιητική, όταν οι αποστάσεις των ενδιάμεσων σημείων δεν είναι μεγαλύτερες από 150 ν.μ.

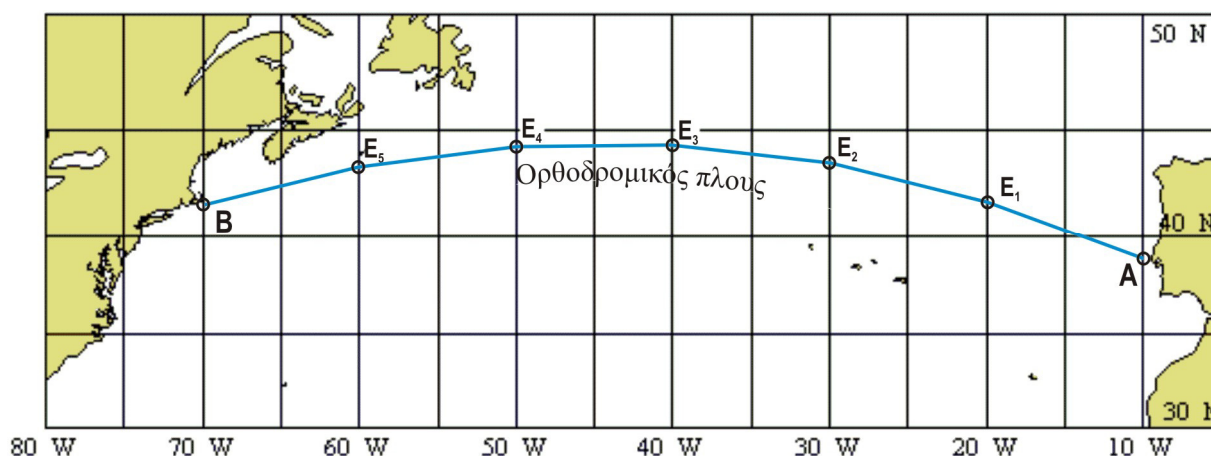
Λόγω των ιδιοτήτων της μερκατορικής και της γνωμονικής απεικόνισης να απεικονίζουν τον λοξοδρομικό και τον ορθοδρομικό πλου αντιστοίχως, με την απλούστερη δυνατή μορφή, δηλαδή με το ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει το σημείο αναχώρησης και το σημείο προορισμού, οι δύο αυτές χαρτογραφικές απεικονίσεις έχουν καθιερωθεί για χρήση στη ναυσιπλοΐα, παρά τις σημαντικές παραμορφώσεις που παρουσιάζουν.

Οι παραμορφώσεις της μερκατορικής και γνωμονικής απεικόνισης δεν επηρεάζουν την ακρίβεια των εργασιών σχεδίασης και υλοποίησης του πλου στην παραδοσιακή ναυτιλία, διότι:

- α) Στο χάρτη γνωμονικής απεικόνισης δεν γίνονται μετρήσεις διευθύνσεων ή αποστάσεων αλλά μόνον ανάγνωση των γεωγραφικών συντεταγμένων ορισμένων ενδιάμεσων σημείων του ορθοδρομικού πλου, με αποδεκτή για τις ανάγκες της παραδοσιακής ναυτιλίας ακρίβεια, για την εν συνεχεία υποτύπωση των σημείων αυτών στο μερκατορικό χάρτη.
- β) Η μέτρηση των διευθύνσεων στο μερκατορικό χάρτη δεν εμπεριέχει σφάλματα, γιατί η μερκατορική απεικόνιση δεν παρουσιάζει γωνιακές παραμορφώσεις αλλά μόνο γραμμικές και επιφανειακές.
- γ) Παρά τις γραμμικές παραμορφώσεις της μερκατορικής απεικόνισης η μέτρηση των αποστάσεων στο μερκατορικό χάρτη δίνει πολύ ικανοποιητικά για τις ανάγκες της κλασικής ναυσιπλοΐας αποτελέσματα, γιατί η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με τις ενδείξεις γεωγραφικού πλάτους στο πλαίσιο του χάρτη και την παραδοχή ότι ένα πρώτο λεπτό της μοίρας αντιστοιχεί σε ένα ναυτικό μίλι. Στη μερκατορική απεικόνιση το γραμμικό μήκος μεταξύ διαδοχικών ενδείξεων του γεωγραφικού πλάτους που αντιστοιχούν σε ίσες διαφορές γεωγραφικού πλάτους δεν είναι σταθερό (Σχ. 1.7), αλλά προσδιορίζεται από το συντελεστή γραμμικής παραμόρφωσης στη διεύθυνση των μεσημβρινών για το γεωγραφικό πλάτος του αντίστοιχου παράλληλου πλάτους.



α) Στο χάρτη γωνιοκικής απεικόνισης το δρομολόγιο του ορθοδρομικού πλου σχεδιάζεται με ευθεία γραμμή



β) Στο χάρτη μερκατορικής απεικόνισης το δρομολόγιο του ορθοδρομικού πλου προσεγγίζεται ικανοποιητικά με διαδοχικές λοξοδρομικές πλευσείς (τεθλασμένη γραμμή)

Σχ. 1.6: Σχεδίαση ορθοδρομικού πλου στο γωνιοκικό και στο μερκατορικό χάρτη

Για τους ανωτέρω λόγους οι γραμμικές και οι επιφανειακές παραμορφώσεις της μερκατορικής απεικόνισης δεν επηρεάζουν την ακρίβεια των εκτελούμενων στο χάρτη μετρήσεων αποστάσεων, αλλά μόνο την οπτική αντίληψη των γεωγραφικών περιοχών και των δρομολογίων πλου.

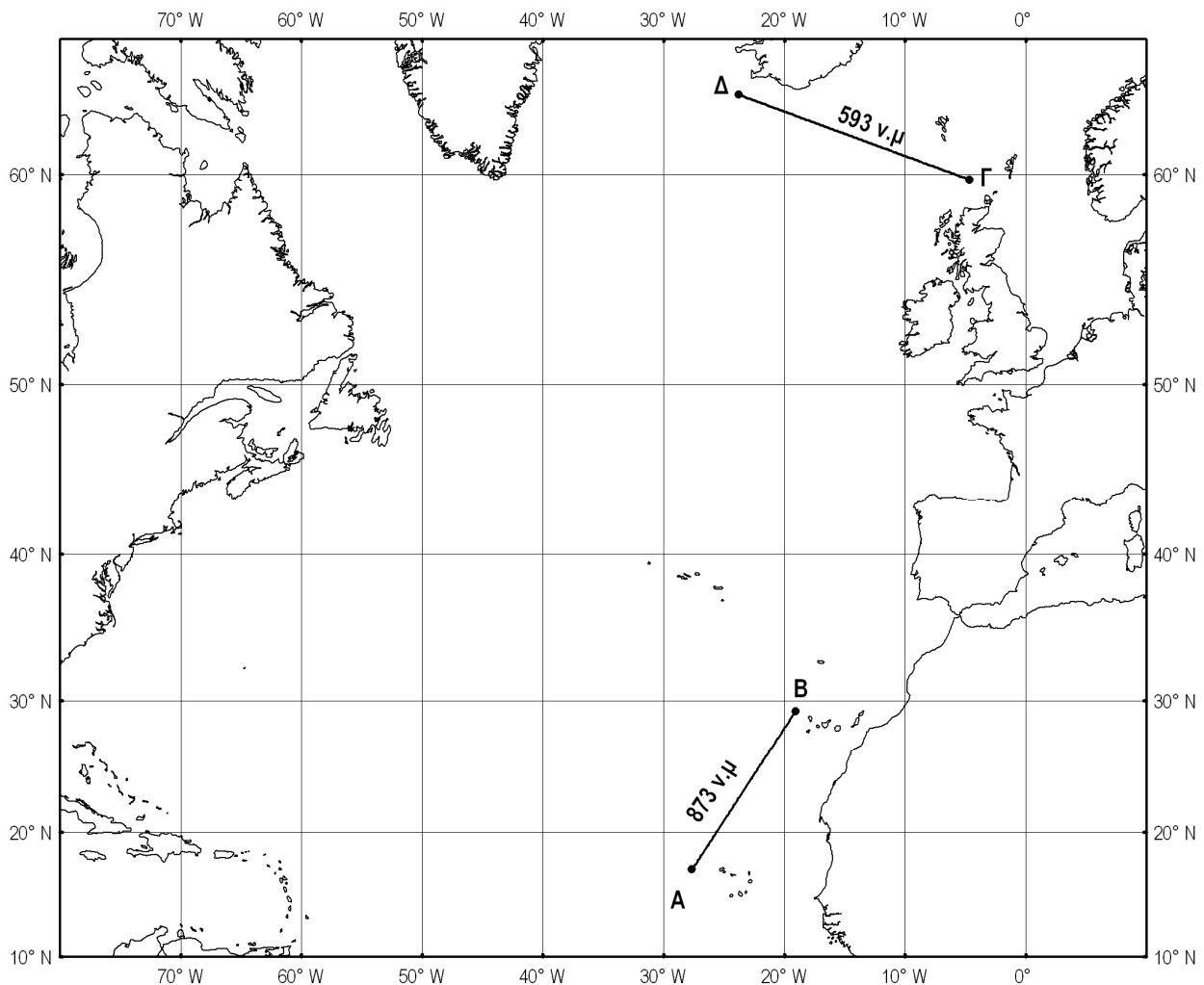
Λόγω των γραμμικών παραμορφώσεων της μερκατορικής απεικόνισης η οπτική εικόνα των απεικονιζόμενων στο χάρτη δρομολογίων πλου δεν αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά την πραγματική κατάσταση στην επιφάνεια της γης με κίνδυνο δημιουργίας εσφαλμένων εντυπώσεων, όπως π.χ.:

- Η απεικόνιση του δρομολογίου του ορθοδρομικού πλου από ένα σημείο αναχώρησης προς ένα σημείο προορισμού, με γραμμή σημαντικά μεγαλύτερου μήκους από τη γραμμή, η οποία απεικονίζει το δρομολόγιο του λοξοδρομικού πλου μεταξύ των ίδιων σημείων (Σχ. 1.6 β), παρά το γεγονός, ότι το δρομολόγιο ελάχιστης διαδρομής είναι αυτό του ορθοδρομικού πλου.

- Η απεικόνιση διαφορετικών δρομολογίων λοξοδρομικού πλου με γραμμές, οι οποίες αντιστοιχούν: η μεν γραμμή μεγαλύτερου μήκους στο δρομολόγιο μικρότερης διαδρομής, η δε γραμμή μικρότερου μήκους στο δρομολόγιο μεγαλύτερης διαδρομής (Σχ. 1.7).

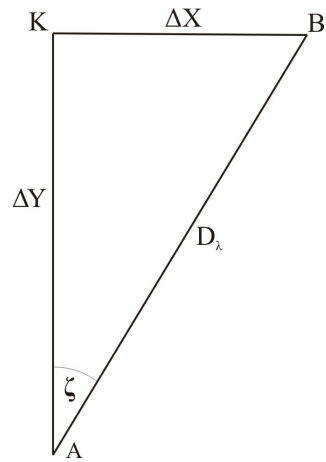
Παρά τις προαναφερθείσες οπτικές παραμορφώσεις της πραγματικότητας που δημιουργούνται στη μερκατορική απεικόνιση, με κίνδυνο εξαγωγής εσφαλμένων εντυπώσεων για την απόσταση του πλου, ο ναυτικός μερκατορικός χάρτης αποτελεί βασικό, πολύτιμο και αναντικατάστατο εργαλείο των μεθόδων της παραδοσιακής ναυτιλίας λόγω της σημαντικής ιδιότητάς του να απεικονίζει τα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου με την απλούστερη δυνατή μορφή, η οποία είναι το ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει το σημείο αναχώρησης και το σημείο προορισμού. Με τον τρόπο αυτό υπεραπλουστεύεται τόσο η επίλυση των λοξοδρομικών προβλημάτων (με απλές γραφικές μεθόδους) όσο και η υλοποίησή τους με τη χρησιμοποίηση της πυξίδας και των κλασικών μεθόδων προσδιορισμού θέσης (στίγματος).

Στην παραδοσιακή ναυτιλία η δυνατότητα του χάρτη μερκατορικής απεικόνισης για την εύκολη σχεδίαση και υλοποίηση του λοξοδρομικού πλου αξιοποιείται και για τη σχεδίαση και υλοποίηση του ορθοδρομικού πλου, η οποία εκτελείται με την προσέγγιση του δρομολογίου του ορθοδρομικού πλου με μία σειρά διαδοχικών λοξοδρομικών πλεύσεων στο μερκατορικό χάρτη.

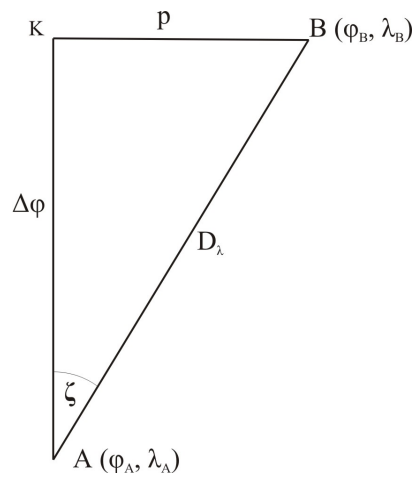


Η πραγματική απόσταση του λοξοδρομικού πλου AB (873 ν.μ.) είναι 47% μεγαλύτερη από την απόσταση του λοξοδρομικού πλου ΓΔ (593 ν.μ.). Λόγω των γραμμικών παραμορφώσεων η γραμμή AB στο μερκατορικό χάρτη έχει εμφανώς μικρότερο μήκος από τη γραμμή ΓΔ.

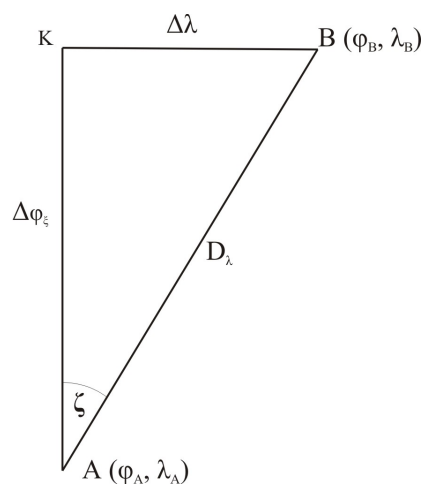
Σχ. 1.7: Παράδειγμα γραμμικών παραμορφώσεων μερκατορικής απεικόνισης



α. Γενική μορφή



β. Με αποχώρηση (ρ) και διαφορά πλάτους ($\Delta\phi$)



γ. Με διαφορά αυξομερών $\Delta\phi_\xi$ και διαφορά μήκους $\Delta\lambda$

Σχ. 1.8: Μορφές του τριγώνου του λοξοδρομικού πλου της παραδοσιακής ναυτιλίας

1.3.2 Αριθμητική επίλυση λοξοδρομικών προβλημάτων στην παραδοσιακή ναυτιλία

Στην παραδοσιακή ναυτιλία, εκτός από τις γραφικές μεθόδους που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 1.3.1, η επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου υλοποιείται συνήθως με την επίλυση απλών ορθογωνίων τριγώνων με μεθόδους της επίπεδης τριγωνομετρίας⁷. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ορθογωνίων τριγώνων του λοξοδρομικού πλου (Σχ. 1.8) είναι:

- η υποτείνουσα D_λ απεικονίζει το δρομολόγιο του λοξοδρομικού πλου,
- οι κάθετες πλευρές σχεδιάζονται η μεν μία (Δy) στο μεσημβρινό του σημείου αναχώρησης A, η δε άλλη (Δx) στον παράλληλο πλάτους του σημείου προορισμού B,
- η γωνία ζ στο σημείο αναχώρησης A είναι ίση με την πορεία του λοξοδρομικού πλου.

Οι δύο κάθετες πλευρές του επιπέδου τριγώνου του λοξοδρομικού πλου (Δy και Δx) αντιπροσωπεύουν διάφορες παραμέτρους, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο επίλυσης για πλόες μικρών και μεγάλων αποστάσεων.

Για πλόες μικρών αποστάσεων, η μεν πλευρά ΔY είναι ίση με τη διαφορά γεωγραφικού πλάτους $\Delta \phi$ σε πρώτα λεπτά της μοίρας, η δε πλευρά ΔX είναι ίση με την τιμή της αποχώρησης p σε ναυτικά μίλια (Σχ. 1.8β).

Η **αποχώρηση (departure)** ορίζεται ως η απόσταση που μετατοπίζεται ένα πλωτό κατά τη διεύθυνση Ανατολή-Δύση, όταν πλέει λοξοδρομικά από ένα σημείο αναχώρησης A προς ένα σημείο προορισμού B (AMN 1987 25). Για τις περισσότερες περιπτώσεις η τιμή της αποχώρησης σε ναυτικά μίλια προσεγγίζεται με το γραμμικό μέγεθος του παραλλήλου μέσου πλάτους των δύο σημείων που περιέχεται μεταξύ των μεσημβρινών των σημείων αυτών. Η προσέγγιση αυτή δεν είναι απόλυτα σωστή, αλλά για πλόες μικρών αποστάσεων δεν δημιουργεί αξιοσημείωτα για τις ανάγκες της ναυτιλίας σφάλματα.

Για πλόες μεγάλων αποστάσεων, η μεν πλευρά ΔY είναι ίση με τη διαφορά των αυξομερών πλατών $\Delta \phi_\xi$ (meridional difference), η δε πλευρά ΔX είναι ίση με τη διαφορά γεωγραφικού μήκους $\Delta \lambda$ σε πρώτα λεπτά της μοίρας (Σχ. 1.8γ).

Το **αυξομερές πλάτος ϕ_ξ** (meridional parts m) ενός παραλλήλου πλάτους είναι το - επί του ναυτικού μερκατορικού χάρτη - μήκος του τόξου του μεσημβρινού μεταξύ του ισημερινού και του παραλλήλου μετρούμενο σε μονάδες πρώτου λεπτού του ισημερινού. Στους υπολογισμούς της παραδοσιακής ναυτιλίας οι τιμές της διαφοράς αυξομερών πλατών δεν υπολογίζονται, αλλά λαμβάνονται από διάφορους ναυτιλιακούς πίνακες, όπως οι πίνακες Norie's [Blance A.G. 1994] και οι πίνακες [APN 2002].

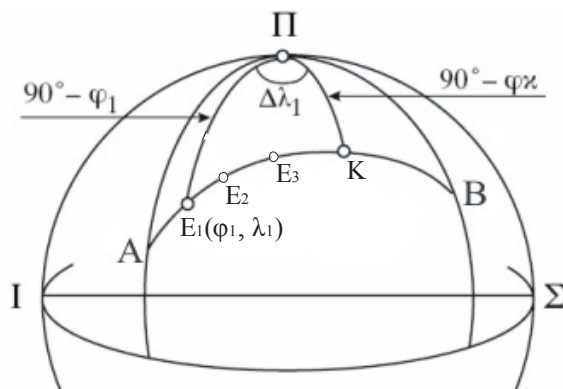
1.3.3 Αριθμητική επίλυση προβλημάτων ορθοδρομικού και σύνθετου πλου στην παραδοσιακή ναυτιλία

Στην παραδοσιακή ναυτιλία η σχεδίαση και εκτέλεση του ορθοδρομικού πλου (πλεύση με συνεχώς μεταβαλλόμενη πορεία επί του τόξου μεγίστου κύκλου που διέρχεται από το σημείο αναχώρησης A και το σημείο προορισμού B) υλοποιείται, εκτός από τις γραφικές μεθόδους που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 1.3.1, και με διάφορες προσεγγιστικές υπολογιστικές μεθόδους, οι οποίες συνοψίζονται στα εξής:

- Επίλυση του σφαιρικού τριγώνου ΑΠΒ του ορθοδρομικού πλου με κορυφές το σημείο αναχώρησης A, το σημείο προορισμού B και τον πλησιέστερο στο σημείο αναχώρησης πόλο (Σχ. 1.9). Με την επίλυση αυτή υπολογίζονται:

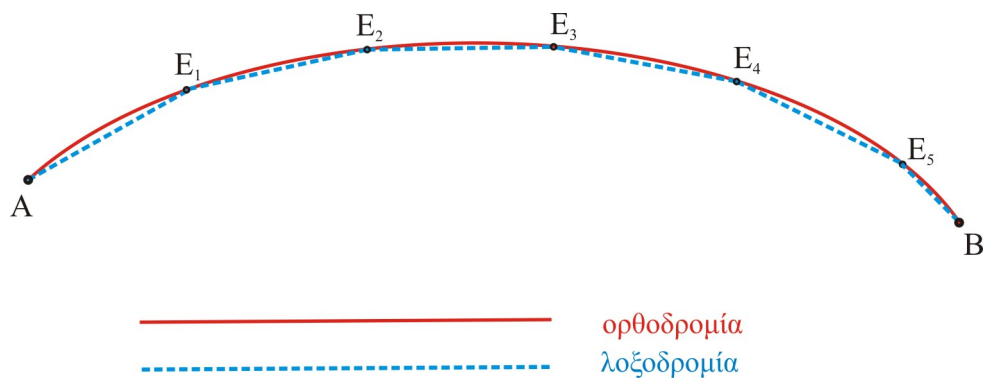
⁷ Εξαίρεση αποτελούν οι δύο ειδικές περιπτώσεις του λοξοδρομικού πλου στη διεύθυνση του μεσημβρινού και του λοξοδρομικού πλου στη διεύθυνση του παραλλήλου. Για την αριθμητική επίλυση αυτών των λοξοδρομικών προβλημάτων δεν χρησιμοποιούνται επίπεδα ορθογώνια τρίγωνα, αλλά τα γεωμετρικά στοιχεία των τόξων του μεσημβρινού και του παραλλήλου πλάτους (APN, 2002).

- η τιμή του ορθοδρομικού τόξου AB (τόξο μεγίστου κύκλου), το οποίο διέρχεται από το σημείο αναχώρησης A και το σημείο προορισμού B,
- η αρχική πορεία του ορθοδρομικού πλου (πορεία στο σημείο αναχώρησης A).
- Για τον υπολογισμό της απόστασης του ορθοδρομικού πλου η τιμή του ορθοδρομικού τόξου AB μετατρέπεται σε πρώτα λεπτά της μοίρας και θεωρείται ότι ένα πρώτο λεπτό οποιουδήποτε μεγίστου κύκλου αντιστοιχεί σε ένα ναυτικό μίλι.
- Για τον υπολογισμό της συνεχώς μεταβαλλόμενης πορείας του ορθοδρομικού πλου (γωνίας των μεσημβρινών και του ορθοδρομικού τόξου) λαμβάνονται επί του ορθοδρομικού τόξου AB διάφορα ενδιάμεσα σημεία πλου (way points) E_1, E_2, E_3 , κλπ. (Σχ. 1.6) και ο ορθοδρομικός πλους προσεγγίζεται με μια σειρά διαδοχικών λοξοδρομικών πλόων για τα τμήματα του πλου, τα οποία ορίζονται από το σημείο αναχώρησης A προς το σημείο E_1 , από το E_1 προς το E_2 κλπ. (Σχ. 1.10).
- Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots πραγματοποιείται με μεθόδους της σφαιρικής τριγωνομετρίας, με τις οποίες υπολογίζονται καταρχήν οι συντεταγμένες του κορυφαίου σημείου K της ορθοδρομίας (Σχ. 1.9), το οποίο βρίσκεται στο μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος του ορθοδρομικού τόξου με την επίλυση του σφαιρικού τριγώνου ΑΠΚ. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots με τη διαδοχική επίλυση του αντίστοιχου για κάθε σημείο ορθογωνίου σφαιρικού τριγώνου ($\Pi K E_1, \Pi K E_2, \Pi K E_3, \dots$).
- Μετά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots εκτελείται επίλυση των διαδοχικών λοξοδρομικών προβλημάτων για τα τμήματα του πλου, τα οποία ορίζονται από το σημείο αναχώρησης A προς το σημείο E_1 , από το E_1 προς το E_2 κλπ. Με την επίλυση αυτή υπολογίζονται:
 - οι διαφορετικές πορείες, οι οποίες πρέπει να ληφθούν στα ενδιάμεσα σημεία E_1, E_2, E_3 , κλπ.
 - η συνολική απόσταση του πλου (άθροισμα αποστάσεων των διαδοχικών λοξοδρομικών πλευσέων). Η απόσταση αυτή προσεγγίζει καλύτερα το μήκος του ορθοδρομικού τόξου AB, όταν λαμβάνεται μεγαλύτερος αριθμός ενδιάμεσων σημείων.



- α. Επίλυση του σφαιρικού τριγώνου ΑΠΒ για τον υπολογισμό της απόστασης του ορθοδρομικού πλου (τόξο AB).
- β. Επίλυση του ορθογωνίου σφαιρικού τριγώνου ΑΠΚ για τον υπολογισμό της θέσης κορυφαίου σημείου K.
- γ. Διαδοχική επίλυση των ορθογωνίων σφαιρικών τριγώνων ΠΚΕ1, ΠΚΕ2, ΠΚΕ3, .. για τον υπολογισμό της θέσης των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots

Σχ. 1.9: Επίλυση προβλήματος ορθοδρομικού πλου με σφαιρική τριγωνομετρία



(απεικόνιση στην επίπεδη επιφάνεια πλοήγησης του ναυτικού μερκατορικού χάρτη)

Σχ. 1.10: Προσέγγιση ορθοδρομικού πλου με διαδοχικές λοξοδρομικές πλευσείς

1.3.4 Αδυναμίες και σφάλματα των παραδοσιακών μεθόδων επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων της ναυσιπλοΐας

α. Αδυναμίες και σφάλματα των μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου

Η αριθμητική επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου στην κλασική ναυτιλία ανάγεται στην επίλυση του επίπεδου ορθογώνιου τριγώνου του λοξοδρομικού πλου (Σχ. 1.8), στο οποίο η ρυμβοειδής γραμμή του λοξοδρομικού πλου στην επιφάνεια της σφαίρας, ή του ΕΕΠ (Σχ. 1.1) απεικονίζεται ως ευθεία (Σχ. 1.8). Η μέθοδος αυτή μπορεί να δώσει αποτελέσματα υπολογισμών πολύ μεγάλης ακρίβειας, ανάλογα με τη μέθοδο προσδιορισμού των τιμών των κάθετων πλευρών ΔX και ΔY του επίπεδου ορθογώνιου τριγώνου του λοξοδρομικού πλου.

Ο καθορισμός των κατάλληλων τιμών των δύο καθέτων πλευρών Δy και Δx του ορθογώνιου τριγώνου του λοξοδρομικού πλου (Σχ.1.8), για τη συνεχή βελτίωση των μεθόδων επίλυσης των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου στη σφαίρα και στο ΕΕΠ έχει αποτελέσει θέμα συνεχούς μελέτης και έρευνας τουλάχιστον κατά τα τελευταία πενήντα και πλέον έτη ανάλογα με τα διατιθέμενα ανά χρονική περίοδο υπολογιστικά εργαλεία, όπως οι εργασίες των Smart (1946), Williams (1950), Sadler (1956), Williams (1981), Bowring (1985), Hiraiwa (1987), Snyder (1987 44-45), Bennet (1996) και Pallikaris et al. (2010).

Στην παραδοσιακή ναυτιλία προκειμένου να επιτευχθεί απλοποίηση των εκτελούμενων υπολογισμών, η επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου στηρίζεται στον προσδιορισμό του μήκους των καθέτων πλευρών ΔX και ΔY του επίπεδου τριγώνου του λοξοδρομικού πλου (Σχ. 1.8) με παραδοχές που μειώνουν την ακρίβεια των υπολογισμών. Επιπροσθέτως ορισμένες από τις παραδοχές αυτές χρησιμοποιούνται με λανθασμένο τρόπο δημιουργώντας περαιτέρω υποβάθμιση της ακρίβειας, αλλά και σύγχυση, χωρίς να συμβάλλουν ουσιαστικά στην απλοποίηση των υπολογισμών (Hiraiwa 1987), (Earle 2006). Οι κυριότερες από τις παραδοχές της κλασικής ναυτιλίας που υποβαθμίζουν την ακρίβεια των υπολογισμών του λοξοδρομικού προβλήματος είναι:

- √ Η παραδοχή ότι το γραμμικό μήκος τόξου ενός πρώτου λεπτού στο μεσημβρινό είναι ένα ναυτικό μίλι (1852 μέτρα), ανεξάρτητα αν οι υπολογισμοί αυτοί πραγματοποιούνται στην επιφάνεια της σφαίρας, ή του σφαιροειδούς. Το γραμμικό μήκος ενός πρώτου λεπτού της μοίρας στη μεσημβρινή έλλειψη δεν ισούται με 1852 μέτρα, αλλά μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος και επίσης εξαρτάται από το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (WGS-84, ED-50 κλπ.).

- ✓ Χρήση μικτής προσέγγισης της μορφής της επιφάνειας της γης σύμφωνα με την οποία, η γη θεωρείται εν μέρει σφαίρα και εν μέρει ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Πιο συγκεκριμένα η μεν πλευρά ΔΥ του τριγώνου του λοξοδρομικού πλου (Σχ. 1.8 β), προσδιορίζεται στο ΕΕΠ (διαφορά αυξομερών πλατών $\Delta\varphi_z$), ενώ η πλευρά ΔΧ (αποχώρηση - departure), για λόγους περαιτέρω απλοποίησης των υπολογισμών προσδιορίζεται στη σφαίρα με την παραδοχή ότι προσεγγίζεται ικανοποιητικά με το μήκος σε ναυτικά μίλια του τόξου του παραλλήλου μέσου πλάτους που ορίζεται από τους μεσημβρινούς των σημείων Α και Β.

Η χρήση της παραδοχής της κλασικής ναυτιλίας, ότι το μήκος ενός πρώτου λεπτού της μοίρας οποιουδήποτε μεγίστου κύκλου ισούται με ένα ναυτικό μίλι (1852 μέτρα), σε συνδυασμό με την παραδοσιακή χρήση διπλής προσέγγισης της επιφάνειας της γης (με σφαίρα και με ελλειψοειδές), για την επίλυση του λοξοδρομικού προβλήματος, δημιουργεί αποκλίσεις της υπολογιζόμενης απόστασης του λοξοδρομικού πλου από την πραγματική τιμή της, οι οποίες είναι της τάξεως των δεκάδων ναυτικών μιλίων (Pallikaris et al. 2009). Οι αποκλίσεις αυτές ήταν αποδεκτές για τις ανάγκες της κλασικής ναυτιλίας (σχεδίαση και εκτέλεση πλου σε έντυπους ναυτικούς χάρτες), όχι όμως για τις σύγχρονες μεθόδους ναυσιπλοΐας (σχεδίαση και εκτέλεση πλου με τα συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη).

Για την ακριβέστερη επίλυση των προβλημάτων λοξοδρομικού πλου πρέπει:

- Να μην χρησιμοποιείται μικτή προσέγγιση της επιφάνειας της γης, αλλά, ανάλογα με την επιδιωκόμενη ακρίβεια, να χρησιμοποιείται είτε η προσέγγιση της σφαίρας είτε αυτή του ελλειψοειδούς.
- Η τιμή της αποχώρησης (πλευρά ΔΧ του τριγώνου της λοξοδρομίας), ανεξάρτητα αν αναφέρεται στη σφαίρα ή στο ελλειψοειδές, να μην προσδιορίζεται με την παραδοχή ότι προσεγγίζεται ικανοποιητικά με το μήκος σε ναυτικά μίλια του τόξου του παραλλήλου μέσου πλάτους που ορίζεται από τους μεσημβρινούς των σημείων Α και Β στη σφαίρα, αλλά με τους τύπους που προκύπτουν από τη μαθηματική ανάλυση του προβλήματος του λοξοδρομικού πλου.

β. Αδυναμίες και σφάλματα των μεθόδων επίλυσης προβλημάτων πλου ελάχιστης απόστασης

Η επίλυση του προβλήματος του πλου ελάχιστης απόστασης στην κλασική ναυτιλία στηρίζεται στον υπολογισμό του μήκους του ορθοδρομικού τόξου σε σφαίρα μοναδιαίας ακτίνας και στην παραδοχή ότι το μήκος ενός πρώτου λεπτού της μοίρας οποιουδήποτε μεγίστου κύκλου ισούται με ένα ναυτικό μίλι. Οι αποκλίσεις της απόστασης του ορθοδρομικού πλου που υπολογίζονται με τη μέθοδο αυτή από το μήκος της γεωδαισιακής γραμμής που διέρχεται από το σημείο αναχώρησης και το σημείο προορισμού για πολύ μεγάλες αποστάσεις είναι της τάξεως των 15 ν.μ (Pallikaris and Latsas 2009). Οι αποκλίσεις αυτές ήταν αποδεκτές για τις ανάγκες της κλασικής ναυτιλίας (σχεδίαση και εκτέλεση πλου σε έντυπους ναυτικούς χάρτες), όχι όμως για τις σύγχρονες μεθόδους ναυσιπλοΐας (σχεδίαση και εκτέλεση πλου με τα συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη).

Εκτός από τις μεθόδους της σφαιρικής τριγωνομετρίας, για την ανάπτυξη ναυτιλιακού λογισμικού επίλυσης των προβλημάτων πλου ελάχιστης απόστασης στη σφαίρα, χρησιμοποιούνται μέθοδοι της αναλυτικής γεωμετρίας και διανυσματικής ανάλυσης (Chih-Li Chen et al. 2004, Earle 2005).

Οι μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος του ορθοδρομικού πλου με επίλυση σφαιρικών τριγώνων σε σφαίρα μοναδιαίας ακτίνας και την παραδοχή ότι το μήκος ενός πρώτου λεπτού της μοίρας οποιουδήποτε μεγίστου κύκλου ισούται με ένα ναυτικό μίλι, μπορούν να αναβαθμιστούν με τον υπολογισμό των στοιχείων πλου ελάχιστης απόστασης στο ΕΕΠ (απόσταση πλου και συντεταγμένες ενδιάμεσων σημείων δρομολογίου) είτε με υπολογισμούς επί της γεωδαισιακής είτε επί του τόξου της μέγιστης έλλειψης (Pallikaris and Latsas 2009).

1.4 Ναυσιπλοΐα σε περιβάλλον ΣΗΝΧ

1.4.1 Βασική ορολογία

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές των συστημάτων ECDIS του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού [IMO 2006]:

- Η πρωταρχική αποστολή του ECDIS είναι η συμβολή του στην ασφαλή ναυσιπλοΐα.
- Το ECDIS είναι ένα (γεωγραφικό) σύστημα πληροφοριών για τη ναυσιπλοΐα, το οποίο, με επαρκείς εναλλακτικές ρυθμίσεις ασφαλείας, είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι καλύπτει τις απαιτήσεις χρήσεως ενημερωμένων έντυπων ναυτικών χαρτών που εκδίδονται από τις επίσημες κρατικές Υδρογραφικές Υπηρεσίες, παρέχοντας τη δυνατότητα επιλεκτικής απεικόνισης πληροφοριών από τη βάση δεδομένων SENC⁸ των ηλεκτρονικών ναυτιλιακών χαρτών ENC⁹ του συστήματος, σε συνδυασμό με την απεικόνιση της θέσης του πλοίου από πληροφορίες που παρέχονται από διάφορους αισθητήρες, για υποβοήθηση του ναυτιλλόμενου στη σχεδίαση και υποτύπωση του πλου και, εφόσον απαιτείται, με την απεικόνιση επιπρόσθετων ναυτιλιακών πληροφοριών.

Ο αναλυτικός ορισμός του Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη ENC δίδεται στις λειτουργικές προδιαγραφές των συστημάτων ECDIS του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO 2006) και είναι ο εξής: «**Ο Ηλεκτρονικός Ναυτιλιακός Χάρτης (Electronic Navigational Chart - ENC)**, είναι η τυποποιημένη ως προς το περιεχόμενο, τη δομή και τον τύπο (content, structure, format) βάση δεδομένων που κατασκευάζεται από τις κρατικές υδρογραφικές υπηρεσίες, για να χρησιμοποιηθεί με το σύστημα ECDIS. Ο Ηλεκτρονικός Ναυτιλιακός Χάρτης (ENC) περιέχει όλες τις αναγκαίες για την ασφαλή πλοήγηση χαρτογραφικές πληροφορίες και είναι δυνατό να περιέχει και επιπρόσθετες ως προς τον έντυπο χάρτη πληροφορίες (π.χ. Ναυτιλιακές Οδηγίες – Πλοηγοί), οι οποίες είναι δυνατό να θεωρηθούν απαραίτητες για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας».

Ο αναλυτικός ορισμός της «Βάσης Δεδομένων Συστήματος Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη - SENC» ή του «Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη Συστήματος (System Electronic Navigational Chart)» δίδεται στις λειτουργικές προδιαγραφές των συστημάτων ECDIS του IMO και είναι ο εξής: «**Ηλεκτρονικός Ναυτιλιακός Χάρτης Συστήματος**» (System Electronic Navigational Chart - SENC)¹⁰ είναι η βάση δεδομένων, η οποία προκύπτει από τον μετασχηματισμό του ENC στο σύστημα ECDIS για κατάλληλη χρήση, με προσθήκη διορθώσεων στον ENC με τα κατάλληλα μέσα και με προσθήκη άλλων στοιχείων από τον ναυτιλλόμενο. Είναι η βάση δεδομένων, στην οποία το σύστημα ECDIS έχει πρόσβαση για την απεικόνιση χαρτογραφικών και ναυτιλιακών πληροφοριών στην οθόνη του συστήματος και για άλλες ναυτιλιακές λειτουργίες. Το προκύπτον αποτέλεσμα είναι ισοδύναμο προς έναν ενημερωμένο έντυπο χάρτη».

Οι βασικότερες λειτουργίες ενός τυπικού ΣΗΝΧ συνοψίζονται στον πίνακα 1.1.

1.4.2 Ηλεκτρονικοί Ναυτιλιακοί Χάρτες (ENCs) και Βάση Δεδομένων Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη Συστήματος (SENC)

Για να λειτουργήσει το σύστημα ECDIS και να παρέχει τις προβλεπόμενες δυνατότητες, πρέπει να διαθέτει επαρκή ψηφιακά δεδομένα στη Βάση Δεδομένων του Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη συστήματος SENC, η οποία περιλαμβάνει:

- ✓ τους Ηλεκτρονικούς Ναυτιλιακούς Χάρτες (ENCs),

⁸ SENC: System Electronic Navigational Chart

⁹ ENC: Electronic Navigational Chart

¹⁰ Στην ελληνική βιβλιογραφία και στην παρούσα διατριβή για λόγους καλύτερης σαφήνειας η συντομογραφία SENC (System Electronic Navigational Chart), όπου απαιτείται, δεν αποδίδεται με την ακριβή μετάφραση του πλήρους τίτλου (Ηλεκτρονικός Ναυτιλιακός Χάρτης Συστήματος) αλλά ως «Βάση Δεδομένων Συστήματος Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη».

- ✓ τις ενημερώσεις (Updates) των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών και
- ✓ άλλα στοιχεία, τα οποία μπορεί να καταχωρήσει ο χειριστής τόσο στη φάση της προετοιμασίας και σχεδίασης, όσο και κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του πλου.

Πίνακας 1.1

Βασικές λειτουργικές δυνατότητες ΣΗΝΧ

Απεικόνιση σε μία μόνο οθόνη της ακριβούς θέσης και πραγματικής ως προς το βυθό πορείας του πλοίου μαζί με όλες τις απαραίτητες για την ασφαλή εκτέλεση του πλου χαρτογραφικές και ναυτιλιακές πληροφορίες.
Επιλεκτική απεικόνιση μόνο των απαραίτητων για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας χαρτογραφικών και ναυτιλιακών πληροφοριών της βάσης δεδομένων του συστήματος (π.χ. απεικόνιση ή απόκρυψη χαρακτηριστικών και τομέων φανών κλπ.).
Αυτόματη ενημέρωση των ηλεκτρονικών χαρτών με τη χρήση του λογισμικού του συστήματος.
Αλλαγή της κλίμακας απεικόνισης του χάρτη στην οθόνη του συστήματος ανάλογα με τις ναυτιλιακές συνθήκες της περιοχής.
Αυτοματοποίηση των εργασιών προετοιμασίας και σχεδίασης πλου και ακριβής απεικόνιση του δρομολογίου που σχεδιάστηκε στα σημεία αλλαγής πορείας (way points) ανάλογα με τα ελικτικά στοιχεία (κύκλος στροφής) και τη ταχύτητα του πλοίου.
Απεικόνιση της θέσης και της κινήσεως του πλοίου με το πραγματικό του σχήμα προσαρμοσμένο στη κλίμακα απεικόνισης του ηλεκτρονικού χάρτη για διευκόλυνση της πλοηγήσεως σε περιοχές μεγάλης ναυτιλιακής κινήσεως.
Καταχώρηση ηλεκτρονικών σημειώσεων (υπομνήσεων) σε διάφορα σημεία ή περιοχές του ηλεκτρονικού χάρτη.
Προειδοποιήσεις για προσέγγιση σε αβαθή προς αποφυγή προσάραξης.
Χρησιμοποίηση ειδικών συμβόλων και χρωμάτων για την ευκρινέστερη απεικόνιση των χαρτογραφικών πληροφοριών στην οθόνη (π.χ. απεικόνιση της επιλεγόμενης ισοβαθούς ασφαλείας και της θαλάσσιας περιοχής αβαθών μεταξύ ισοβαθούς ασφαλείας και ακτογραμμής με εντονότερο χρώμα, απεικόνιση σημαντήρων και φανών με πιο ευδιάκριτα για την οθόνη σύμβολα).
Αυτόματη ανάκτηση συμπληρωματικών περιγραφικών πληροφοριών για τις απεικονιζόμενες στην οθόνη χαρτογραφικές και ναυτιλιακές πληροφορίες όπως π.χ. περιγραφή ναυτιλιακών κινδύνων, χαρακτηριστικών φανών, σημαντήρων κλπ.
Εμφάνιση της εικόνας ραντάρ με ή χωρίς τα σύμβολα των παρακολουθούμενων στόχων του συστήματος (ARPA).
Απεικόνιση πληροφοριών από άλλες ναυτιλιακές συσκευές και συστήματα όπως: Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης Πλοίων (AIS), Σύστημα NAVTEX κλπ.
Καταγραφή και ανάκτηση προτέρου ίχνους του πλοίου.
Απεικόνιση βολισμάτων στο επιθυμητό παλιρροιακό επίπεδο (π.χ. κατωτάτη ρηχία).
Καταγραφή και ανάκτηση των στοιχείων πλου (σχεδιασθείσα και τηρηθείσα πορεία, χρησιμοποιηθέντες ηλεκτρονικοί ναυτιλιακοί χάρτες, κλπ.) για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, για ανάλυση των συνθηκών ναυτικού ατυχήματος κατ αναλογία του “μαύρου κουτιού” που χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη.

Οι ηλεκτρονικοί ναυτιλιακοί χάρτες ENCs κατασκευάζονται σύμφωνα με τις αυστηρές λεπτομερείς τεχνικές προδιαγραφές, οι οποίες βασίζονται στο πρότυπο μεταφοράς ψηφιακών υδρογραφικών δεδομένων S-57 του Διεθνούς Υδρογραφικού Οργανισμού (IHO 2000). Το πρότυπο S-57 δεν καλύπτει αποκλειστικά τις τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή των ηλεκτρονικών ναυτιλιακών χαρτών ENC, αλλά αφορά τη μεταφορά ψηφιακών υδρογραφικών δεδομένων.

Τον Ιανουάριο του 2010 το πρότυπο S-57 αντικαταστάθηκε με το πρότυπο S-100 (IHO 2010). Ο σκοπός της αντικατάστασης αυτής είναι η εξασφάλιση μεγαλύτερης διαλειτουργικότητας με άλλα πρότυπα ανταλλαγής ψηφιακών γεωγραφικών δεδομένων, όπως το πρότυπο ISO 19100, για ευρύτερο εύρος εφαρμογών σε περιβάλλον Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών πέραν των ΣΗΝΧ (Ward et al. 2010). Οι τεχνικές προδιαγραφές των ψηφιακών προϊόντων που θα δημιουργηθούν στο μέλλον με βάση το γενικό πρότυπο S-100, θα έχουν τα χαρακτηριστικά S-101, S-102, S-103 κλπ.

Η αντικατάσταση του προτύπου S-57 με το S-100 δεν τροποποίησε τις τεχνικές προδιαγραφές κατασκευής των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών ENCs, οι οποίες εξακολουθούν να βασίζονται στο S-57. Η μελλοντική αναθεώρηση των προδιαγραφών κατασκευής ENCs θα βασίζεται στο πρότυπο S-100. Οι μελλοντικές αυτές προδιαγραφές των ENCs θα καλύπτονται από το πρότυπο S-101, το οποίο δεν προβλέπεται να κυκλοφορήσει πριν από το έτος 2012.

Τα μελλοντικά ΣΗΝΧ θα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα τόσο τους ENCs που έχουν κατασκευαστεί, ή θα εξακολουθούν να κατασκευάζονται σύμφωνα με το πρότυπο S-57, όσο και τα νέα προϊόντα που θα κατασκευάζονται σύμφωνα με το νέο πρότυπο S-101.

Οι ηλεκτρονικοί ναυτιλιακοί χάρτες ENCs είναι μία αντικειμενοστραφής βάση δεδομένων η οποία αποτελείται από πινακοποιημένες πληροφορίες των χωρικών και περιγραφικών αντικειμένων που την απαρτίζουν (Παλληκάρης κ.α. 2008 399-422). Ανάλογα με τη ναυτιλιακή χρήση, για την οποία προορίζονται, οι ENCs κατατάσσονται στις επόμενες έξι κατηγορίες χρήσεως:

- 1 Overview (Σχεδίασης πλου),
- 2 General (Ναυτιλίας ανοικτής θάλασσας),
- 3 Coastal (Ακτοπλοΐας),
- 4 Approach (Προσέγγισης ακτών),
- 5 Harbor (Εισόδου σε όρμους- πρόσγεια λιμένων) και
- 6 Berthing (Λιμενοδεικτών).

Οι ENCs κάθε κατηγορίας έχουν διαφορετική πυκνότητα χαρτογραφικών και λοιπών πληροφοριών ανάλογα με την αντίστοιχη ναυτιλιακή τους χρήση, κατ' αντιστοιχία με έντυπους ναυτικούς χάρτες αντίστοιχων κλιμάκων (βλ. πίνακα 1.2). Για παράδειγμα σε ένα ENC κατηγορίας 6 «berthing - λιμενοδείκτες», περιέχονται αντικείμενα που απεικονίζουν όλους τους σημαντήρες της περιοχής που καλύπτει ο χάρτης, ενώ για ένα ENC κατηγορίας 3 «coastal-ακτοπλοΐας», περιέχονται αντικείμενα που απεικονίζουν μόνο τους σημαντικότερους σημαντήρες.

Ο τρόπος οργάνωσης των πληροφοριών της βάσεως δεδομένων του Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη Συστήματος (SENC) υποβοηθά το χρήστη να εμφανίζει επιλεκτικά στην οθόνη του συστήματος εκείνες τις πληροφορίες που απαιτούνται κατά περίπτωση, χωρίς να επιβαρύνεται η οθόνη με περιττά στοιχεία που δυσχεραίνουν τον άμεσο εντοπισμό των απαραίτητων για την ασφάλεια του συγκεκριμένου πλου πληροφοριών (Σχ. 1.11). Οι πληροφορίες αυτές κατατάσσονται στις επόμενες κατηγορίες:

- ✓ Θέση (στίγμα) του πλοίου, η οποία απεικονίζεται είτε με ειδικό σύμβολο (κέρσορας) είτε με το σχήμα του πλοίου στην κλίμακα του ηλεκτρονικού ναυτιλιακού χάρτη.

- ✓ Πληροφορίες που περιέχονται στη βάση δεδομένων του συστήματος SENC (System Electronic Navigational Chart), η οποία περιλαμβάνει εκτός από τα στοιχεία των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών (ENCs), τις ενημερώσεις τους¹¹ (Updates), καθώς και βοηθητικά στοιχεία, τα οποία μπορεί να πληκτρολογήσει ο χειριστής τόσο στη φάση της προετοιμασίας και σχεδίασης, όσο και κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης (υποτύπωσης) του πλου.
- ✓ Συμπληρωματικές ναυτιλιακές πληροφορίες, όπως προσθήκη της εικόνας του ραντάρ με ή χωρίς λειτουργία αυτόματης υποτυπώσεως στόχων (ARPA), άλλες ναυτιλιακές πληροφορίες, όπως πληροφορίες Αυτόματου Συστήματος Αναγνώρισης (AIS), διάφορα ναυτιλιακά στοιχεία και παράμετροι (πραγματική ως προς το βυθό πορεία, σχεδιασθείσα διαδρομή με τα αντίστοιχα σημεία αλλαγής πορείας (waypoints), πραγματικά στίγματα, στίγματα αναμετρήσεως, μελλοντική θέση του πλοίου σε καθορισμένο χρόνο, διοπτύσεις και κύκλοι απόστασης από καθορισμένα σημεία, γραμμές θέσης με ένδειξη αντίστοιχου χρόνου κλπ.).

Πίνακας 1.2
Κατηγορίες Χρήσεως Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών (ENCs)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ	ΟΓΚΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ
1 Overview	Σχεδίαση πλου	Ανάλογος με αυτόν που αντιστοιχεί σε έντυπους ναυτικούς χάρτες κλίμακας μικρότερης από: 1:2.250.000 (π.χ. ναυτικός χάρτης που καλύπτει όλη τη Μεσόγειο Θάλασσα)
2 General	Ναυτιλία ανοικτής θάλασσας	Ανάλογος με αυτόν που αντιστοιχεί σε έντυπους ναυτικούς χάρτες κλίμακας 1:2.250.000-1:300.001 (π.χ. ναυτικός χάρτης που καλύπτει όλες τις Ελληνικές ακτές ή το Βόρειο Αιγαίο)
3 Coastal	Ακτοπλοΐα	Ανάλογος με αυτόν που αντιστοιχεί σε έντυπους ναυτικούς χάρτες κλίμακας 1:300.000-1:80.001 (π.χ. ναυτικός χάρτης που καλύπτει τη θαλάσσια περιοχή Σαρωνικού κόλπου ή Σαρωνικού κόλπου – Στενού Αντικυθήρων)
4 Approach	Προσέγγιση ακτών	Ανάλογος με αυτόν που αντιστοιχεί σε έντυπους ναυτικούς χάρτες κλίμακας 1:80.000- 1:40.001 (π.χ. ναυτικός χάρτης που καλύπτει τις ακτές και τη θαλάσσια περιοχή των νήσων Θήρα -Ανάφη)
5 Harbor	Όρμοι- Πρόσγεια λιμένων	Ανάλογος με αυτόν που αντιστοιχεί σε έντυπους ναυτικούς χάρτες κλίμακας 1:40.000- 1:10.001 (π.χ. ναυτικός χάρτης που καλύπτει τον κόλπο Ελευσίνας ή Σούδας)
6 Berthing	Λιμενοδείκτες	Ανάλογος με αυτόν που αντιστοιχεί σε έντυπους ναυτικούς χάρτες κλίμακας μεγαλύτερης από 1:10.000 (π.χ. ναυτικός χάρτης που καλύπτει το λιμάνι Πειραιά ή Πάτρας)

¹¹ Οι ενημερώσεις (updates) των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών ENCs είναι ειδικά ψηφιακά αρχεία, τα οποία παράγονται από τις Υδρογραφικές Υπηρεσίες που έχουν εκδώσει το αρχικό αρχείο του ENC. Η διαδικασία ενημέρωσης των ENCs της βάσεως δεδομένων του Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη Συστήματος (SENC) γίνεται αυτόματα από το λογισμικό του συστήματος με την επεξεργασία των ανωτέρω ψηφιακών αρχείων.

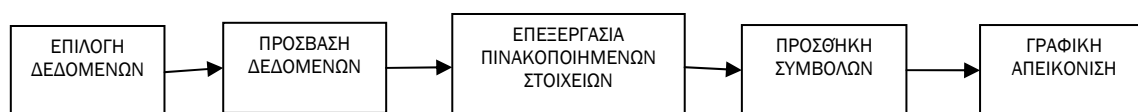


Σχ. 1.11: Απεικόνιση χαρτογραφικών και ναυτιλιακών πληροφοριών στην οθόνη ΣΗΝΧ

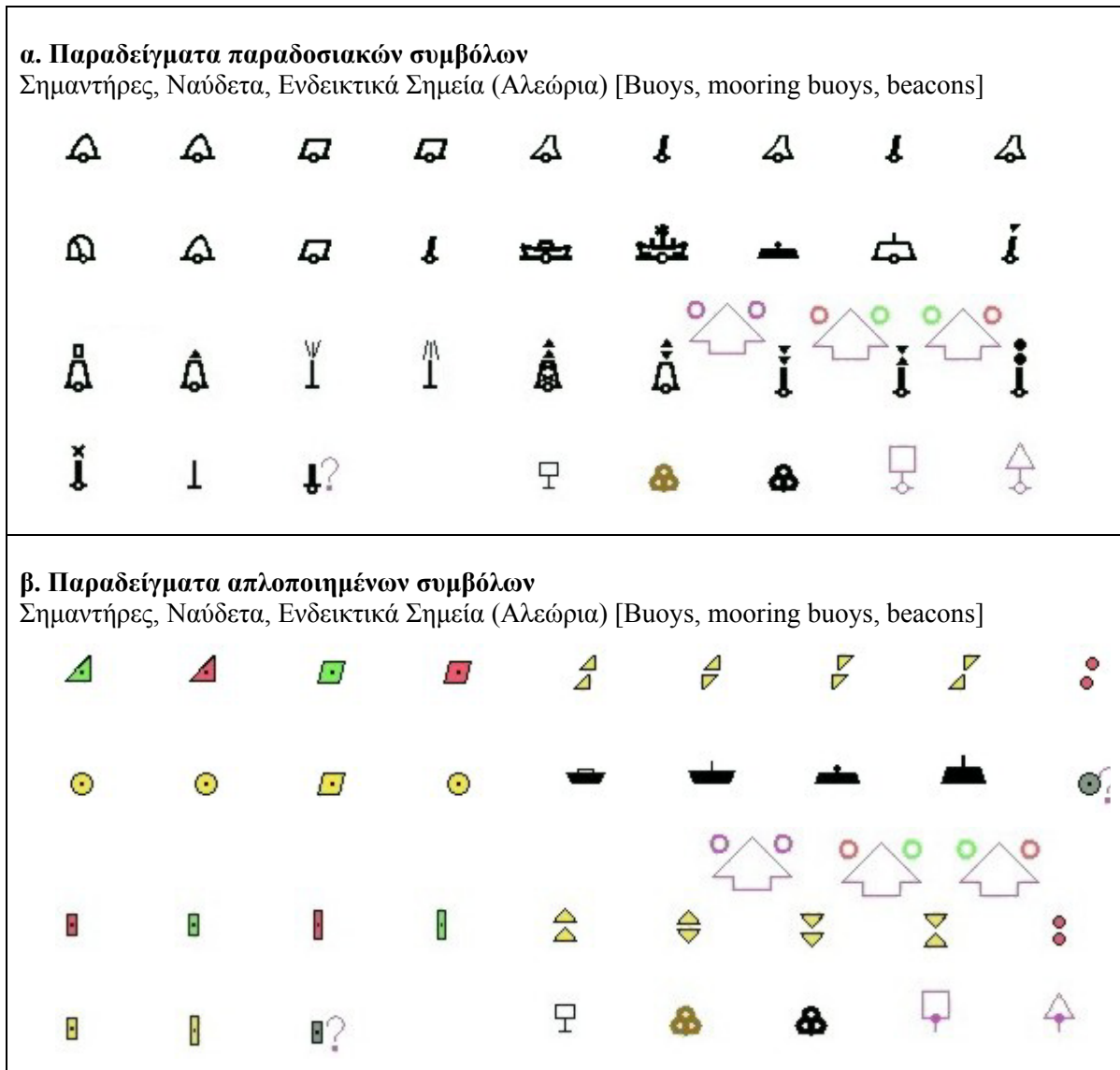
1.4.3 Απεικόνιση χαρτογραφικών και ναυτιλιακών πληροφοριών στην οθόνη των ΣΗΝΧ - Βιβλιοθήκη Συμβόλων (ECDIS Presentation Library)

Τα ψηφιακά αρχεία των ENC δεν περιέχουν χαρτογραφικά σύμβολα (π.χ. σύμβολο ναυαγίου, σημαντήρα κλπ.), αλλά μόνο τις αναγκαίες πινακοποιημένες πληροφορίες των αντίστοιχων αντικειμένων (Παλληκάρης κ.α. 2008 399-422). Τα σύμβολα για κάθε αντικείμενο (ναυάγιο, σημαντήρας κλπ.) απεικονίζονται στην οθόνη με επιλογή από ένα σύνολο τυποποιημένων χαρτογραφικών συμβόλων (βιβλιοθήκη συμβόλων - Presentation Library) του ναυτιλιακού λογισμικού του ΣΗΝΧ. Η γραφική απεικόνιση των αντικειμένων (objects), τα οποία συνθέτουν τον ENC (φανοί, ναυάγια, σημαντήρες, υποβρύχια καλώδια, αγωγοί, όρια απαγορευμένων περιοχών κλπ.) γίνεται με τη διαδικασία, η οποία παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχ. 1.12, σύμφωνα με την οποία:

- Επιλέγονται τα δεδομένα (ENCs) που θα απεικονισθούν στην οθόνη.
- Αναλύονται και συνδυάζονται τα χωρικά και περιγραφικά αντικείμενα.
- Σύμφωνα με τις τιμές των περιγραφικών χαρακτηριστικών τους (attributes) τα αντικείμενα των ENC απεικονίζονται με τα αντίστοιχα χαρτογραφικά σύμβολα της βιβλιοθήκης συμβόλων (presentation library).
- Η βιβλιοθήκη συμβόλων (presentation library) περιέχει δύο διαφορετικές κατηγορίες συμβόλων, οι οποίες είναι οι εξής:
 - Παραδοσιακά σύμβολα (traditional symbols), τα οποία είναι παρόμοια με τα σύμβολα των έντυπων ναυτικών χαρτών (Σχ. 1.13α).
 - Απλοποιημένα σύμβολα (simplified symbols) με απλά γεωμετρικά σχήματα με ειδικό έντονο χρωματισμό, για να διευκολύνεται ο εντοπισμός τους (Σχ. 1.13β).



Σχ. 1.12: Διαδικασία απεικόνισης ηλεκτρονικών χαρτών σε ΣΗΝΧ



Σχ. 1.13: Ενδεικτικά παραδείγματα παραδοσιακών και απλοποιημένων συμβόλων ΣΗΝΧ (ECDIS presentation library)

Σύμφωνα με την ανωτέρω διαδικασία τα σύμβολα επιλέγονται από τη βιβλιοθήκη συμβόλων (presentation library) καταρχήν με βάση τις τιμές των χαρακτηριστικών (attributes) των χαρτογραφικών αντικειμένων. Εν τούτοις, η τελική γραφική απεικόνιση εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως:

- κλίμακα απεικονιζομένων ηλεκτρονικών χαρτών,
- προτεραιότητα απεικόνισης ή όχι ορισμένων αντικειμένων όταν συμπίπτουν, ή επικαλύπτονται με άλλα μεγαλύτερης προτεραιότητας και
- ρυθμίσεις (επιλογές) του χειριστή.

Ο χειριστής του ΣΗΝΧ έχει στη διάθεσή του μία πληθώρα επιλογών ρυθμίσεων της απεικόνισης τόσο των πληροφοριών του Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη Συστήματος (SENC), όσο και των πληροφοριών που παρέχονται από άλλα συστήματα που έχουν διασυνδεθεί με το ΣΗΝΧ, έτσι ώστε ουσιαστικά να δημιουργεί ο ίδιος τη μορφή του ηλεκτρονικού χάρτη, ή της εικόνας της γεωγραφικής περιοχής που εμφανίζεται στην οθόνη. Ενδεικτικά οι κυριότερες από τις επιλογές αυτές είναι:

- Απεικόνιση παραδοσιακών ή απλοποιημένων συμβόλων (Σχ. 1.13).
- Απεικόνιση των χαρτογραφικών πληροφοριών σε τρία επίπεδα λεπτομέρειας (συνήθεις πληροφορίες, ελάχιστες πληροφορίες και άλλες πληροφορίες) [Σχ. 1.14, Σχ. 1.15 και Σχ. 1.16].
- Απεικόνιση ή απόκρυψη χαρακτηριστικών και τομέων φανών (Σχ. 1.15 και Σχ. 1.16).
- Προσαρμογή του χρωματισμού της οθόνης στις συνθήκες του περιβάλλοντος φωτισμού (ημέρα με έντονο φωτισμό, νύκτα, λυκαυγές-λυκόφως) [Σχ. 1.17].
- Απεικόνιση επικινδύνων αβαθών περιοχών ανάλογα με την ισοβαθή ασφαλείας που επιλέγεται από το χρήστη σύμφωνα με το βύθισμα του πλοίου (Σχ. 1.18).

1.4.4 Κλίμακα απεικόνισης και προσανατολισμός Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών

α. Κλίμακα απεικόνισης

Τα περισσότερα συστήματα ECDIS εκτελούν αλλαγές της κλίμακας του απεικονιζόμενου ENC κατά λογικές βαθμίδες. Η αλλαγή κλίμακας του απεικονιζόμενου ENC πραγματοποιείται κυρίως με τους επόμενους τρόπους:

- αριθμητική κλίμακα (π.χ. 1:5000 ή 1:75000 κ.ο.κ.),
- κατηγορία χρήσεως χάρτη όπως: ακτοπλοΐας (coastal), προσέγγισης ακτών (approach), κλπ. (πίνακας 1.2) και
- κλίμακα αποστάσεων (π.χ. 3, 6, 12, ή 24 ν.μ).

Στα ΣΗΝΧ είναι πολύ διαδεδομένη η χρήση της κλίμακας αποστάσεων αντί της φυσικής κλίμακας, διότι αφενός συσχετίζεται με την κλίμακα αποστάσεων του ραντάρ, αφετέρου παρέχει άμεση αντίληψη του εύρους της απεικονιζόμενης στην οθόνη γεωγραφικής περιοχής.

β. Προσανατολισμός Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών

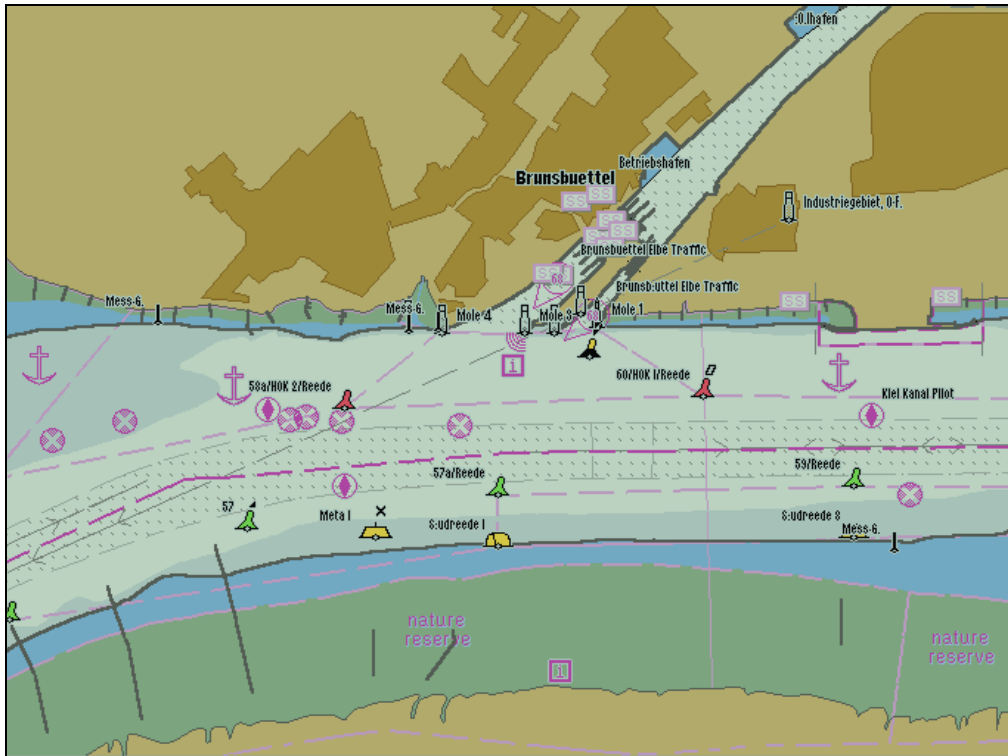
Κατά την πλοήγηση πλησίον ακτών με τον παραδοσιακό έντυπο ναυτικό χάρτη, στον οποίο η διεύθυνση του βορρά αντιστοιχεί στην κατακόρυφη πλευρά του χαρτιού εκτύπωσης, για τον συσχετισμό της εικόνας του χάρτη με την πραγματική εικόνα της θαλάσσιας περιοχής, όπως φαίνεται με το ανθρώπινο μάτι από τη γέφυρα πηδαλιούχησης, απαιτείται διανοητική επεξεργασία προσανατολισμού του χάρτη στη διεύθυνση της πορείας (Σχ. 1.19).

Τα ΣΗΝΧ παρέχουν τη δυνατότητα επιλογής του επιθυμητού προσανατολισμού του ENC, έτσι ώστε να εμφανίζεται στην οθόνη του ΣΗΝΧ, είτε με την κλασική μορφή «βορράς άνω», είτε με τη μορφή «πορεία άνω» (Σχ 1.20).

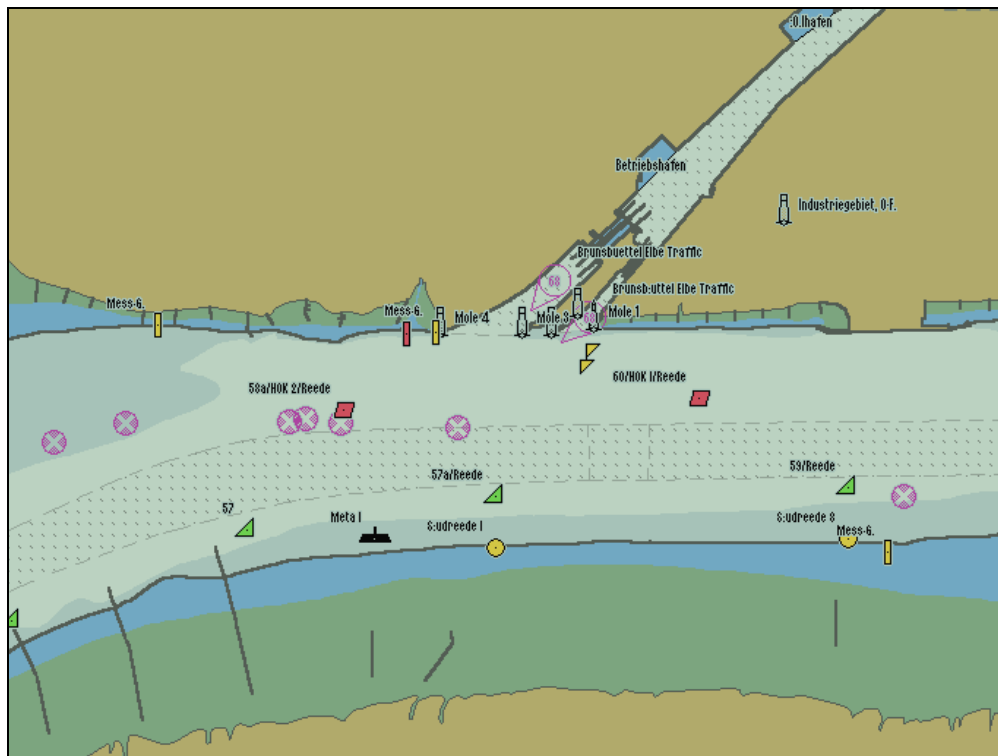
Με τον προσανατολισμό «πορεία άνω» διευκολύνεται ο διάπλους στενών, επειδή η εικόνα του χάρτη στην οθόνη του ΣΗΝΧ αντιστοιχεί στην οπτική εικόνα της περιοχής όπως φαίνεται από τη γέφυρα. Με τον τρόπο αυτό η δεξιά και η αριστερή όχθη του στενού απεικονίζονται στη δεξιά και στην αριστερή πλευρά της οθόνης και όχι αντίστροφα, όπως ενδέχεται να απεικονισθούν κατά τον προσανατολισμό «βορράς άνω».

1.4.5 Σχεδίαση και οπτικοποίηση δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων σε ΣΗΝΧ

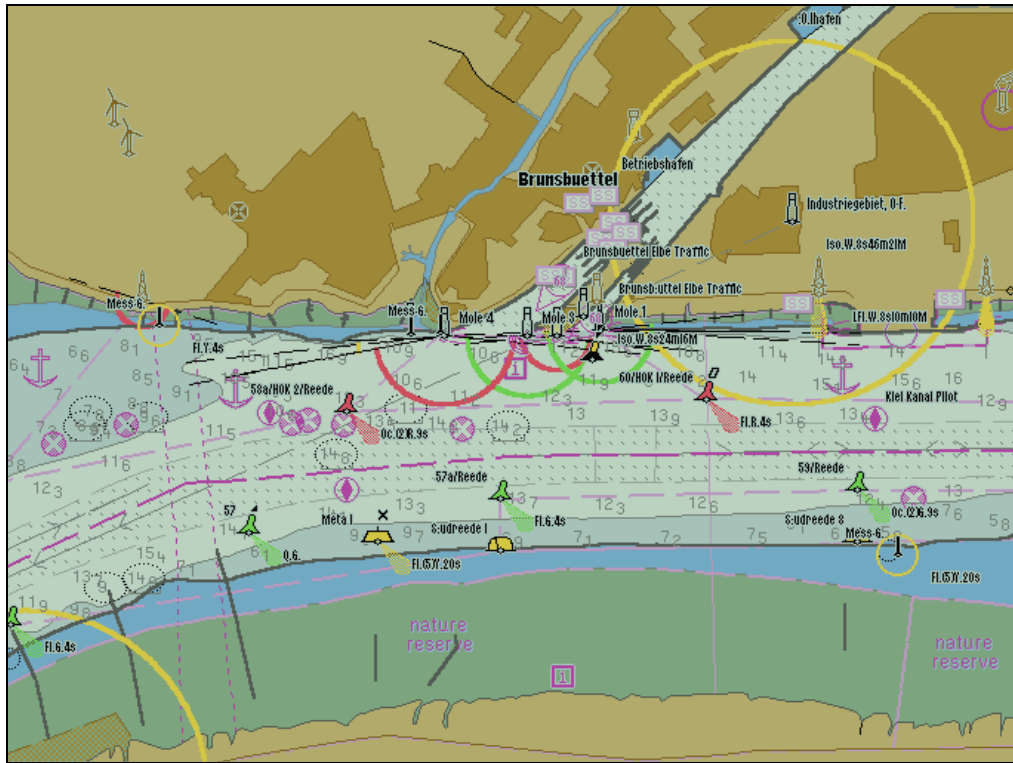
Σε περιβάλλον ηλεκτρονικού χάρτη η επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού, ορθοδρομικού και σύνθετου πλου, εκτελείται με το ειδικό λογισμικό του ΣΓΠ του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα χρήσης ακριβέστερων μεθόδων επίλυσης επί της επιφανείας του σφαιροειδούς, έναντι των παραδοσιακών προσεγγιστικών μεθόδων επίλυσης.



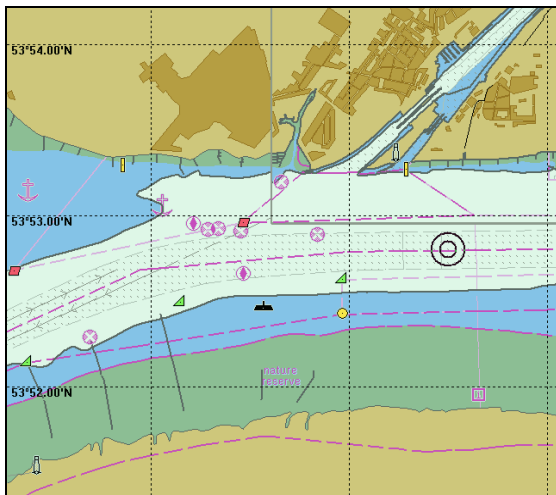
Σχ. 1.14: Συνήθης απεικόνιση οθόνης SHNX με επιλεγμένες πληροφορίες και παραδοσιακά σύμβολα



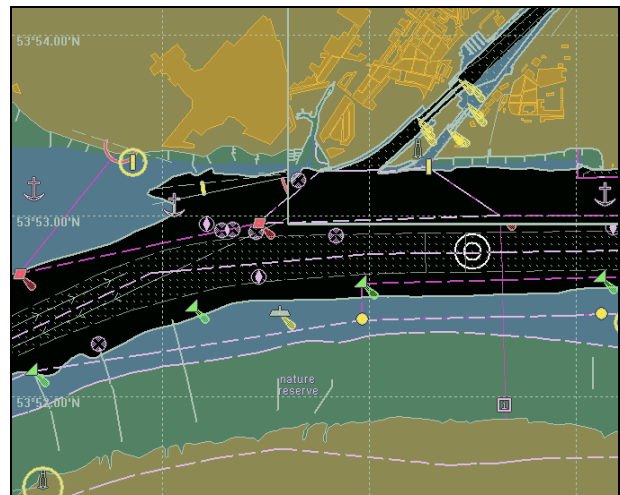
Σχ. 1.15: Βασική απεικόνιση οθόνης SHNX με ελάχιστες πληροφορίες και απλοποιημένα σύμβολα



Σχ. 1.16: Απεικόνιση οθόνης ECDIS με άλλες πληροφορίες και παραδοσιακά σύμβολα

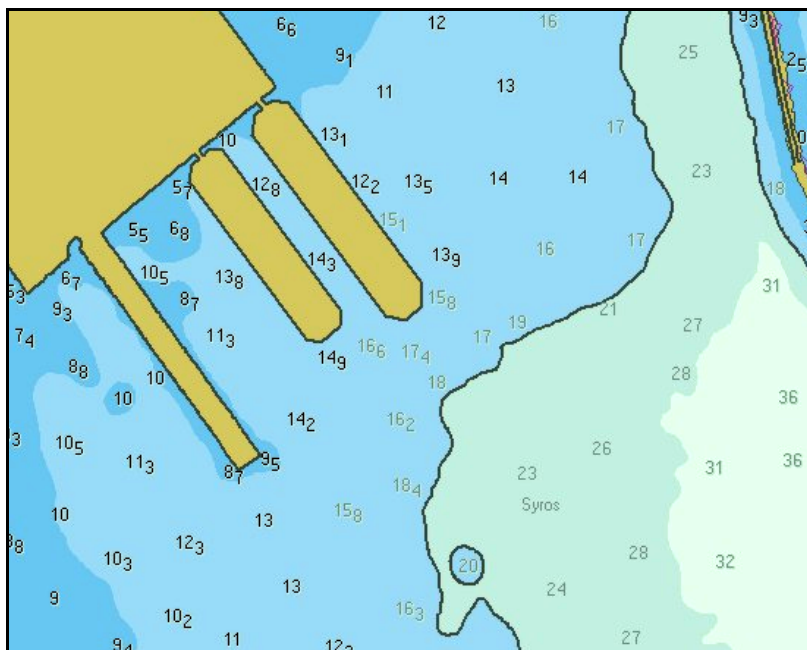


α. χρώματα ημέρας



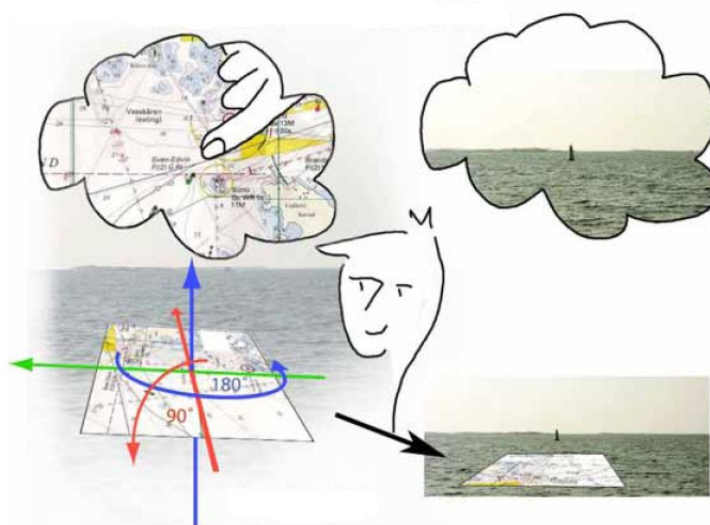
β. χρώματα νύχτας

Σχ. 1.17: Προσαρμογή του χρωματισμού της οθόνης στις συνθήκες του περιβάλλοντος φωτισμού



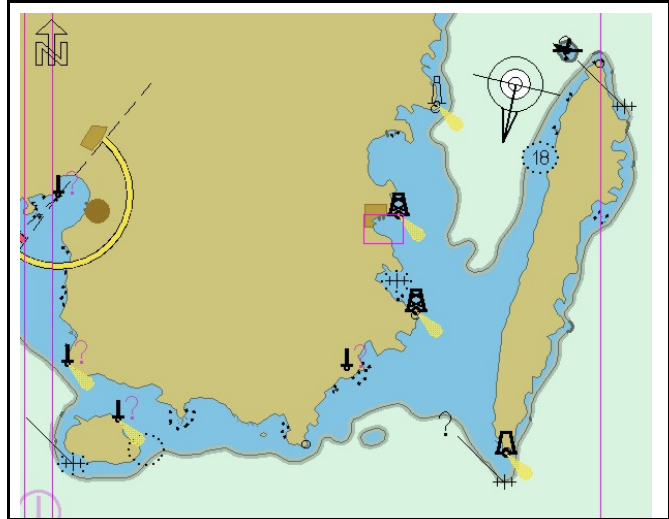
- βύθισμα ασφαλείας (15 μ)
- βολίσματα μικρότερα του βυθίσματος ασφαλείας απεικονίζονται με μαύρο χρώμα
- βολίσματα μεγαλύτερα του βυθίσματος ασφαλείας απεικονίζονται με γκρίζο χρώμα
- ισοβαθής ασφαλείας (20 μ)
- ισοβαθής ρηχών υδάτων (10μ)
- ισοβαθής βαθέων υδάτων (30μ)
- η επικίνδυνη για τη ναυσιπλοΐα αβαθής περιοχή χρωματίζεται με δύο διαβαθμίσεις μπλε διαχωριζόμενες με την ισοβαθή των ρηχών υδάτων (10μ) και
- η ασφαλής περιοχή χρωματίζεται με περιοχές γκρίζου και λευκού χρώματος με όριο την ισοβαθή των βαθέων υδάτων (30μ).

Σχ. 1.18: Απεικόνιση αβαθών περιοχών ανάλογα με την ισοβαθή ασφαλείας που επιλέγεται

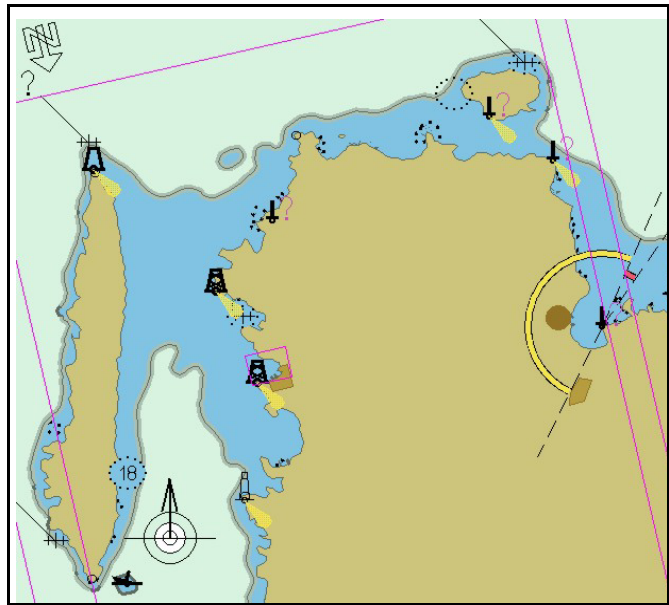


Σχ. 1.19: Διανοητική επεξεργασία προσανατολισμού του χάρτη στη διεύθυνση της πορείας (Porathe 2006)

α. Προσανατολισμός «βορράς άνω»
(North Up)



β. Προσανατολισμός «πορεία άνω»
(Course Up)



Στον προσανατολισμό «βορράς άνω» (North Up) η διεύθυνση του κατακόρυφου άξονα της οθόνης αντιστοιχεί στη διεύθυνση του βορρά.

Στον προσανατολισμό «πορεία άνω» (Course Up) η διεύθυνση του κατακόρυφου άξονα της οθόνης αντιστοιχεί στη κατεύθυνση προχωρήσεως του πλοίου. Ο προσανατολισμός αυτός χρησιμοποιείται για τον ευχερέστερο διάπλου στενών.

Σχ. 1.20: Προσανατολισμός Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη στενού Μακρονήσου

Εκτός από τις δυνατότητες ακριβέστερης επίλυσης των προβλημάτων του λοξοδρομικού, ορθοδρομικού και σύνθετου πλου στην επιφάνεια του σφαιροειδούς, το ΣΗΝΧ παρέχει το απαραίτητο δυναμικό για τη χρήση εναλλακτικών μεθόδων αποτελεσματικότερης απεικόνισης των σχεδιαζόμενων δρομολογίων του λοξοδρομικού, ορθοδρομικού και σύνθετου πλου, χωρίς τις εξαρτήσεις των παραδοσιακών μεθόδων της ναυσιπλοΐας σε συγκεκριμένα προβολικά συστήματα (μερκατορική και γνομονική απεικόνιση).

Παρά τις προαναφερθείσες δυνατότητες των ΣΗΝΧ, οι λειτουργικές προδιαγραφές των ΣΗΝΧ του IMO (συστήματα ECDIS) δεν αναφέρουν ειδικές απαιτήσεις για την επίλυση και υλοποίηση των προβλημάτων του ορθοδρομικού, λοξοδρομικού και σύνθετου πλου, αλλά περιορίζονται στη διατύπωση των επόμενων γενικών απαιτήσεων (IMO 2006):

α. Απαιτήσεις ακριβείας:

- ✓ Η ακρίβεια των υπολογισμών που εκτελούνται από το σύστημα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τη μονάδα εξόδου και συμβατή με την ακρίβεια της βάσης δεδομένων SENC.
- ✓ Η ακρίβεια, με την οποία απεικονίζονται ή μετρώνται διευθύνσεις και αποστάσεις δεν θα είναι χαμηλότερη από τη διακριτική ικανότητα της οθόνης.

β. Απαιτήσεις απεικόνισης:

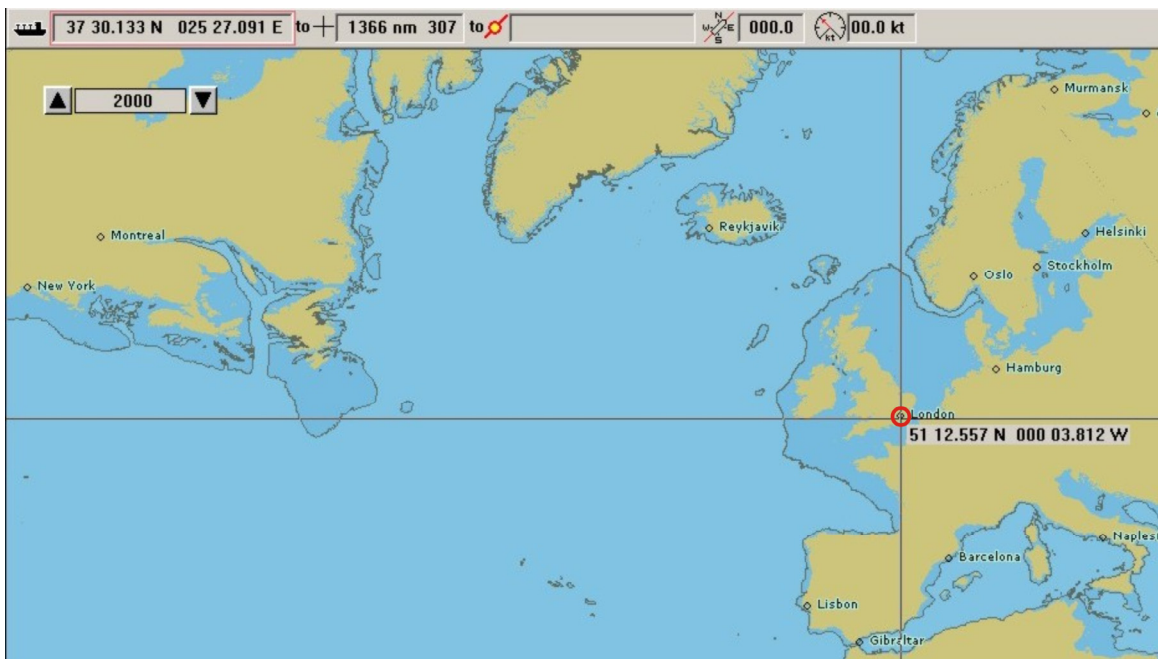
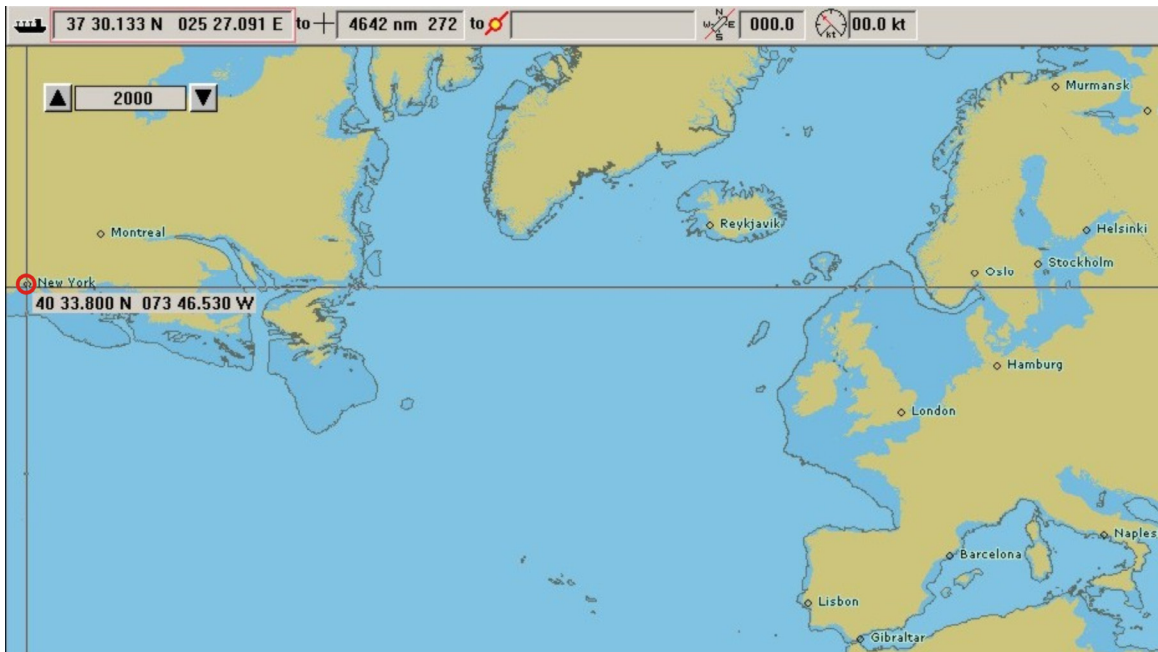
- ✓ Το σύστημα πρέπει να έχει δυνατότητα απεικόνισης πληροφοριών για τη σχεδίαση πλου με απλό και αξιόπιστο τρόπο.
- ✓ Το σύστημα πρέπει να έχει δυνατότητα σχεδίασης και υποτύπωσης πλου με ευθύγραμμο και καμπυλόγραμμο τμήματα (straight and curved segments).
- ✓ Το σύστημα πρέπει να έχει δυνατότητα απεικόνισης πληροφοριών για την υποτύπωση του πλου.

Για την απαιτούμενη ακρίβεια οι προαναφερθείσες απαιτήσεις του IMO (ακρίβεια εκτέλεσης υπολογισμών συμβατή με την ακρίβεια της βάσης δεδομένων SENC και ακρίβεια απεικόνισης ή μέτρησης διευθύνσεων και αποστάσεων επί της οθόνης όχι μικρότερη από τη διακριτική ικανότητα της οθόνης), για την περίπτωση των προβλημάτων λοξοδρομικού και ορθοδρομικού πλου είναι ασαφής και ανεφάρμοστη. Απόπειρα εφαρμογής της αρχής αυτής για εξαγωγή συγκεκριμένων αριθμητικών αποτελεσμάτων για τα διάφορα επίπεδα πληροφοριών της SENC οδηγεί σε εξωπραγματικές τιμές για την απαιτούμενη ακρίβεια υπολογισμού των αποστάσεων πλου στη ναυσιπλοΐα (Pallikaris et al. 2009b). Για το λόγο αυτό απαιτείται ο ορθολογικός καθορισμός της επιδιωκόμενης ακριβείας για την επίλυση των προβλημάτων ορθοδρομικού, λοξοδρομικού και μικτού πλου σε περιβάλλον ηλεκτρονικού χάρτη.

Οι λειτουργικές προδιαγραφές των ΣΗΝΧ του IMO (IMO 2006) επίσης δεν περιλαμβάνουν ειδικές απαιτήσεις ή υποδείξεις για τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένων υποχρεωτικών ή συνιστώμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων. Το κενό αυτό εκτιμάται ότι οφείλεται στο γεγονός ότι στις μεθόδους ναυσιπλοΐας σε περιβάλλον ΗΝΧ οι κρίσιμοι για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας υπολογισμοί εκτελούνται με το ειδικό λογισμικό του ΣΗΝΧ και για το λόγο αυτό δεν εξαρτώνται από τη χρησιμοποιούμενη χαρτογραφική απεικόνιση. Εν τούτοις η επιλογή της κατά περίπτωση καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης παρέχει δυνατότητες αντιπροσωπευτικότερης απεικόνισης της πραγματικής εικόνας της γεωγραφικής περιοχής στην οθόνη του συστήματος. Σε αντίθετη περίπτωση, οι αλλοιώσεις της πραγματικότητας ενδέχεται να δημιουργήσουν εσφαλμένες εντυπώσεις και συμπεράσματα, όπως π.χ. στο παράδειγμα του σχήματος 1.21, το οποίο αντιπροσωπεύει τον τρόπο απεικόνισης πολλών συστημάτων ECDIS.

Οι προαναφερθείσες ασάφειες και τα κενά των λειτουργικών προδιαγραφών του IMO για τα ΣΗΝΧ, σε συνδυασμό με την πρακτική των κατασκευαστών να διαθέτουν το λογισμικό που αναπτύσσουν «κλειστό» για λόγους προστασίας της πνευματικής τους ιδιοκτησίας, έχει σαν αποτέλεσμα τα συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη για τη ναυσιπλοΐα που διατίθενται στο εμπόριο, να:

- ✓ λειτουργούν σαν “μαύρα κουτιά”, τα οποία εκτελούν υπολογισμούς και υλοποιούν διαδικασίες, χωρίς να είναι γνωστές οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο ναυτιλιακό λογισμικό τους,
- ✓ μην αξιοποιούν πλήρως τις δυνατότητες των ΣΗΝΧ για την πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων.



Τοποθετώντας το δείκτη διαδοχικά στην περιοχή του λιμένα της Νέας Υόρκης και του λιμένα του Λονδίνου, για την ανάγνωση των αντίστοιχων γεωγραφικών συντεταγμένων διαπιστώνεται ότι ο λιμένας του Λονδίνου βρίσκεται σε αρκετά βορειότερο γεωγραφικό πλάτος από το λιμένα της Νέας Υόρκης (περισσότερο από 10°).

Παρατηρώντας τη θέση της οριζόντιας γραμμής του σταυρονήματος σε οποιαδήποτε από τις δύο θέσεις και λαμβανομένου υπόψη ότι δεν απεικονίζονται παράλληλοι πλάτους, ενδέχεται να δοθεί η εσφαλμένη εντύπωση ότι ο λιμένας του Λονδίνου βρίσκεται σε αρκετά νοτιότερο γεωγραφικό πλάτος από το λιμένα της Νέας Υόρκης.

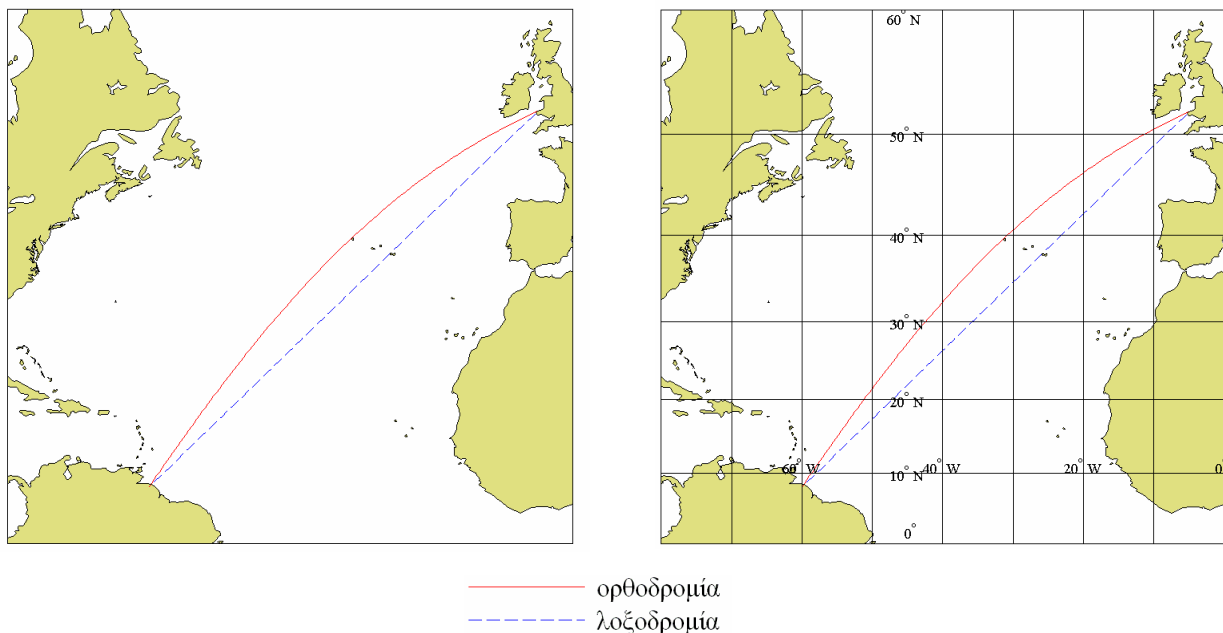
Σχ. 1.21: Παράδειγμα απεικόνισης γεωγραφικών περιοχών σε ΣΗΝΧ.

1.5 Χαρτογραφικές απεικονίσεις στην παραδοσιακή ναυτιλία και σε ΣΗΝΧ

Λόγω των ιδιοτήτων της μερκατορικής και της γνωμονικής απεικόνισης να απεικονίζουν το λοξοδρομικό και τον ορθοδρομικό πλου αντιστοίχως με την απλούστερη δυνατή μορφή, δηλαδή με το ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει το σημείο αναχώρησης και το σημείο προορισμού, οι δύο αυτές χαρτογραφικές απεικονίσεις έχουν καθιερωθεί για χρήση στην παραδοσιακή ναυσιπλοΐα, παρά τις παραμορφώσεις που παρουσιάζουν, επειδή παρέχουν τη δυνατότητα άμεσης σχεδίασης του λοξοδρομικού και του ορθοδρομικού πλου με απλές γραφικές εργασίες στο μερκατορικό και στο γνωμονικό χάρτη (§ 1.3.1).

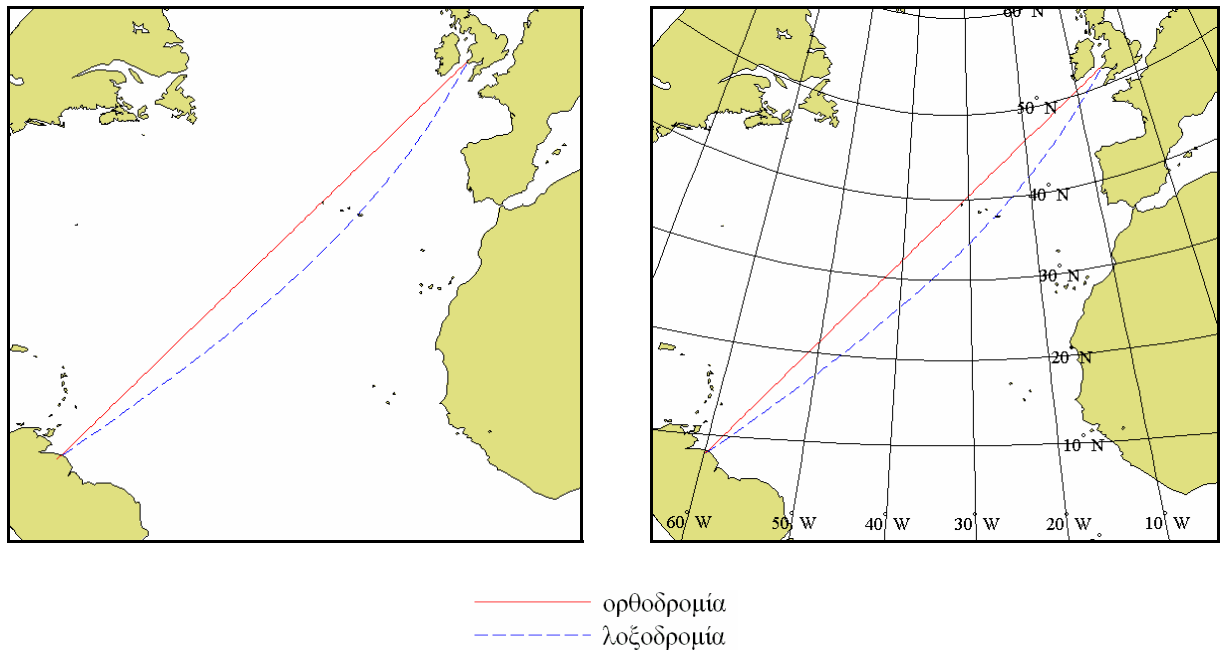
Παρά τα ανωτέρω πλεονεκτήματα της μερκατορικής και γνωμονικής απεικόνισης οι απεικονίσεις αυτές δημιουργούν έντονες γραφικές παραμορφώσεις της πραγματικότητας, επειδή:

- Στη μερκατορική απεικόνιση το δρομολόγιο πλου από ένα σημείο αναχώρησης προς ένα σημείο προορισμού με τήρηση σταθερής πορείας (λοξοδρομικός πλους) απεικονίζεται με το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει το αρχικό και το τελικό σημείο του πλου (Σχ. 1.22). Η απεικόνιση αυτή ενδέχεται να δημιουργήσει την εσφαλμένη εντύπωση ότι η συντομότερη διαδρομή είναι η λοξοδρομική καμπύλη και όχι το ορθοδρομικό τόξο.
- Στη γνωμονική απεικόνιση το συντομότερο δρομολόγιο πλου (ορθοδρομικό τόξο) από ένα σημείο αναχώρησης προς ένα σημείο προορισμού απεικονίζεται με το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα σημεία αυτά (Σχ. 1.23). Η απεικόνιση αυτή ενδέχεται να δημιουργήσει την εσφαλμένη εντύπωση ότι το ορθοδρομικό τόξο αντιστοιχεί σε σταθερή πορεία, επειδή απεικονίζεται σαν ευθύγραμμο τμήμα.



Σχ. 1.22: Απεικόνιση ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου σε μερκατορική απεικόνιση

Στα ΣΗΝΧ η επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού, ορθοδρομικού και σύνθετου πλου γίνεται από το εγκατεστημένο ναυτιλιακό λογισμικό, ανεξάρτητα από τη χαρτογραφική απεικόνιση που χρησιμοποιείται για την απόδοση των ναυτιλιακών ηλεκτρονικών χαρτών στην οθόνη του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό στα ΣΗΝΧ καταργούνται οι εξαρτήσεις των μεθόδων της κλασικής ναυσιπλοΐας για χρήση συγκεκριμένων προβολικών συστημάτων και συνεπώς παρέχεται η δυνατότητα να επιτευχθεί η κατά περίπτωση καταλληλότερη απεικόνιση του πλου στην οθόνη του συστήματος.



Σχ. 1.23: Απεικόνιση ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου σε γνομονική απεικόνιση

Τα ΣΗΝΧ, λόγω της ανεξάρτησής τους από την επιβεβλημένη χρήση συγκεκριμένων χαρτογραφικών απεικονίσεων, παρέχουν το δυναμικό αντιπροσωπευτικότερης χαρτογραφικής απεικόνισης με τη χρησιμοποίηση εναλλακτικών χαρτογραφικών απεικονίσεων, οι οποίες παρουσιάζουν ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων. Εν τούτοις η δυνατότητα αυτή δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως με αποτέλεσμα τα περισσότερα ΣΗΝΧ να έχουν περιορισμένες, ή καθόλου δυνατότητες επιλογής της κατά περίπτωση καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης. Ανάλογα με τις δυνατότητες αυτές τα ΣΗΝΧ μπορούν να ταξινομηθούν στις επόμενες κατηγορίες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν και τα διαδοχικά στάδια (γενιές) εξέλιξης.

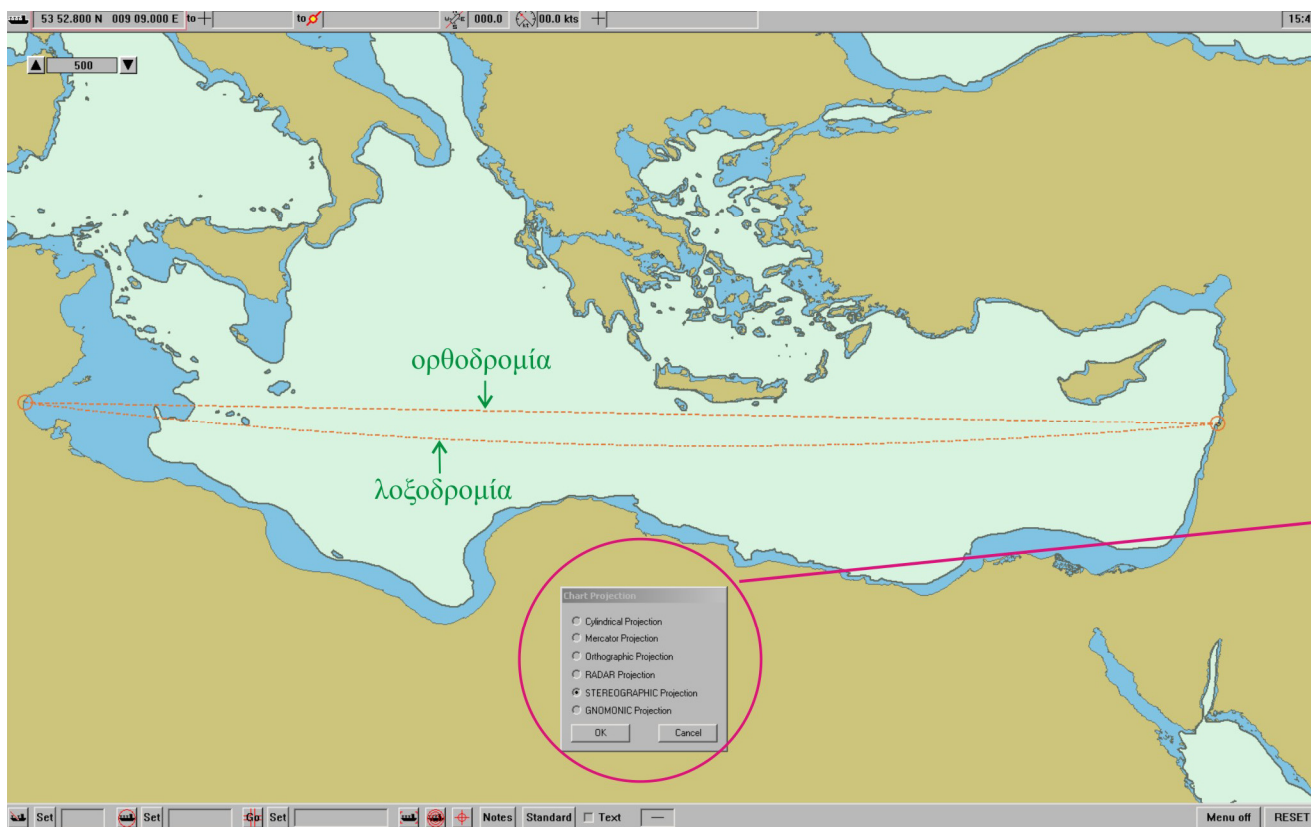
1^η κατηγορία: ΣΗΝΧ, στα οποία δεν επιλέγονται χαρτογραφικές απεικονίσεις, αλλά χρησιμοποιείται μόνο η κυλινδρική τετραγωνική απεικόνιση, στην οποία η απεικόνιση των σημείων του ΕΕΠ με συντεταγμένες (φ , λ) πραγματοποιείται με τις απλούστερες δυνατές σχέσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού $x=\varphi$ και $y=\lambda$.

2^η κατηγορία: ΣΗΝΧ, στα οποία η χαρτογραφική απεικόνιση επιλέγεται χειρωνακτικά μεταξύ περιορισμένου αριθμού απεικονίσεων, συνήθως μεταξύ πέντε ή έξι απεικονίσεων (Σχ. 1.24).

3^η κατηγορία: ΣΗΝΧ, στα οποία η χαρτογραφική απεικόνιση επιλέγεται αυτόματα από το σύστημα ανάλογα με τη θέση και έκταση της απεικονιζόμενης στην οθόνη γεωγραφικής περιοχής (Σχ. 1.25). Οι απεικονίσεις που συνήθως διατίθενται προς επιλογή είναι η ορθή μερκατορική και η αξιμουθιακή στερεογραφική.

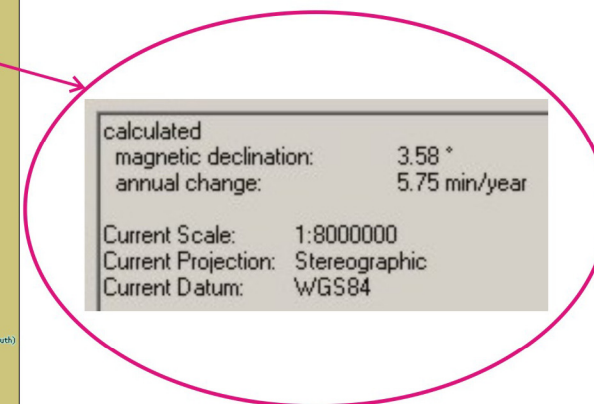
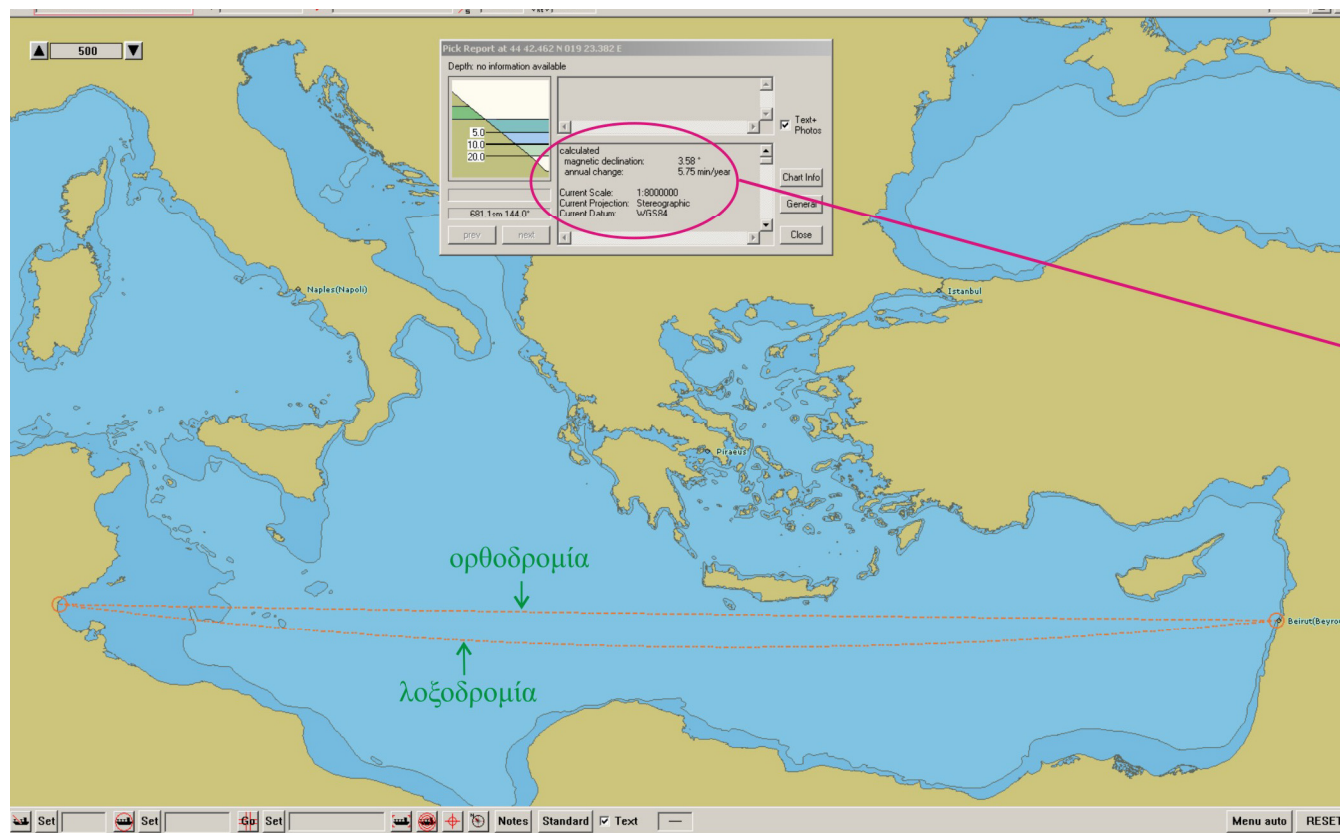
4^η κατηγορία: ΣΗΝΧ, στα οποία η χαρτογραφική απεικόνιση επιλέγεται είτε αυτόματα είτε χειρωνακτικά.

Πολύ μεγάλος αριθμός από τα συστήματα, τα οποία αναπτύχθηκαν κατά τα τελευταία κυρίως χρόνια βασίζονται σε κοινό λογισμικό ανάπτυξης ΣΗΝΧ (ECDIS KERNEL), το οποίο αποτελείται από βιβλιοθήκες επί μέρους εφαρμογών για όλες τις προβλεπόμενες από τον IMO λειτουργικές δυνατότητες. Για το λόγο αυτό τα περισσότερα από τα διατιθέμενα στο εμπόριο ΣΗΝΧ έχουν τις ίδιες ή παρεμφερείς δυνατότητες.



Η χαρτογραφική απεικόνιση επιλέγεται χειρωνακτικά μεταξύ έξι διαθέσιμων απεικονίσεων.
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η αζιμουθιακή στερεογραφική απεικόνιση

Σχ. 1.24: Χειρωνακτική επιλογή χαρτογραφικής απεικόνισης σε ΣΗΝΧ



Στο εξελεγμένο αυτό ΣΗΝΧ η χαρτογραφική απεικόνιση επιλέγεται αυτόματα ανάλογα με τη θέση και έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής.

Οι χαρτογραφικές απεικονίσεις, από τις οποίες γίνεται η αυτόματη επιλογή είναι μόνο δύο: η ορθή μερκατορική και η στερεογραφική αζιμουθιακή.

Ο χρήστης δεν έχει καμία δυνατότητα επιλογής χαρτογραφικής απεικόνισης, αλλά μόνο δυνατότητα αναγνώρισης της απεικόνισης που επιλέγεται από το σύστημα με το άνοιγμα ειδικού παραθύρου εμφάνισης συμπληρωματικών πληροφοριών.

Σχ. 1.25: Αυτόματη επιλογή χαρτογραφικής απεικόνισης σε ΣΗΝΧ

1.6 Συνοπτική επισκόπηση δυνατοτήτων και προοπτικών εξέλιξης ΣΗΝΧ και στόχοι της διδακτορικής διατριβής

Οι λειτουργικές δυνατότητες των ΣΗΝΧ, όπως αυτές καθορίζονται στις σχετικές αποφάσεις του ΙΜΟ (2006), μπορούν να ταξινομηθούν στις επόμενες δύο γενικές κατηγορίες (Παλληκάρης 2009):

- Επιλεκτική απεικόνιση χαρτογραφικών-ναυτιλιακών πληροφοριών και της θέσης του πλοίου σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες πλου, όπως: εμφάνιση ή απόκρυψη χαρτογραφικών πληροφοριών στην οθόνη όπως τοπωνύμια, χαρακτηριστικά και τομείς φαναριών, χρήση διαφορετικού συμβολισμού (παραδοσιακά/απλοποιημένα σύμβολα, χρήση διαφορετικών χρωμάτων κατά την ημέρα/νύχτα κλπ.) χαρτογραφική γενίκευση ανάλογα με την κλίμακα απεικόνισης, κλπ.
- Αυτοματοποίηση των διαδικασιών προετοιμασίας, σχεδίασης, εκτέλεσης και υποτύπωσης του πλου, όπως: προετοιμασία, σχεδίαση, έλεγχος και επικύρωση δρομολογίου, υπολογισμοί στοιχείων λοξοδρομικού πλου, υποτύπωση πλου, εμφάνιση προτέρου ίχνους του πλοίου, πρόβλεψη μελλοντικής θέσης πλοίου, αυτόματη καταγραφή στοιχείων πλου (ανάλογη του “μαύρου κουτιού” των αεροσκαφών), κλπ.

Για την πρώτη κατηγορία λειτουργιών (επιλεκτική απεικόνιση χαρτογραφικών και ναυτιλιακών πληροφοριών και της θέσης του πλοίου σε πραγματικό χρόνο κλπ.), τα βασικά θεσμικά κείμενα του ΙΜΟ περιέχουν ή παραπέμπουν σε αντίστοιχες εξειδικευμένες εκτενείς τεχνικές προδιαγραφές, οι οποίες προβλέπουν συγκεκριμένες και αυστηρές απαιτήσεις ακριβείας των απεικονιζόμενων χαρτογραφικών πληροφοριών.

Από τη δεύτερη κατηγορία λειτουργιών (αυτοματοποίηση διαδικασιών προετοιμασίας, σχεδίασης, εκτέλεσης και υποτύπωσης του πλου), οι σχετικές αποφάσεις των Διεθνών Οργανισμών δεν περιλαμβάνουν, ούτε παραπέμπουν σε συγκεκριμένες λεπτομερείς προδιαγραφές ή οδηγίες για την απαιτούμενη ακρίβεια της επίλυσης των προβλημάτων του λοξοδρομικού, ορθοδρομικού και σύνθετου πλου ούτε για τα συστήματα χαρτογραφικής απεικόνισης (χαρτογραφικές προβολές).

Τα προαναφερθέντα κενά των λειτουργικών προδιαγραφών του ΙΜΟ για τα ΣΗΝΧ σε συνδυασμό με την πρακτική των κατασκευαστών να διαθέτουν το λογισμικό που αναπτύσσουν “κλειστό” για λόγους προστασίας της πνευματικής τους ιδιοκτησίας, έχει σαν αποτέλεσμα τα διατιθέμενα συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη για τη ναυσιπλοΐα για πολλές από τις παρεχόμενες λειτουργίες να:

- ✓ λειτουργούν σαν “μαύρα κουτιά”, τα οποία εκτελούν διάφορους υπολογισμούς και διαδικασίες, χωρίς να είναι γνωστές οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο ναυτιλιακό λογισμικό,
- ✓ μην χρησιμοποιούν την κατά περίπτωση καταλληλότερη χαρτογραφική απεικόνιση (Pallikaris and Tsoulos 2010).

Για τους ανωτέρω λόγους απαιτείται:

- ✓ Ο ορθολογικός καθορισμός της επιδιωκόμενης ακριβείας για την επίλυση των προβλημάτων ορθοδρομικού, λοξοδρομικού και μικτού πλου σε περιβάλλον ηλεκτρονικού χάρτη.
- ✓ Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του λογισμικού των ΣΗΝΧ για την εκτέλεση υπολογισμών υψηλότερης ακριβείας από τις μεθόδους της παραδοσιακής ναυτιλίας.
- ✓ Η αποφυγή υπερβολικών για τη ναυσιπλοΐα απαιτήσεων ακριβείας, όπως π.χ. υπολογισμός αποστάσεων πλου με ακρίβεια εκατοστών ή χιλιοστών του μέτρου, όπως γίνεται σε διάφορες γεωδαιτικές εφαρμογές.
- ✓ Η επιλογή ή δημιουργία των καταλληλότερων μεθόδων υπολογισμού που ικανοποιούν τις δύο παραπάνω αρχές.

- ✓ Η ανάδειξη μεθόδων επιλογής-υλοποίησης στα ΣΗΝΧ εναλλακτικών χαρτογραφικών απεικονίσεων με ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων και συνεπώς ακριβέστερη οπτικοποίηση της μορφής των απεικονιζόμενων περιοχών και των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων.

Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις καθορίστηκε ως βασικός σκοπός της διατριβής η διερεύνηση των μεθόδων επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας καθώς και των γενικών αρχών και μεθόδων επιλογής-υλοποίησης χαρτογραφικών απεικονίσεων με στόχους:

- Την ανάδειξη νέων βελτιωμένων μεθόδων και αλγορίθμων γεωδαιτικής επίλυσης, θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας, τόσο για την ακριβέστερη σχεδίαση του πλου, όσο και για την ακριβέστερη απεικόνιση δρομολογίων πλου στα Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη.
- Την ανάδειξη νέων μεθόδων αποτελεσματικότερης επιλογής-υλοποίησης στα ΣΗΝΧ εναλλακτικών χαρτογραφικών απεικονίσεων με ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων και συνεπώς ακριβέστερη οπτικοποίηση της μορφής των απεικονιζόμενων περιοχών και των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων (μεγαλύτερων των 250 ν.μ.).

Η δομή και το περιεχόμενο της διατριβής περιγράφονται συνοπτικά στο κείμενο της περίληψης μετά τον πρόλογο (σελ. iii, iv).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ

2.1 Επίλυση προβλημάτων ναυσιπλοΐας και απεικόνιση δρομολογίων πλου σε ΣΗΝΧ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται, αναλύονται και αξιολογούνται παραδοσιακές και νεότερες μέθοδοι επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας στη σφαίρα και στο ελλειψοειδές και προτείνονται νέες βελτιωμένες μέθοδοι και αλγόριθμοι γεωδαιτικής επίλυσης τόσο για την ακριβέστερη σχεδίαση του πλου, όσο και για την ακριβέστερη απεικόνιση δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων στα Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ).

Στην παραδοσιακή ναυτιλία οι μέθοδοι επίλυσης των ναυτιλιακών προβλημάτων στηρίζονται στη χρήση σφαιρικού μοντέλου προσέγγισης της επιφάνειας της γης αντί του ελλειψοειδούς που χρησιμοποιείται στη γεωδαισία. Οι μέθοδοι επίλυσης στην επιφάνεια της σφαίρας έχουν το πλεονέκτημα της απλούστευσης των υπολογισμών εις βάρος της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Οι μέθοδοι επίλυσης στο ελλειψοειδές παρέχουν υψηλότερη ακρίβεια, αλλά οι υπολογισμοί είναι πολυπλοκότεροι.

Οι απλοποιήσεις των υπολογισμών της παραδοσιακής ναυτιλίας ήταν κατά το παρελθόν αποδεκτές και αναπόφευκτες, λόγω των περιορισμών τόσο των διατιθέμενων υπολογιστικών εργαλείων όσο και της ακρίβειας των παλαιότερων μεθόδων προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης. Εν τούτοις οι σημερινές δυνατότητες των Δορυφορικών Συστημάτων Προσδιορισμού Θέσης και των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη τόσο για τον εντοπισμό όσο και για την απεικόνιση της θέσης του πλοίου με αδιανόητες για την παραδοσιακή ναυτιλία ακρίβειες, σε συνδυασμό με τις σημερινές δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, επιβάλλουν την εκτέλεση των ναυτιλιακών υπολογισμών με μεγαλύτερη ακρίβεια στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς.

Με την επίλυση των προβλημάτων ναυσιπλοΐας στο ελλειψοειδές είναι θεωρητικά δυνατό να επιτευχθεί γεωδαιτική ακρίβεια λίγων εκατοστών ή ακόμη και χιλιοστών του μέτρου. Εν τούτοις η επίδοξη τόσο υψηλής ακρίβειας για τον υπολογισμό των στοιχείων πλου δεν έχει καμία πρακτική σημασία.

Η επίλυση των προβλημάτων ναυσιπλοΐας στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς πρέπει να υλοποιείται με κατάλληλη προσαρμογή των μεθόδων της γεωδαισίας για την ορθολογική βελτίωση της ακρίβειας των παραδοσιακών μεθόδων της ναυτιλίας. Εν τούτοις έχει παρατηρηθεί ότι από την περίοδο της αρχικής δημιουργίας ναυτιλιακού λογισμικού για ενσωμάτωση σε δέκτες δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης τόσο για λόγους απλοποίησης όσο και για άλλους λόγους, το λογισμικό αυτό αρκετές φορές βασίζεται σε υπολογιστικές μεθόδους περιορισμένης ακρίβειας (Bennet 1996). Ακόμη και στο πρόσφατο παρελθόν έχει παρατηρηθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η επίλυση των θεμελιωδών προβλημάτων της ναυσιπλοΐας στηρίζεται σε απλοποιημένες μεθόδους και παραδοχές της κλασικής ναυτιλίας, όπως η προσέγγιση της μορφής της επιφάνειας της γης, σύμφωνα με την οποία η γη θεωρείται εν μέρει σφαίρα και εν μέρει ελλειψοειδές εκ περιστροφής (Earle 2006). Ο υπολογισμός της απόστασης πλου στη σφαίρα ενδέχεται να εμπεριέχει σφάλματα της τάξεως των 10 - 20 ν.μ (40 km περίπου) ως προς τα αποτελέσματα των υπολογισμών στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς (Pallikaris et al. 2009a).

Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, οι θεσμοθετημένες διεθνείς λειτουργικές προδιαγραφές των ΣΗΝΧ δεν αναφέρουν ειδικές απαιτήσεις για την ακρίβεια επίλυσης των προβλημάτων ναυσιπλοΐας, αλλά περιορίζονται σε ορισμένες γενικές απαιτήσεις με βάση την ακρίβεια της βάσης δεδομένων SENC οι οποίες δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμες (§ 1.3.2). Για το σκοπό της εκτελεσθείσας έρευνας οι απαιτήσεις ακριβείας των υπολογισμών καθορίστηκαν στις ρεαλιστικότερες για τη ναυσιπλοΐα τιμές του πίνακα 2.1 (Pallikaris et al. 2009a).

Η επίλυση προβλημάτων ναυσιπλοΐας σε συνδυασμό με τη χρήση δορυφορικών συστημάτων προσδιορισμού θέσης για ακριβή πλοήγηση σε πραγματικό χρόνο, όπως π.χ. για την αποφυγή συγκεκριμένων ναυτιλιακών κινδύνων σε περιορισμένα ύδατα, αποτελεί ανεξάρτητη διαδικασία, που απαιτεί ακρίβεια υπολογισμών μεγαλύτερη από τις τιμές του πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1

Απαιτήσεις ακρίβειας στοιχείων πλου στο ελλειψοειδές

Ακρίβεια γωνιών	0,1°
Ακρίβεια αποστάσεων	Ένα δέκατο του ν.μ. για αποστάσεις πλου μέχρι 250 ν.μ. Δύο δέκατα του ν.μ. για αποστάσεις πλου μεταξύ 250 και 500 ν.μ. Τρία δέκατα του ν.μ. για αποστάσεις πλου μεταξύ 500 και 2000 ν.μ. Ένα ν.μ. για αποστάσεις πλου μεγαλύτερες των 2000 ν.μ.

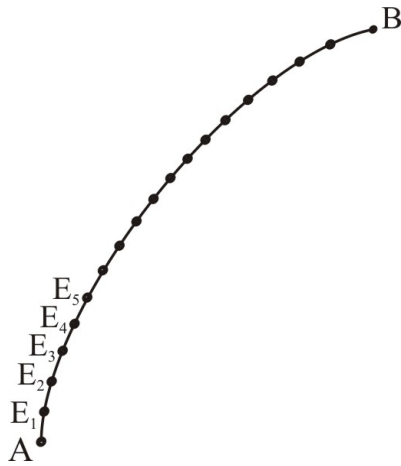
Στις μεθόδους ακριβούς επίλυσης των προβλημάτων ναυσιπλοΐας οι υπολογισμοί εκτελούνται συνήθως σε μια άλλη απλούστερη από το ελλειψοειδές βοηθητική επιφάνεια. Η βασική αρχή των μεθόδων αυτών στηρίζεται στην αντιστοιχία των σημείων της επιφάνειας του ελλειψοειδούς στην κατά περίπτωση χρησιμοποιούμενη βοηθητική επιφάνεια, η οποία αποτελεί μία παραμετροποίηση της επιφάνειας του ελλειψοειδούς. Με τη χρήση της βοηθητικής επιφάνειας, δεν γίνεται προσέγγιση της επιφάνειας του ελλειψοειδούς με κάποια άλλη επιφάνεια, αλλά αντιστοιχία των σημείων του ελλειψοειδούς στην παραμετροποιημένη επιφάνεια. Τα υπολογιζόμενα στην παραμετροποιημένη βοηθητική επιφάνεια στοιχεία πλου [π.χ. οι ορθογώνιες συντεταγμένες (x, y) σημείων της επίπεδης επιφάνειας του μερκατορικού χάρτη], ανάγονται στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς (π.χ. γεωδαιτικό πλάτος και γεωδαιτικό μήκος). Με τον τρόπο αυτό κατά την εκτέλεση των υπολογισμών στη βοηθητική επιφάνεια δεν χρησιμοποιούνται οι γεωδαιτικές συντεταγμένες (ϕ , λ) των σημείων αναχώρησης και προορισμού, αλλά οι κατά περίπτωση παραμετροποιημένες συντεταγμένες, όπως:

- Οι ορθογώνιες συντεταγμένες (x, y) σημείων της επίπεδης επιφάνειας του μερκατορικού χάρτη. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό της πορείας και της απόστασης του λοξοδρομικού πλου (Snyder 1987).
- Το ανηγμένο πλάτος της βοηθητικής γεωδαιτικής σφαίρας. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό του μήκους της γεωδαισιακής (Rapp 1987).

Για την επίλυση των προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (ευθέος και αντιστρόφου) αναπτύχθηκε νέα μέθοδος, στην οποία οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς και όχι σε βοηθητική παραμετροποιημένη επιφάνεια. Η μέθοδος αυτή σύμφωνα με τα αποτελέσματα συγκριτικών αξιολογήσεων (§ 2.5) παρέχει μεγαλύτερες ακρίβειες και ταχύτητες υπολογισμού σε σχέση με αντίστοιχες μεθόδους που χρησιμοποιούν παραμετροποιημένες επιφάνειες. Για τις ανάγκες της παραδοσιακής ναυσιπλοΐας συνήθως πραγματοποιείται αριθμητική επίλυση μόνο του αντίστροφου λοξοδρομικού προβλήματος, ενώ για το ευθύ λοξοδρομικό πρόβλημα χρησιμοποιούνται γραφικές μέθοδοι στο ναυτικό μερκατορικό χάρτη. Για τη ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ η ακριβής επίλυση του ευθέος προβλήματος είναι απαραίτητη για την απεικόνιση των δρομολογίων του λοξοδρομικού πλου στην οθόνη του συστήματος.

Για την επίλυση των προβλημάτων πλου ελάχιστης απόστασης στο ελλειψοειδές (αντίστροφο και ευθύ) αναπτύχθηκε νέα μέθοδος ολοκληρωμένης επίλυσης του προβλήματος πλου στη μέγιστη έλλειψη με απλούστερες υπολογιστικές διαδικασίες από αυτές που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της γεωδαισιακής και παρεχόμενη ακρίβεια, η οποία, για τις πρακτικές ανάγκες της ναυσιπλοΐας δεν υστερεί από τις μεθόδους υπολογισμού στη γεωδαισιακή γραμμή (Pallikaris and Latsas 2009).

Με τις προτεινόμενες νέες μεθόδους και αλγορίθμους επίλυσης του προβλήματος του λοξοδρομικού πλου στο ελλειψοειδές και του πλου στη μέγιστη έλλειψη προσδιορίζονται οι γεωδαιτικές συντεταγμένες μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων των αντίστοιχων δρομολογίων πλου για την ακριβή απεικόνιση των δρομολογίων αυτών στον ηλεκτρονικό χάρτη του συστήματος.



Η γραμμή AB αντιπροσωπεύει δρομολόγιο: λοξοδρομικού πλου, ή ορθοδρομικού πλου, ή πλου στη μέγιστη έλλειψη, ή πλου στη γεωδαισιακή γραμμή του ελλειψοειδούς.

Για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots επιλύεται το ευθύ πρόβλημα με γνωστά στοιχεία τις συντεταγμένες του αρχικού σημείου A, το αζιμούθιο και τις επιθυμητές αποστάσεις $S_1=AE_1, S_2=AE_2, S_3=AE_3, \dots$ των ενδιάμεσων σημείων από το αρχικό.

Σχ. 2.1: Υπολογισμός συντεταγμένων ενδιάμεσων σημείων πλου

Οι υπολογισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots των δρομολογίων πλου, ανεξάρτητα αν πρόκειται για ενδιάμεσα σημεία της λοξοδρομίας, της ορθοδρομίας, του τόξου της μέγιστης έλλειψης, ή της γεωδαισιακής, υλοποιείται με διαδοχικές επιλύσεις του ευθέως προβλήματος (Σχ. 2.1). Στις επιλύσεις αυτές οι γνωστές παράμετροι για την επίλυση του ευθέως προβλήματος είναι: οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του σημείου αναχώρησης A, το υπολογιζόμενο με το αντίστροφο πρόβλημα αζιμούθιο (στο σημείο αναχώρησης A) και οι επιθυμητές αποστάσεις των ενδιάμεσων σημείων από το αρχικό. Οι αποστάσεις αυτές καθορίζονται είτε με το επιθυμητό βήμα, π.χ. κάθε 100 ν.μ., είτε με τον επιθυμητό αριθμό των ενδιάμεσων σημείων του εξεταζόμενου δρομολογίου πλου (λοξοδρομία, τόξο μέγιστης έλλειψης κλπ.).

2.2 Συγκριτική μελέτη μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου

Όπως αναφέρθηκε και στην § 1.3.2 του πρώτου κεφαλαίου, στην παραδοσιακή ναυτιλία η αριθμητική επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου (αντίστροφο και ευθύ) ανάγεται στην επίλυση του επίπεδου ορθογώνιου τριγώνου του λοξοδρομικού πλου. Στο τρίγωνο αυτό (Σχ. 1.8α) η ρυμβοειδής γραμμή του ελλειψοειδούς (Σχ. 1.1) απεικονίζεται με ευθεία γραμμή (υποτείνουσα του τριγώνου). Το τρίγωνο του λοξοδρομικού πλου της παραδοσιακής ναυτιλίας λαμβάνει διαφορετικές μορφές, ανάλογα με τα μεγέθη που αντιπροσωπεύουν οι δύο κάθετες πλευρές Δx και Δy στις χρησιμοποιούμενες διαφορετικές μεθόδους επίλυσης. Οι αδυναμίες και τα σφάλματα των παραδοσιακών μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου οφείλονται στις χρησιμοποιούμενες παραδοχές για τον προσδιορισμό των δύο κάθετων πλευρών του τριγώνου. Οι παραδοχές αυτές απλοποιούν μεν την εκτέλεση των υπολογισμών, αλλά παράλληλα υποβαθμίζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων (§ 1.3.4).

Για την ακριβέστερη επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς οι υπολογισμοί εκτελούνται συνήθως, αλλά όχι πάντα, σε μια διαφορετική από το ελλειψοειδές επιφάνεια, η οποία αποτελεί παραμετροποίηση της επιφάνειας του ελλειψοειδούς (§ 2.1). Θεωρητικά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν αρκετές παραμετροποιημένες επιφάνειες του ελλειψοειδούς, όπως οι χρησιμοποιηθείσες από τον Wirpen (1988) επιφάνειες απεικόνισης όλων των σύμμορφων χαρτογραφικών απεικονίσεων (“Ορθής Μερκατορικής”, “Σύμμορφης Κωνικής” και “Αζιμουθιακής Στερεογραφικής”), στις οποίες η γραμμή της λοξοδρομίας σχηματίζει σταθερή γωνία με τις γραμμές των μεσημβρινών.

Η περισσότερο εύχρηστη και διαδεδομένη παραμετροποιημένη επιφάνεια επίλυσης των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου είναι η επιφάνεια της ορθής μερκατορικής απεικόνισης (Σχ. 4β). Οι σημαντικότερες μέθοδοι επίλυσης των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου στο ελλειψοειδές, που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την ανάπτυξη ναυτιλιακού λογισμικού, ανεξάρτητα αν η επίλυση εκτελείται σε κάποια παραμετροποιημένη επιφάνεια, ή απευθείας στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς, είναι:

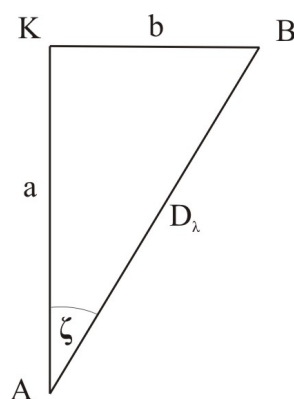
- η μέθοδος του Bowring (§ 2.2.1),
- η μέθοδος του Snyder (§ 2.2.2) και
- η μέθοδος του Bennet (§ 2.3.3).

Η μέθοδος που προτείνεται για την επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου σε ΣΗΝΧ και για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων των δρομολογίων του λοξοδρομικού πλου για την απεικόνιση των δρομολογίων αυτών στην οθόνη των ΣΗΝΧ παρουσιάζεται στην § 2.2.4.

Οι παραπάνω μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου μπορεί να θεωρηθεί ότι στο τελικό τους στάδιο ανάγονται στην επίλυση επίπεδων ορθογώνιων τριγώνων, όπως τα τρίγωνα του λοξοδρομικού πλου της παραδοσιακής ναυτιλίας. Με την θεώρηση αυτή διευκολύνεται τόσο η συνοπτική παρουσίαση των μεθόδων αυτών όσο και η συγκριτική τους αξιολόγηση, δεδομένου ότι για κάθε εξεταζόμενη μέθοδο επίλυσης αρκεί να παρουσιαστεί η μέθοδος καθορισμού των τιμών των δύο κάθετων πλευρών a και b του τριγώνου που κατά περίπτωση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των στοιχείων του λοξοδρομικού πλου, όπως επεξηγείται στη συνέχεια.

Για την παρουσίαση των εξεταζόμενων μεθόδων επίλυσης χρησιμοποιείται η γενική μορφή του τριγώνου της λοξοδρομίας του σχήματος 2.2, στο οποίο:

- η υποτείνουσα D_λ αντιπροσωπεύει πάντοτε την απόσταση του λοξοδρομικού πλου,
- η γωνία ζ αντιπροσωπεύει πάντοτε την σταθερή πορεία πλευσης του λοξοδρομικού πλου,
- η κάθετη πλευρά a στη διεύθυνση του μεσημβρινού λαμβάνει τιμές που καθορίζονται ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο επίλυσης και
- η κάθετη πλευρά b στη διεύθυνση του παραλλήλου, όταν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ορισμένων στοιχείων του λοξοδρομικού πλου λαμβάνει τιμή ίση με τη διαφορά $\Delta\lambda^1$ του σημείου αναχώρησης A και του σημείου προορισμού B .



Σχ. 2.2:

Τρίγωνο επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου

Το τρίγωνο του λοξοδρομικού πλου του σχήματος 2.2 αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τη συνοπτική και τυποποιημένη παρουσίαση μαθηματικών σχέσεων που χρησιμοποιούνται στις αριθμητικές μεθόδους επίλυσης των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου. Το τρίγωνο αυτό δεν αντιπροσωπεύει κατ' ανάγκη το μαθηματικό μοντέλο στο οποίο στηρίζεται η μέθοδος επίλυσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο, το μαθηματικό μοντέλο, από το οποίο προκύπτουν οι τύποι υπολογισμού μπορεί να είναι:

¹ Σε παλαιότερες μεθόδους επίλυσης η κάθετη πλευρά b στη διεύθυνση του παραλλήλου λαμβάνει, εκτός από την τιμή $\Delta\lambda$ και την τιμή της αποχώρησης p (§ 1.3.3) [Smart 1946], [Williams 1950], [Sadler 1956], [Williams 1981], [Hiraiwa 1987].

- Η επιφάνεια της ορθής μερκατορικής απεικόνισης. Στην περίπτωση αυτή οι μαθηματικές σχέσεις για την επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου προκύπτουν από την ανάλυση της γεωμετρίας της λοξοδρομίας στην επίπεδη επιφάνεια της ορθής μερκατορικής απεικόνισης και τις συναρτήσεις για τον ευθύ και τον αντίστροφο χαρτογραφικό μετασχηματισμό της απεικόνισης αυτής.
- Η επιφάνεια του ελλειψοειδούς. Στην περίπτωση αυτή οι μαθηματικές σχέσεις για την επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου προκύπτουν από την ανάλυση της γεωμετρίας της λοξοδρομίας στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς με μεθόδους της διαφορικής γεωμετρίας.
- Η επιφάνεια της σφαίρας. Στην περίπτωση αυτή οι μαθηματικές σχέσεις για την επίλυση των προβλημάτων του λοξοδρομικού πλου προκύπτουν από την ανάλυση της γεωμετρίας της λοξοδρομίας στην επιφάνεια της σφαίρας και τις συναρτήσεις για τον ευθύ και τον αντίστροφο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ελλειψοειδούς σε σφαίρα².

Στις τέσσερις (4) μεθόδους επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου που εξετάστηκαν, οι διαφορές εστιάζονται στον καθορισμό της τιμής της πλευράς a του τριγώνου επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (Σχ. 2.1). Η συνοπτική περιγραφή των μεθόδων αυτών παρουσιάζεται στις ενότητες 2.2.1 έως 2.1.4 και η συγκριτική τους αξιολόγηση στην § 2.5.

2.2.1 Μέθοδος του Bowring

α. Αντίστροφο λοξοδρομικό πρόβλημα

Για τον υπολογισμό της πορείας του λοξοδρομικού πλου με τη μέθοδο του Bowring (1985) χρησιμοποιείται η (2.2.1), στην οποία οι τιμές των πλευρών a και b του τριγώνου επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (Σχ. 2.2), είναι ίσες με τη διαφορά του ισομετρικού πλάτους $\Delta\psi^3$ και τη διαφορά του γεωγραφικού μήκους $\Delta\lambda$ αντιστοίχως (2.2.2) και (2.2.4). Με τις τιμές αυτές των πλευρών a και b του τριγώνου, η (2.2.1) για τον υπολογισμό της πορείας (διεύθυνσης) ζ μετασχηματίζεται στη (2.2.5). Η διαφορά του ισομετρικού πλάτους $\Delta\psi$ που χρησιμοποιείται στη (2.2.5) προσδιορίζεται από τη (2.2.6).

$$\zeta = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.2.1)$$

$$a = \Delta\psi = \psi_2 - \psi_1 \quad (2.2.2)$$

$$\text{όπου: } \psi = \sinh^{-1} \tan \varphi - e \sinh^{-1} \tan \alpha \quad (2.2.3)$$

$$= \sinh^{-1} \tan \varphi - e \tan h^{-1} \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = e \sin \varphi$$

$$b = \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \quad (2.2.4)$$

$$\zeta = \arctan\left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\psi}\right) \quad (2.2.5)$$

$$\Delta\psi = \sinh^{-1}\left(2 \cos \varphi_m \sec \varphi_1 \sec \varphi_2 \sin \frac{\Delta\varphi}{2}\right) - e \sinh^{-1}\left(2 e \cos \varphi_m \sec \alpha_1 \sec \alpha_2 \sin \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \quad (2.2.6)$$

$$\text{όπου: } \varphi_m = \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad \sin \alpha_1 = e \sin \varphi_1 \quad \text{και} \quad \sin \alpha_2 = e \sin \varphi_2$$

² Οι μέθοδοι μετασχηματισμού της επιφάνειας του ελλειψοειδούς σε σφαίρα παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3.

³ Ο όρος ισομετρικό πλάτος (isometric latitude) στην εργασία του Bowring (1985) αντιστοιχεί στην τιμή y της συνάρτησης $y=f_1(\varphi, \lambda)$ του χαρτογραφικού μετασχηματισμού της ορθής μερκατορικής απεικόνισης.

Για τον υπολογισμό της απόστασης του λοξοδρομικού πλου χρησιμοποιείται η (2.2.7), στην οποία η τιμή της πλευράς a του τριγώνου (Σχ. 2.2) είναι ίση με το μήκος M_1^2 του τόξου του μεσημβρινού που περιέχεται μεταξύ των παραλλήλων των σημείων αναχώρησης και προορισμού (2.2.8).

Στη μέθοδο του Bowring το μήκος M_1^2 του τόξου του μεσημβρινού μεταξύ δύο σημείων Σ_1 και Σ_2 προσδιορίζεται από τη (2.2.9), και η παράμετρος ζ προσδιορίζεται από τη (2.2.5). Με την τιμή αυτή της πλευράς a του τριγώνου, η (2.2.7) για τον υπολογισμό της πορείας ζ μετασχηματίζεται στη (2.2.10).

$$D_\lambda = a \sec \zeta \quad (2.2.7)$$

$$a = M_1^2 \quad (2.2.8)$$

$$M_1^2 = a [A_0 \Delta\varphi - A_2 \cos(2\varphi_m) \sin(\Delta\varphi) + A_4 \cos(4\varphi_m) \sin(2\Delta\varphi) - A_6 \cos(6\varphi_m) \sin(3\Delta\varphi) + A_8 \cos(8\varphi_m) \sin(4\Delta\varphi)] \quad (2.2.9)$$

$$A_0 = 1 - \frac{1}{4}e^2 - \frac{3}{64}e^4 - \frac{5}{256}e^6 - \frac{175}{16384}e^8 \dots$$

$$A_2 = \frac{3}{8} \left(e^2 + \frac{1}{4}e^4 + \frac{15}{128}e^6 + \frac{35}{512}e^8 \dots \right)$$

$$A_4 = \frac{15}{256} \left(e^4 + \frac{3}{4}e^6 + \frac{35}{64}e^8 \dots \right)$$

$$A_6 = \frac{35}{3072}e^6 + \frac{175}{12228}e^8 \dots$$

$$A_8 = \frac{315}{131072}e^8 \dots$$

$$D_\lambda = M_1^2 \sec \zeta \quad (2.2.10)$$

Η (2.2.10) δίνει αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας για τον υπολογισμό της απόστασης του λοξοδρομικού πλου. Εν τούτοις δημιουργείται ένα σημαντικό πρόβλημα, όταν η τιμή της πορείας του λοξοδρομικού προσεγγίζει τις τιμές 90° και 270° , οπότε η (2.2.10) παρουσιάζει σημαντική αστάθεια στον υπολογισμό της απόστασης D_λ . Στις περιπτώσεις αυτές το πρόβλημα παρακάμπτεται, αν αλλαχτεί η τιμή του γεωγραφικού πλάτους ενός από τα δύο σημεία κατά μία μικρή ποσότητα.

Στην ειδική περίπτωση του λοξοδρομικού πλου σε έναν παράλληλο πλάτους ($\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ και $\zeta = 90^\circ$ ή 180°), ο υπολογισμός της απόστασης του λοξοδρομικού πλου εκτελείται με το γνωστό από τη γεωδαισία τύπο (2.2.11) για τον υπολογισμό του μήκους του τόξου ενός παραλλήλου πλάτους φ .

$$D_\lambda = R_p \Delta\lambda = R_p \cos\varphi \Delta\lambda \quad (2.2.11)$$

$$R_p = R_M \cos\varphi \quad (2.2.12)$$

$$R_M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2\sin^2\varphi)^{3/2}} \quad (2.2.13)$$

όπου:

– R_p είναι η ακτίνα καμπυλότητας του παραλλήλου πλάτους που δίνεται από τη (2.2.12) και

– R_M η ακτίνα καμπυλότητας του μεσημβρινού που δίνεται από τη (2.2.13).

β. Ευθύ λοξοδρομικό πρόβλημα:

Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων φ_2 και λ_2 του σημείου προορισμού χρησιμοποιούνται οι (2.2.14) και (2.2.15).

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi \quad (2.2.14)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda \quad (2.2.15)$$

Στη (2.2.14) η διαφορά γεωγραφικού πλάτους $\Delta\varphi$ προσδιορίζεται από τη (2.2.9) που δίνει το μήκος του τόξου του μεσημβρινού με διαδοχικές προσεγγίσεις⁴.

Στη (2.2.15) η διαφορά γεωγραφικού μήκους $\Delta\lambda$ προσδιορίζεται από τη (2.2.16), στην οποία η διαφορά του ισομετρικού πλάτους $\Delta\psi = \psi_B - \psi_A$ προσδιορίζεται από τη (2.2.6) για τις τιμές του γεωγραφικού πλάτους των σημείων αναχώρησης και προορισμού (φ_1, φ_2).

$$\Delta\lambda = \Delta\psi \tan\zeta \quad (2.2.16)$$

2.2.2 Μέθοδος του Snyder

Στη μέθοδο του Snyder (1987), ο υπολογισμός της πορείας ζ και της απόστασης D_λ του λοξοδρομικού πλου στηρίζεται στις (2.2.1) και (2.2.7) που χρησιμοποιήθηκαν και στη μέθοδο του Bowring (§ 2.2.1) με τις διαφοροποιήσεις και συμπληρώσεις που αναφέρονται στη συνέχεια.

α. Αντίστροφο λοξοδρομικό πρόβλημα:

Για τον υπολογισμό της πορείας του λοξοδρομικού πλου με τη (2.2.1) οι τιμές των πλευρών a και b του τριγώνου (Σχ. 2.2) αντιστοιχούν στις διαφορές ΔY και ΔX των ορθογώνιων συντεταγμένων (x, y) της ορθής μερκατορικής απεικόνισης (2.2.17). Οι διαφορές ΔX και ΔY προσδιορίζονται από τις συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού της ορθής μερκατορικής απεικόνισης (2.2.18) και (2.2.19).

$$\tan\zeta = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (2.2.17)$$

$$x = a(\lambda - \lambda_0) \quad (2.2.18)$$

$$y = \frac{a}{2} \ln \left[\left(\frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} \right) \left(\frac{1 - e \sin\varphi}{1 + e \sin\varphi} \right)^e \right] \quad (2.2.19)$$

Όπως και στη μέθοδο του Bowring (§ 2.2.1) για τον υπολογισμό της απόστασης D_λ του λοξοδρομικού πλου χρησιμοποιείται η (2.2.10), στην οποία όμως η τιμή της πλευράς M_1^2 του τριγώνου προσδιορίζεται από τις (2.2.20) και (2.2.21).

$$M_1^2 = M^{(2)} - M^{(1)} \quad (2.2.20)$$

Όπου: $M^{(1)}$ και $M^{(2)}$ είναι οι τιμές του μήκους του τόξου του μεσημβρινού από τον ισημερινό μέχρι τα σημεία Σ_1 και Σ_2 αντιστοίχως.

Οι τιμές των $M^{(1)}$ και $M^{(2)}$ υπολογίζονται από την (2.2.21)

$$M = a(A_0 \varphi - A_2 \sin 2\varphi + A_4 \sin 4\varphi - A_6 \sin 6\varphi + \dots) \quad (2.2.21)$$

Στην (2.2.21) οι συντελεστές A_0, A_2, A_4, A_6 κλπ. είναι οι ίδιοι με τους αντίστοιχους συντελεστές της (2.2.9).

Στην ειδική περίπτωση πλου κοντά σε έναν παράλληλο πλάτους ($\varphi_1 \approx \varphi_2 \approx \varphi$) ο υπολογισμός της απόστασης D_λ του λοξοδρομικού πλου πραγματοποιείται με τη (2.2.22), η οποία ουσιαστικά αποτελεί μία διαφορετική μορφή της (2.2.12).

$$D_\lambda = \frac{a \Delta\lambda \cos\varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (2.2.22)$$

⁴ Η εφαρμογή της μεθόδου των διαδοχικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό της διαφοράς του γεωγραφικού πλάτους $\Delta\varphi$ από τη σχέση που δίνει το μήκος του τόξου μεσημβρινού στο ελλειψοειδές, περιγράφεται αναλυτικά στην § 2.2.4 με χρήση σχέσης υπολογισμού διαφορετικές από τη (2.2.9). Εν τούτοις η τεχνική είναι ακριβώς η ίδια.

β. Ευθύ λοξοδρομικό πρόβλημα:

Όπως και στη μέθοδο του Bowring (§ 2.2.1) για τον υπολογισμό των συντεταγμένων φ_2 και λ_2 του σημείου προορισμού χρησιμοποιούνται οι (2.2.14) και (2.2.15).

Για τον υπολογισμό του φ_2 στη (2.2.14) η διαφορά γεωγραφικού πλάτους $\Delta\varphi$ προσδιορίζεται από τη (2.2.21) που δίνει το μήκος του τόξου του μεσημβρινού με διαδοχικές προσεγγίσεις⁵.

Για τον υπολογισμό του λ_2 στη (2.2.15) η διαφορά γεωγραφικού μήκους $\Delta\lambda$ προσδιορίζεται από τη (2.2.23), στην οποία η διαφορά του ισομετρικού πλάτους $\Delta Y = y_2 - y_1$ προσδιορίζεται από τη (2.2.17) για τις τιμές του γεωγραφικού πλάτους των σημείων αναχώρησης και προορισμού (φ_1, φ_2).

$$\Delta\lambda = \Delta Y \tan \zeta \quad (2.2.23)$$

Στη μέθοδο του Snyder, για τον υπολογισμό του γεωγραφικού πλάτους φ_2 του σημείου προορισμού, εκτός από τη μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων, προτείνεται και η χρήση σχέσης του αντίστροφου μετασχηματισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού M από τον ισημερινό μέχρι ένα σημείο γεωγραφικού πλάτους φ της μορφής $\varphi = f(M)$. Η σχέση του αντίστροφου μετασχηματισμού του τόξου του μεσημβρινού M από τον ισημερινό μέχρι ένα σημείο γεωγραφικού πλάτους φ που προτείνεται από τον Snyder⁶ είναι πολύπλοκη και αντί αυτής, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν απλούστερες σχέσεις, όπως αυτή που προτείνεται από τον Bennett (§ 2.2.3).

2.2.3 Μέθοδος του Bennett

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στο ναυτιλιακό λογισμικό Navpack (Hohenkerk and Yallop 2004), το οποίο αναπτύχθηκε από κοινού από το βρετανικό αστεροσκοπείο και το ναυτικό παρατηρητήριο των ΗΠΑ. Στην εργασία του Bennett (1996) παρέχονται πρακτικές οδηγίες για την ανάπτυξη και υλοποίηση αλγορίθμων επίλυσης λοξοδρομικών προβλημάτων στο ελλειψοειδές. Οι οδηγίες αυτές αποτελούν κωδικοποίηση και βελτίωση της μεθόδου του Snyder (§ 2.2.2).

Εκτός από την τυποποίηση των απαιτούμενων υπολογισμών για την ευχερέστερη σύνταξη ναυτιλιακού λογισμικού, η καινοτομία της εργασίας του Bennett αφορά τη δυνατότητα εναλλακτικού υπολογισμού του γεωγραφικού πλάτους φ_2 του σημείου προορισμού (ευθύ πρόβλημα) χωρίς τη χρήση της μεθόδου των διαδοχικών προσεγγίσεων⁵, αλλά με τη (2.2.24) του αντίστροφου μετασχηματισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού M από τον ισημερινό μέχρι ένα σημείο γεωγραφικού πλάτους φ , η οποία είναι απλούστερη από αντίστοιχη σχέση που προτείνεται από τον Snyder για το σκοπό αυτό.

Με τη μέθοδο αυτή το γεωγραφικό πλάτος φ_2 του σημείου προορισμού προσδιορίζεται από την (2.2.24) με τιμή του μήκους του τόξου μεσημβρινού M_2 , η οποία προσδιορίζεται από τη (2.2.25). Στη (2.2.25) η παράμετρος M_1 προσδιορίζεται από τη (2.2.21).

$$\varphi = \frac{1852 M^2}{a A_0} + \frac{A_2}{A_0} \sin 2T + \frac{7 A_4}{5 A_0} \sin 4T + \frac{11 A_6}{5 A_0} \sin 6T + \quad (2.2.24)$$

Όπου: T είναι ο πρώτος όρος του αθροίσματος $\left(\frac{1852 M_2}{a A_0} \right)$

$$M_2 = M_1 + D_\lambda \cos \zeta \quad (2.2.25)$$

⁵ Η εφαρμογή της μεθόδου των διαδοχικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό της διαφοράς του γεωγραφικού πλάτους $\Delta\varphi$ από τη σχέση που δίνει το μήκος του τόξου μεσημβρινού στο ελλειψοειδές, περιγράφεται αναλυτικά στην § 2.2.4 με χρήση σχέσης υπολογισμού διαφορετική από τη (2.2.21). Εν τούτοις η τεχνική είναι ακριβώς η ίδια.

⁶ Snyder (1987): Σελίδα 17 σχέση (3-26).

2.2.4 Προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου

Η προτεινόμενη μέθοδος αποτελεί βελτίωση των μεθόδων Bowring, Snyder και Bennett και παρέχει ολοκληρωμένη λύση για την επίλυση τόσο του αντίστροφου προβλήματος που χρησιμοποιείται κατά τη σχεδίαση του πλου όσο και του ευθέος προβλήματος για τον ακριβή υπολογισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων για την απεικόνιση δρομολογίων πλου στον ηλεκτρονικό χάρτη.

α. Αντίστροφο λοξοδρομικό πρόβλημα:

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε καταρχάς με την ανάλυση της γεωμετρίας της λοξοδρομίας στο ελλειψοειδές (Σχ. 2.3). Από την ανάλυση αυτή, η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα Α, προκύπτει η (2.2.26) για τον υπολογισμό της πορείας (διεύθυνσης) [Pallikaris et al. 2009a]. Η (2.2.26) ουσιαστικά ταυτίζεται με τη (2.2.17) της μεθόδου του Snyder (§ 2.2.2) που στηρίζεται στη χρήση των συναρτήσεων του χαρτογραφικού μετασχηματισμού της ορθής μερκατορικής απεικόνισης.

$$\tan\zeta = \frac{\Delta\lambda}{\ln \left[\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \left(\frac{1 - e \sin\varphi}{1 + e \sin\varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right]}_{-\varphi_1}^{\varphi_2} \quad (2.2.26)$$

Όπως και στις άλλες μεθόδους, για τον υπολογισμό της απόστασης D_λ του λοξοδρομικού πλου χρησιμοποιείται η (2.2.7), με τιμή της πλευράς a του τριγώνου ίση με το μήκος M_1^2 του τόξου του μεσημβρινού, το οποίο περιέχεται μεταξύ των παραλλήλων πλάτους των σημείων αναχώρησης και προορισμού (Σ_1 και Σ_2) που υπολογίζεται από την (2.2.20). Η διαφορά της προτεινόμενης μεθόδου στο σημείο αυτό είναι ότι οι τιμές των $M^{(1)}$ και $M^{(2)}$ υπολογίζονται από την (2.2.27), η οποία παρέχει ελαφρώς καλύτερη ακρίβεια.

$$M = a(1 - e^2)(M_0\varphi - M_2\sin 2\varphi + M_4\sin 4\varphi - M_6\sin 6\varphi + M_8\sin 8\varphi + \dots) \quad (2.2.27)$$

$$M_0 = 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 + \dots$$

$$M_2 = \frac{3}{8}e^2 + \frac{15}{32}e^4 + \frac{525}{1024}e^6 + \frac{2205}{4096}e^8$$

$$M_4 = \frac{15}{256}e^4 + \frac{105}{1024}e^6 + \frac{2205}{8820}e^8 + \dots$$

$$M_6 = \frac{35}{3072}e^6 + \frac{315}{12288}e^8 + \dots$$

$$M_8 = \frac{315}{130784}e^8 + \dots$$

Στην ειδική περίπτωση πλου κοντά σε έναν παράλληλο πλάτους ($\varphi_1 \approx \varphi_2 \approx \varphi$) ο υπολογισμός της απόστασης D_λ του λοξοδρομικού πλου πραγματοποιείται με τη (2.2.22).

β. Ευθύ λοξοδρομικό πρόβλημα:

Όπως και στις μεθόδους Bowring, Snyder και Bennett για τον υπολογισμό των συντεταγμένων φ_2 και λ_2 του σημείου προορισμού χρησιμοποιούνται οι (2.2.14) και (2.2.15).

Για τον υπολογισμό του φ_2 στη (2.2.14) η διαφορά γεωγραφικού πλάτους $\Delta\varphi$ προσδιορίζεται από τη (2.2.27) που δίνει το μήκος του τόξου του μεσημβρινού με διαδοχικές προσεγγίσεις ως εξής:

Βήμα 1^ο: Υπολογίζεται το μήκος M_1 του τόξου του μεσημβρινού, από τον ισημερινό μέχρι τον παράλληλο πλάτους φ_1 με τη (2.2.27).

Βήμα 2^ο: Υπολογίζεται το μήκος M_1^2 του τόξου του μεσημβρινού μεταξύ των παραλλήλων πλάτους φ_1 και φ_2 με τη (2.2.28).

Βήμα 3^ο: Υπολογίζεται το μήκος M_2 του τόξου του μεσημβρινού, από τον ισημερινό μέχρι τον παράλληλο πλάτους φ_2 με τη (2.2.29).

Βήμα 4^ο: Υπολογίζεται η τιμή του τόξου M_2 , από τον ισημερινό μέχρι τον παράλληλο πλάτους φ_2 , αυτή τη φορά με τη (2.2.27) και με μία πρώτη προσέγγιση της τιμής φ_2 σε μοίρες ίση με $M_2/60$.

Βήμα 5^ο: Υπολογίζεται η δεύτερη (ακριβέστερη) προσέγγιση της τιμής του φ_2 ίση με $M_2/60$, αλλά αυτή τη φορά με την τιμή του M_2 που υπολογίστηκε στο 4^ο βήμα.

Βήμα 6^ο: Επαναλαμβάνεται το 5^ο βήμα για τον υπολογισμό της τρίτης ακριβέστερης προσέγγισης της τιμής του φ_2 .

Συνήθως δύο έως τρεις προσεγγίσεις είναι αρκετές για τον ακριβή προσδιορισμό του φ_2 .

$$M_1^2 = D_\lambda \cos \zeta \quad (2.2.28)$$

$$M^{(2)} = M^{(1)} + M_1^2 \quad (2.2.29)$$

Για τον υπολογισμό του λ_2 στη (2.2.15), η διαφορά γεωγραφικού μήκους $\Delta\lambda$ προσδιορίζεται από τη (2.2.30), στην οποία το μήκος του τόξου του μεσημβρινού $M_1^2 = M^{(2)} - M^{(1)}$ προσδιορίζεται από τη (2.2.20) με τιμές των $M^{(1)}$ και $M^{(2)}$ που υπολογίζονται από τη (2.2.27).

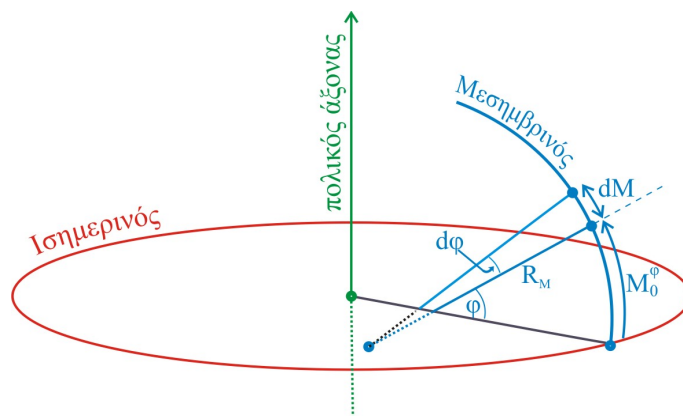
$$\Delta\lambda = M_1^2 \tan \zeta \quad (2.2.30)$$

Η αριθμητική αξιολόγηση της ανωτέρω προτεινόμενης μεθόδου επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου παρουσιάζεται στην § 2.2.5.

2.2.5 Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου

Για την αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθόδου επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (§ 2.2.4) εκτελέστηκε καταρχήν συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων υπολογισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού. Ο υπολογισμός αυτός χρησιμοποιείται ως προαπαιτούμενος και στις τέσσερις μεθόδους επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου που εξετάστηκαν. Το μήκος του τόξου του μεσημβρινού (Σχ. 2.3) προσδιορίζεται από το ελλειπτικό επικαμπύλιο ολοκλήρωμα δευτέρου βαθμού της (2.2.31) (Βέης κ.α. 1992). Το ολοκλήρωμα αυτό δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί με κλειστούς τύπους, αλλά μπορεί να υλοποιηθεί με τις βασικές μεθόδους αριθμητικής ολοκλήρωσης, όπως η μέθοδος Simpson, η μέθοδος του τραπεζοειδούς κλπ. (Torge 2001 97). Συνήθως υλοποιείται ευκολότερα με τη χρήση σειρών (Snyder 1987 37).

$$M_0^\varphi = \int_0^\varphi \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin \varphi)^{\frac{3}{2}}} d\varphi \quad (2.2.31)$$



Σχ. 2.3: Μήκος τόξου μεσημβρινού

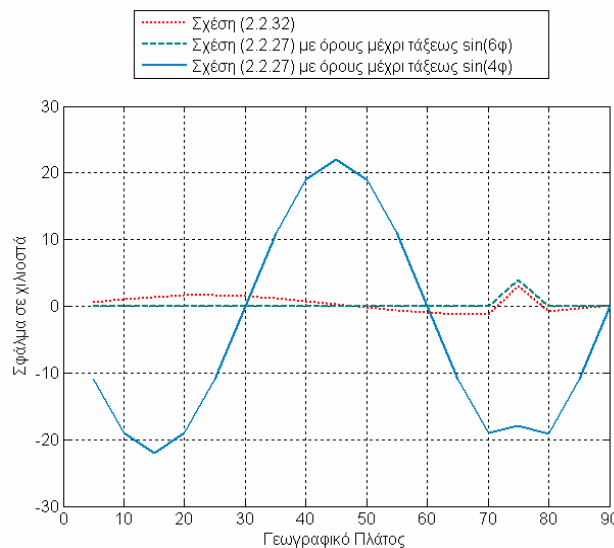
Παραδείγματα σειρών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού είναι οι (2.2.9), (2.2.20) και (2.2.26) που χρησιμοποιούνται στις εξετασθείσες τέσσερις μεθόδους επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (§ 2.2.1, § 2.2.2, § 2.2.3 και § 2.2.4) καθώς και η (2.2.32) [Bowring 1983b]. Εκτός από τις σειρές αυτές, για τον υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού στο ελλειψοειδές WGS-84, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι σχέσεις 2.2.33 και 2.2.34, στις οποίες οι τιμές των ϕ_A και ϕ_B είναι σε μοίρες και η τιμή M_A^B σε μέτρα και ναυτικά μίλια αντιστοίχως.

$$M_0^\phi = A_1 \left(\phi - B_1 \frac{3}{2} n \sin 2\phi - \frac{15}{16} n^2 \sin 4\phi + \frac{35}{48} n^3 \sin 6\phi - \frac{315}{512} n^4 \sin 8\phi + \dots \right) \quad (2.2.32)$$

$$A_1 = \frac{a(1 + \frac{1}{8}n^2)^2}{1+n}$$

$$B_1 = 1 - \frac{3}{8}n^2$$

$$n = \frac{a-b}{a+b}$$



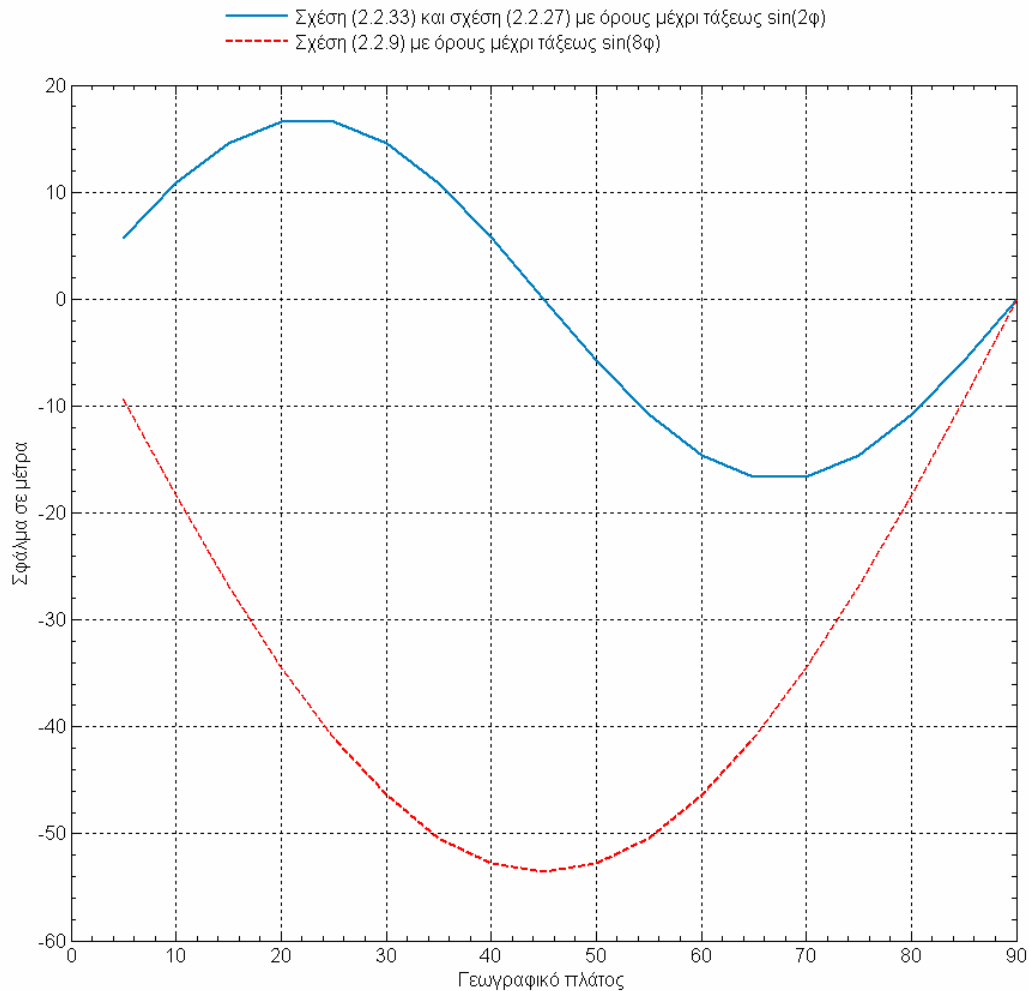
Οι τιμές των σφαλμάτων αντιστοιχούν στις διαφορές από τις τιμές που προκύπτουν από τη (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(8\phi)$

	Σχέση (2.2.32)	Σχέση (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(6\phi)$	Σχέση (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(4\phi)$
Μέσο σφάλμα	0,43mm	0,22 mm	-4,4 mm
Μέγιστο σφάλμα	2,98 mm	4 mm	21,98 mm
Ελάχιστο σφάλμα	-1,2 mm	0,03mm	-21,95mm

Σχ. 2.4: Σφάλματα υπολογισμού μήκους μεσημβρινού με αριθμητικές σειρές που παρέχουν ακρίβεια μεγαλύτερη από ένα μέτρο

$$M_A^B = 111132,95251\Delta\varphi - 16038,50861 \left(\sin\left(\frac{\phi_B \cdot \pi}{90}\right) - \sin\left(\frac{\phi_A \cdot \pi}{90}\right) \right) \quad (2.2.33)$$

$$M_A^B = 60.006994 - 8.660102 \left(\sin\left(\frac{\phi_B \cdot \pi}{90}\right) - \sin\left(\frac{\phi_A \cdot \pi}{90}\right) \right) \quad (2.2.34)$$



Οι τιμές των σφαλμάτων αντιστοιχούν στις διαφορές από τις τιμές που προκύπτουν από τη (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(8\varphi)$

	Σχέση (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(2\varphi)$	Σχέση (2.2.9)	Σχέση (2.2.33)
Μέσο σφάλμα	0,004 m	-34,032 m	0,003 m
Μέγιστο σφάλμα	16,57 m	0	16,57 m
Ελάχιστο σφάλμα	-16,58 m	-53,594 m	-16,59 m

Σχ. 2.5: Σφάλματα υπολογισμού μήκους μεσημβρινού με αριθμητικές σειρές που παρέχουν ακρίβεια αποδεκτή για τη ναυσιπλοΐα

Για την αξιολόγηση των διαφόρων σειρών που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού εκτελέστηκε ειδική μελέτη (Pallikaris et al. 2009b). Η μελέτη αυτή βασίστηκε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων υπολογισμού του μήκους δεκαεννέα τόξων μεσημβρινού, τα οποία ορίζονται με αρχικό σημείο στον ισημερινό και τελικό σε σημεία που αντιστοιχούν σε γεωγραφικό πλάτος αυξανόμενο ανά 5° μέχρι το πλάτος των 90° (Πίνακας 2.2). Τα βασικά συμπεράσματα της αξιολόγησης αυτής φαίνονται στον πίνακα 2.2 και στα σχήματα 2.4, 2.5 και 2.6 και συνοψίζονται στα εξής:

- Οι υπολογισμοί που εκτελούνται με τις (2.2.21), (2.2.27) και (2.2.32) παρέχουν πρακτικά τα ίδια αποτελέσματα. Η (2.2.27) παρέχει ελαφρώς καλύτερη ακρίβεια γιατί περιέχει περισσότερους όρους από τις υπόλοιπες και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ως βάση αναφοράς (με όρους μέχρι και τάξεως $\sin 8\varphi$) για την σύγκριση των υπολοίπων (Σχ. 2.4).
- Οι διαφορές μεταξύ των υπολογισμών με τη (2.2.27) με όρους μέχρι και τάξεως $\sin 4\varphi$ από την πλήρη μορφή με όρους μέχρι και τάξεως $\sin 8\varphi$ είναι της τάξεως των 5mm (Σχ. 2.4). Συνεπώς δεν έχει πρακτική σημασία η χρήση των όρων τάξεως $\sin 6\varphi$ και $\sin 8\varphi$.
- Οι υπολογισμοί με τη (2.2.9), στην οποία χρησιμοποιείται η διαφορά γεωγραφικού πλάτους $\Delta\varphi$ καθώς και το μέσο πλάτος φ_{μ} των δύο σημείων που ορίζουν την αρχή και το πέρας του μεσημβρινού τόξου, παρουσιάζουν μέγιστη απόκλιση 55 μέτρων από τους υπολογισμούς με τις (2.2.27) και (2.2.32) [Σχ. 2.4 και Σχ. 2.5].
- Για τον υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού στις επιλύσεις των προβλημάτων πλου επαρκεί η χρήση όρων μέχρι και τάξεως $\sin 2\varphi$. Η επιδίωξη μεγαλύτερης ακρίβειας δεν έχει καμία πρακτική σημασία.
- Οι υπολογισμοί με τη (2.2.27) με όρους μέχρι και τάξεως $\sin(2\varphi)$, καθώς και οι υπολογισμοί με τη (2.2.33) παρουσιάζουν μέγιστο σφάλμα 17 μέτρων (Σχ. 2.5). Το σφάλμα αυτό είναι μικρότερο από αυτό της (2.2.9) ακόμη και αν στη (2.2.9) χρησιμοποιηθούν όροι μέχρι και τάξεως $\sin 8\varphi$.
- Οι δοκιμές της ταχύτητας εκτέλεσης των υπολογισμών έδειξαν ότι οι υπολογισμοί με τις προτεινόμενες νέες σχέσεις (2.2.33) και (2.2.34) είναι 227% ταχύτεροι από τους υπολογισμούς με τη (2.2.27) με όρους μέχρι και τάξεως $\sin 2\varphi$, 383% ταχύτεροι από τους υπολογισμούς με τη (2.2.27) με όρους μέχρι και τάξεως $\sin 8\varphi$ και 384 % ταχύτεροι από τους υπολογισμούς με τη (2.2.9), στην οποία χρησιμοποιείται η διαφορά γεωγραφικού πλάτους $\Delta\varphi$ καθώς και το μέσο πλάτος φ_{μ} .
- Οι υπολογισμοί με τη (2.2.33) είναι απλούστεροι και ταχύτεροι από τους υπολοίπους (Σχ. 2.6).

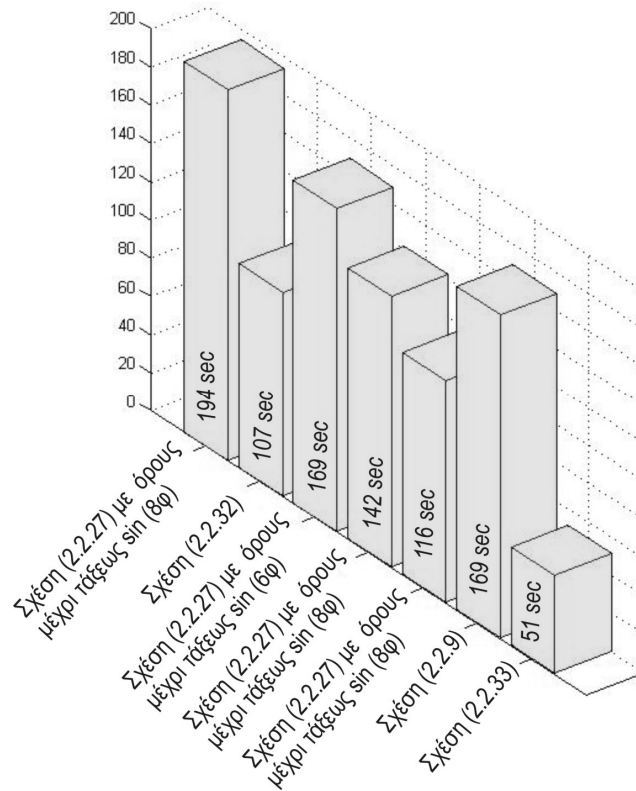
Από την ανωτέρω αξιολόγηση των μεθόδων υπολογισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού που χρησιμοποιούνται και στις τέσσερις μεθόδους επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου που εξετάστηκαν, προέκυψε ότι οι υπολογισμοί της προτεινόμενης μεθόδου/ αλγορίθμου επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (§ 2.2.4) είναι ακριβέστεροι και ταχύτεροι από αυτούς των υπόλοιπων τριών μεθόδων (§ 2.2.1, § 2.2.4 και § 2.2.4). Ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα αυτά εκτελέστηκαν και αριθμητικές δοκιμές επίλυσης σε δέκα (10) επιλεγμένα δρομολόγια πλου, τα οποία καλύπτουν αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις πλόων αποστάσεων από 300 ν.μ. μέχρι 9.000 ν.μ. περίπου σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές της υδρογείου (Σχ. 2.7). Τα σημεία αναχώρησης και προορισμού των δρομολογίων αυτών αντιστοιχούν στα σημεία εισόδου διαφόρων λιμένων ή χαρακτηριστικών για τη ναυσιπλοΐα μεγάλων αποστάσεων γεωγραφικών σημείων πλου (Πίνακας 2.3).

⁷ Η (2.2.27) περιέχει μέχρι και τάξεως e^{10} όρους, ενώ η (2.2.21) περιέχει μέχρι και τάξεως e^8 όρους. [Οι συντελεστές M_0, M_2, M_4 κλπ. της (2.2.27) με όρους τάξεως e^8 πολλαπλασιάζονται με $(1-e^2)$, ενώ οι συντελεστές A_0, A_2, A_4, \dots της (2.2.21) περιέχουν μέχρι και τάξεως e^8 όρους].

Πίνακας 2.2

Σύγκριση αποτελεσμάτων υπολογισμού μήκους τόξου μεσημβρινού με σειρές
(τιμές σε μέτρα)

Τόξο μεσημβρινού (από τον ισημερινό μέχρι γεωγραφικό πλάτος φ)	Σχέση (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin 8\varphi$	Σχέση (2.2.32) με όρους μέχρι τάξεως $\sin 8\varphi$	Σχέση (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(6\varphi)$	Σχέση (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(4\varphi)$	Σχέση (2.2.27) με όρους μέχρι τάξεως $\sin(6\varphi)$	Σχέση (2.2.7)	Σχέση (2.2.33)
5°	552.885,45156	552.885,45102	552.885,45154	552.885,46253	552.879,705	552.894,758	552.879,705
10°	1.105.854,83418	1.105.854,83315	1.105.854,83415	1.105.854,85318	1.105.844,032	1.105.873,163	1.105.844,032
15°	1.658.989,59067	1.658.989,58928	1.658.989,59065	1.658.989,61263	1.658.975,034	1.659.016,386	1.658.975,033
20°	2.212.366,25562	2.212.366,25402	2.212.366,25561	2.212.366,27464	2.212.349,696	2.212.400,704	2.212.349,696
25°	2.766.054,17059	2.766.054,16896	2.766.054,17060	2.766.054,18159	2.766.037,603	2.766.095,225	2.766.037,602
30°	3.320.113,39921	3.320.113,39772	3.320.113,39924	3.320.113,39924	3.320.098,821	3.320.159,812	3.320.098,819
35°	3.874.592,90264	3.874.592,90145	3.874.592,90267	3.874.592,89168	3.874.582,071	3.874.643,264	3.874.582,070
40°	4.429.529,03085	4.429.529,03009	4.429.529,03087	4.429.529,01184	4.429.523,254	4.429.581,810	4.429.523,253
45°	4.984.944,37798	4.984.944,37770	4.984.944,37798	4.984.944,35600	4.984.944,356	4.984.997,972	4.984.944,354
50°	5.540.847,04118	5.540.847,04139	5.540.847,04116	5.540.847,02212	5.540.852,780	5.540.899,821	5.540.852,778
55°	6.097.230,31218	6.097.230,31283	6.097.230,31215	6.097.230,30116	6.097.241,122	6.097.280,675	6.097.241,120
60°	6.654.072,81821	6.654.072,81920	6.654.072,81818	6.654.072,81818	6.654.087,397	6.654.119,233	6.654.087,395
65°	7.211.339,11585	7.211.339,11702	7.211.339,11584	7.211.339,12683	7.211.355,705	7.211.380,173	7.211.355,703
70°	7.768.980,72630	7.768.980,72750	7.768.980,72631	7.768.980,74535	7.768.997,324	7.769.015,177	7.768.997,321
75°	8.326.937,59000	8.326.937,58702	8.326.937,58600	8.326.937,60798	8.326.952,187	8.326.964,384	8.326.952,184
80°	8.885.139,87094	8.885.139,87170	8.885.139,87097	8.885.139,89001	8.885.150,711	8.885.158,202	8.885.150,708
85°	9.443.510,14009	9.443.510,14045	9.443.510,14	9.443.510,15110	9.443.515,909	9.443.519,447	9.443.515,906
90°	10.001.965,72922	10.001.965,72912	10.001.965,73	10.001.965,72922	10.001.965,730	10.001.965,729	10.001.965,730

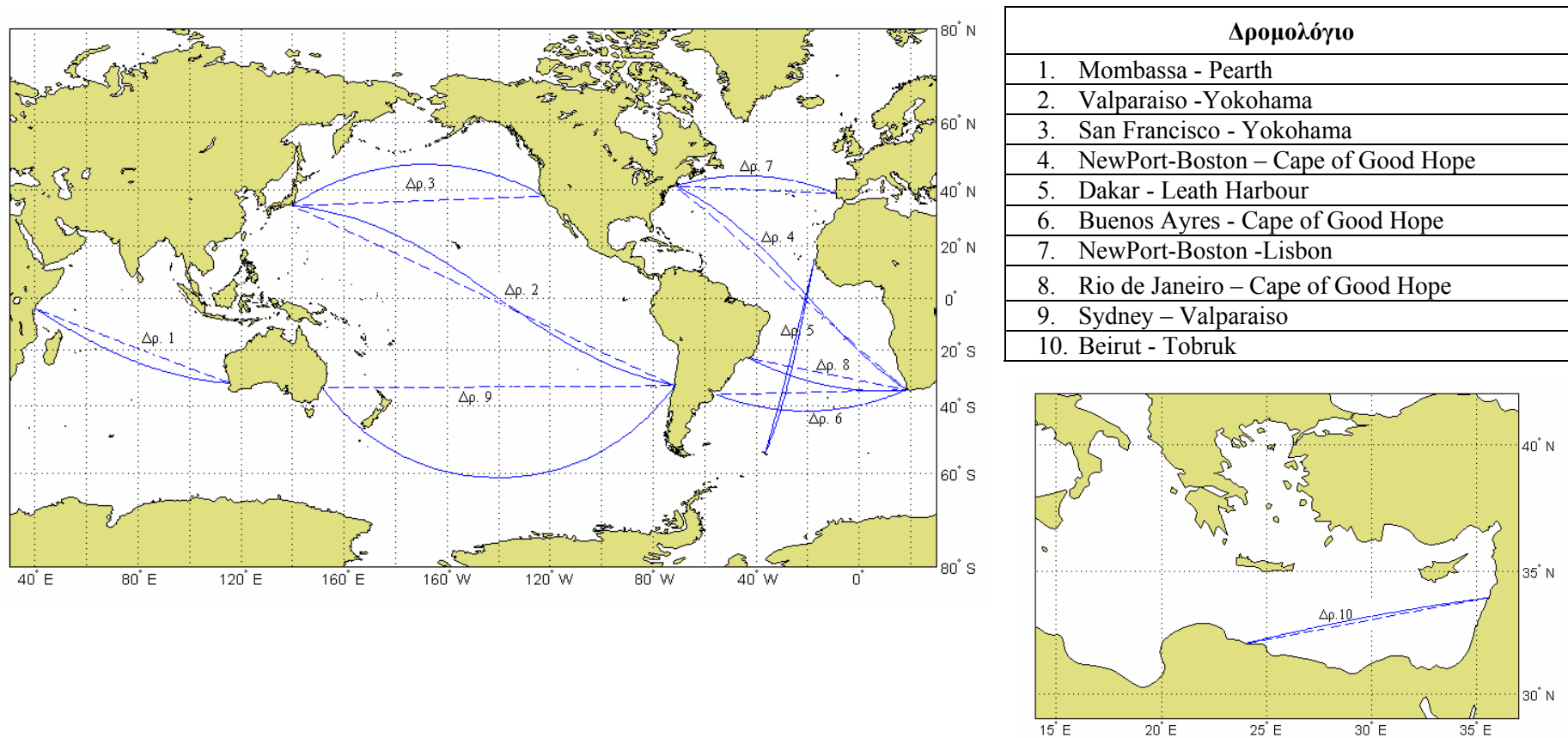


Σχ. 2.6: Χρόνοι υπολογισμού μήκους τόξου μεσημβρινού με αριθμητικές σειρές

Πίνακας 2.3

Σημεία πλου για καθορισμό δρομολογίων εκτέλεσης αριθμητικών δοκιμών (γεωγραφικές συντεταγμένες στο WGS-84)

Name	Γεωγραφικό πλάτος			Γεωγραφικό μήκος		
	°	'		°	'	
1. NewPort-Boston	41	6,3380	Bop	71	23,4670	Δυτ
2. Leath Harbour	54	7,9030	Not	36	32,3000	Δυτ
3. Buenos Ayres Approaches	36	3,7610	Not	55	30,2290	Δυτ
4. Dakar	14	22,1480	Bop	17	27,2260	Δυτ
5. Pearth, Australia	32	6,2180	Not	115	34,1040	Av
6. Mombassa	4	5,9230	Not	39	42,6320	Av
7. San Francisco	37	45,0470	Bop	122	42,0230	Av
8. Yokohama, Japan	34	26,1780	Bop	139	51,1390	Δυτ
9. Valparaiso, Chile	32	59,9980	Not	71	36,6750	Δυτ
10. Sydney	33	46,2100	Not	151	31,9640	Av
11. Cape of Good Hope	34	25,6100	Not	18	25,9090	Av
12. Rio de Janeiro	23	1,9160	Not	43	7,2010	Δυτ
13. Beirut	33	56,0180	Bop	35	30,3290	Av
14. Tobruk	32	3,8460	Bop	24	0,6620	Av
15. Lisbon	38	37,204	Bop	9	13,3940	Av



Τα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου απεκονίζονται με διακεκομμένη γραμμή και τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου με συνεχή

Σχ. 2.7: Δρομολόγια εκτέλεσης συγκριτικών αριθμητικών δοκιμών θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας

Κατά την αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομίας για τα δέκα (10) επιλεγμένα δρομολόγια του πίνακα 2.4 (Σχ. 2.7), εξετάστηκαν οι παρακάτω μέθοδοι/αλγόριθμοι:

- i.) Η προτεινόμενη για χρήση σε ΣΗΝΧ μέθοδος/αλγόριθμος επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς (§ 2.2.4).
- ii.) Το ναυτιλιακό λογισμικό Navpack, το οποίο αναπτύχθηκε από κοινού από το βρετανικό αστεροσκοπείο και το ναυτικό παρατηρητήριο των ΗΠΑ (Hohenkerk & Yallop 2004), στο οποίο η επίλυση του λοξοδρομικού προβλήματος βασίζεται στη μέθοδο του Bennett (1996) [§ 2.2.3].
- iii.) Αντιπροσωπευτικό λογισμικό για ΣΗΝΧ (ECDIS Kernel).
- iv.) Τύποι επίλυσης που προκύπτουν από την ανάλυση της γεωμετρίας της λοξοδρομίας στην επιφάνεια της σφαίρας (Kos et al. 1999).

Πίνακας 2.4

Αποτελέσματα συγκριτικών δοκιμών μεθόδων/αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου

Δρομολόγιο	Λογισμικό εμπορικού ΣΗΝΧ (ECDIS SW) [επίλυση στο ελλειψοειδές]	Ναυτιλιακό λογισμικό NAVPACK [επίλυση στο ελλειψοειδές]	Επίλυση στη σφαίρα	Προτεινόμενος αλγόριθμος [επίλυση στο ΕΕΠ]
	Τιμές που υπολογίστηκαν (απόσταση/πορεία)			
1. Mombassa - Pearth	4598,2 v.μ. 111,3°	4598,7 v.μ. 111,4°	4591,95 v.μ. 111,5°	4598.15 v.μ. 111.3°
2. Valparaiso - Yokohama	9315,84 v.μ. 295,6	9315,8 v.μ. 295,6	9306,55 v.μ. 295,8°	9315,85 v.μ. 295,6°
3. San Francisco - Yokohama	4741,36 v.μ. 267,6°	4741,4 v.μ. 267,6°	4727,43 v.μ. 276,6°	4741,39 v.μ. 267,6°
4. NewPort-Boston – Cape of Good Hope	6724,67 v.μ. 132,2°	6724,7 v.μ. 132,2°	6727,46 v.μ. 132,4°	6724,67 v.μ. 132,2°
5. Dakar - Leath Harbour	4216,77 v.μ. 193,6°	4216,7 v.μ. 193,6°	4227,81 v.μ. 193,6°	4216,76 v.μ. 193,6°
6. Buenos Ayres - Cape of Good Hope	3634,6 v.μ. 88,5°	3634,6 v.μ. 88,5°	3624,07 v.μ. 88,5°	3634,62 v.μ. 88,5°
7. NewPort-Boston - Lisbon	2875,55 v.μ. 93°	2875,6 v.μ. 93°	2866,48 v.μ. 93°	2875,55 v.μ. 92,9
8. Rio de Janeiro – Cape of Good Hope	3309,24 v.μ. 101,9°	3309,2 v.μ. 101,9°	3301,5 v.μ. 102°	3309,25 v.μ. 101,9
9. Sydney - Valparaiso	6875,63 89,6°	6875,7 v.μ. 89,6°	6856,47 v.μ. 89,6°	6875,75 v.μ. 89,6
10. Beirut - Tobruk	590,68 v.μ. 259,1°	590,6 v.μ. 259,1°	589,024 v.μ. 259°	590,7 v.μ. 259,1°

Τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων συγκριτικών αριθμητικών δοκιμών επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις:

- Η προτεινόμενη μέθοδος/αλγόριθμος (§ 2.2.4), το ναυτιλιακό λογισμικό Navpack και το αντιπροσωπευτικό λογισμικό για ΣΗΝΧ (ECDIS Kernel), παρέχουν αποτελέσματα με πρακτικά αμελητέες για τη ναυσιπλοΐα αποκλίσεις.
- Για πλόες πολύ μεγάλων αποστάσεων οι υπολογισμοί με τους τύπους της λοξοδρομίας στη σφαίρα (Kos et al. 1999) παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τους αντίστοιχους υπολογισμούς στο ελλειψοειδές. Οι αποκλίσεις αυτές για πλόες πολύ μεγάλων αποστάσεων παρουσιάζουν αποκλίσεις της τάξεως των 19 ναυτικών μιλίων (≈ 35 km).

2.3 Επίλυση προβλημάτων ορθοδρομικού πλου

2.3.1 Μέθοδοι σφαιρικής τριγωνομετρίας

Στην παραδοσιακή ναυτιλία η επίλυση των προβλημάτων του ορθοδρομικού πλου υλοποιείται με την επίλυση σφαιρικών τριγώνων σε σφαίρα μοναδιαίας ακτίνας και την παραδοχή ότι ένα πρώτο λεπτό της μοίρας οποιουδήποτε μεγίστου κύκλου αντιστοιχεί σε ένα ναυτικό μίλι (§ 1.3.3). Τα στάδια επίλυσης του προβλήματος του ορθοδρομικού πλου με μεθόδους της σφαιρικής τριγωνομετρίας και οι αντίστοιχες εξισώσεις για την τυποποίηση των υπολογισμών και την αποτελεσματικότερη σύνταξη αλγορίθμων είναι τα εξής:

Στάδιο I (υπολογισμός της απόστασης και της αρχικής πορείας του ορθοδρομικού πλου)

Στο στάδιο αυτό εκτελείται επίλυση του σφαιρικού τριγώνου ΑΠΒ του ορθοδρομικού πλου με κορυφές το σημείο αναχωρήσεως Α, το σημείο προορισμού Β και τον πλησιέστερο στο σημείο αναχωρήσεως πόλο Π (Σχ. 1.9 κεφαλαίου 1) για τον υπολογισμό της απόστασης και της αρχικής πορείας ορθοδρομικού πλου. Η απόσταση D_0 του ορθοδρομικού πλου σε ναυτικά μίλια προκύπτει από την υπολογιζόμενη τιμή της πλευράς ΑΒ του σφαιρικού τριγώνου ΑΠΒ σε πρώτα λεπτά της μοίρας και δίνεται από τη (2.3.1).

$$D_0 = \arccos[(\sin\varphi_A \sin\varphi_B + \cos\varphi_A \cos\varphi_B \cos\Delta\lambda)] \quad (2.3.1)$$

Η αρχική πορεία ζ_A του ορθοδρομικού πλου στο σημείο αναχωρήσεως Α προκύπτει από την υπολογιζόμενη τιμή της γωνίας στη κορυφή Α του σφαιρικού τριγώνου ΑΠΒ σε μοίρες και δίνεται από τη (2.3.2).

$$\zeta_A = \arctan\left[\frac{\sin\Delta\lambda}{(\cos\varphi_A \tan\varphi_B) - (\sin\varphi_A \cos\Delta\lambda)}\right] \quad (2.3.2)$$

Στάδιο II (υπολογισμός της θέσεως του κορυφαίου σημείου)

Στο στάδιο αυτό εκτελείται επίλυση του ορθογωνίου σφαιρικού τριγώνου ΑΠΚ (Σχ. 1.9) με κορυφές το σημείο αναχωρήσεως Α, το κορυφαίο σημείο Κ του ορθοδρομικού τόξου και τον πλησιέστερο πόλο Π, για τον υπολογισμό της θέσης του κορυφαίου σημείου Κ. Το γεωγραφικό μήκος λ_K του κορυφαίου σημείου Κ προκύπτει από την υπολογιζόμενη τιμή της γωνίας ΑΠΚ, η οποία ισούται με τη διαφορά γεωγραφικού μήκους $\Delta\lambda_K$ του κορυφαίου σημείου Κ από το σημείο αναχωρήσεως Α ($\Delta\lambda_K = \lambda_K - \lambda_A$) και δίνεται από τη (2.3.3).

$$\Delta\lambda_K = \arcsin\left(\frac{\cos\zeta_A}{\sin\varphi_K}\right) \quad (2.3.3)$$

$$\lambda_K = \Delta\lambda_K - \lambda_A$$

($\Delta\lambda_K = \text{ΑΠΚ}$)

Το γεωγραφικό πλάτος φ_K του κορυφαίου σημείου Κ του μέγιστου κύκλου προκύπτει από την υπολογιζόμενη τιμή της πλευράς ΠΚ του ορθογωνίου σφαιρικού τριγώνου ΑΠΚ, η οποία ισούται με το σύμπλατος του σημείου Κ ($90^\circ - \varphi_K$) και δίνεται από τη (2.3.4).

$$\varphi_K = \arccos(\cos\varphi_A \sin\zeta_\lambda) \quad (2.3.4)$$

Στάδιο III (υπολογισμός θέσεως ενδιάμεσων σημείων)

Στο στάδιο αυτό εκτελείται επίλυση των ορθογωνίων σφαιρικών τριγώνων ΠΚΕ₁, ΠΚΕ₂, ΠΚΕ₃, ... για τον υπολογισμό της θέσης των ενδιάμεσων σημείων (E₁, E₂, E₃, ...) του ορθοδρομικού τόξου, τα οποία αντιστοιχούν σε προκαθορισμένη διαφορά μήκους Δλ_i (i = 1, 2, 3, ...) από το κορυφαίο σημείο Κ.

Το γεωγραφικό πλάτος φ_i των ενδιάμεσων σημείων E_i (i = 1, 2, 3, ...), τα οποία προσδιορίζονται στα σημεία τομής του ορθοδρομικού τόξου με προεπιλεγμένους μεσημβρινούς και συνεπώς αντιστοιχούν σε προκαθορισμένη διαφορά μήκους Δλ_i εκατέρωθεν του κορυφαίου σημείου Κ, δίνεται από τη (2.3.5).

$$\varphi_i = \arctan(\cos\Delta\lambda_i \tan\varphi_i) \quad (2.3.5)$$

Το γεωγραφικό μήκος λ_i των ενδιάμεσων σημείων E_i (i = 1, 2, 3, ...) προκύπτει από την προκαθορισμένη τιμή της διαφοράς γεωγραφικού μήκους Δλ_i (γωνία ΚΠΕ_i, σχήματος 1.9) και δίνεται από τη (2.3.6).

$$\lambda_i = \lambda_K - \Delta\lambda_i \quad (2.3.6)$$

Τα ενδιάμεσα σημεία (E₁, E₂, E₃, ...) του ορθοδρομικού τόξου ΑΒ (Σχ. 1.10) χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της συνεχώς μεταβαλλόμενης πορείας του ορθοδρομικού πλου (γωνίας των μεσημβρινών και του ορθοδρομικού τόξου). Ο προσδιορισμός της συνεχώς μεταβαλλόμενης πορείας γίνεται με την προσέγγιση του ορθοδρομικού πλου με μια σειρά διαδοχικών λοξοδρομικών πλεύσεων (πλεύσεις με σταθερή πορεία) για τα τμήματα πλου, τα οποία ορίζονται από το σημείο αναχωρήσεως Α προς το σημείο E₁, από το E₁ προς το E₂ κλπ. (Σχ. 1.7). Με τον τρόπο αυτό, μετά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων E₁, E₂, E₃, ... η επίλυση του προβλήματος του ορθοδρομικού πλου ανάγεται στην επίλυση των διαδοχικών λοξοδρομικών προβλημάτων για τα τμήματα του πλου, τα οποία ορίζονται από το σημείο αναχωρήσεως Α προς το σημείο E₁, από το E₁ προς το E₂ κλπ. Με την επίλυση αυτή υπολογίζονται:

- οι διαφορετικές πορείες, που πρέπει να ληφθούν στα ενδιάμεσα σημεία E₁, E₂, E₃, κλπ. και
- η συνολική απόσταση του πλου (άθροισμα αποστάσεων των διαδοχικών λοξοδρομικών πλεύσεων). Η απόσταση αυτή προσεγγίζει καλύτερα το μήκος του ορθοδρομικού τόξου ΑΒ, όταν λαμβάνεται μεγαλύτερος αριθμός ενδιάμεσων σημείων.

2.3.2 Μέθοδοι γραμμικής άλγεβρας και διανυσματικής ανάλυσης

Κατά την επίλυση του προβλήματος του ορθοδρομικού πλου με μεθόδους της γραμμικής άλγεβρας και διανυσματικής ανάλυσης γίνεται χρήση των καρτεσιανών συντεταγμένων (x, y, z) ενός επίγειου γεωκεντρικού συστήματος αναφοράς, το οποίο παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη λογισμικού επίλυσης προβλημάτων εντοπισμού θέσης τόσο στη γεωδαισία όσο και στη ναυσιπλοΐα.

Σε ένα επίγειο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (Σχ. 2.8) η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο κέντρο της γης, ο άξονας Z έχει διεύθυνση προς το βόρειο πόλο, ο άξονας X διέρχεται από το σημείο τομής του ισημερινού με τον πρώτο μεσημβρινό και ο άξονας Y συμπληρώνει το δεξιόστροφο ορθοκανονικό σύστημα. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y, z) ενός σημείου Ρ στην επιφάνεια της σφαίρας ή του ελλειψοειδούς αποτελούν τις συνιστώσες του διανύσματος θέσης V του σημείου αυτού.

Για την περίπτωση του χρησιμοποιούμενου στην παραδοσιακή ναυτιλία σφαιρικού μοντέλου της γης με ακτίνα R ίση με τη μονάδα, οι καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y, z) ενός σημείου Ρ στην επιφάνεια της σφαίρας και οι αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες (φ, λ) συνδέονται με τους τύπους (2.3.7) έως (2.3.11).

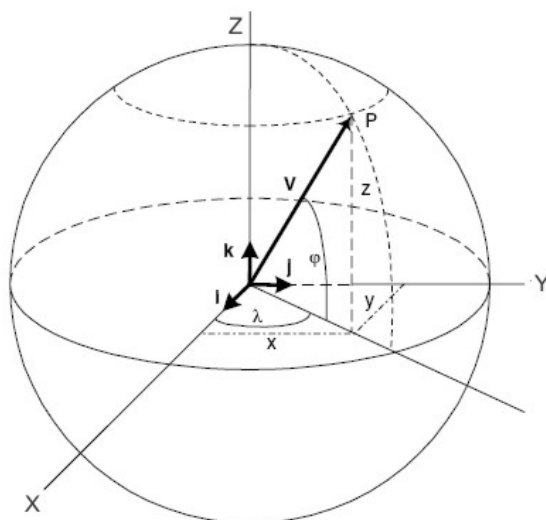
$$x = \cos \varphi \cdot \cos \lambda \quad (2.3.7)$$

$$y = \cos \varphi \cdot \sin \lambda \quad (2.3.8)$$

$$z = \sin \varphi \quad (2.3.9)$$

$$\varphi = \sin^{-1} z \quad (2.3.10)$$

$$\lambda = \begin{cases} \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), & x > 0, y > 0 \\ \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) + \pi, & x < 0 \\ \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), & x > 0, y < 0 \end{cases} \quad (2.3.11)$$



Σχ. 2.8: Μετασχηματισμός σφαιρικών γεωγραφικών συντεταγμένων (φ, λ) σε καρτεσιανές (x, y, z)

Για την επίλυση του προβλήματος του ορθοδρομικού πλου με τη χρήση των καρτεσιανών συντεταγμένων (x, y, z) γίνεται ανάλυση της γεωμετρίας των διανυσμάτων θέσεως διαφόρων σημείων του ορθοδρομικού τόξου (Σχ. 2.9), όπως:

- το διάνυσμα θέσης V_A του σημείου αναχώρησης A,
- το διάνυσμα θέσης V_B του σημείου προορισμού B και
- Τα διανύσματα θέσης V_1, V_2, V_3, \dots των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots

Υπολογισμός της απόστασης του ορθοδρομικού πλου

Η απόσταση D_0 του ορθοδρομικού πλου υπολογίζεται από την τιμή του ορθοδρομικού τόξου AB που προκύπτει από τον υπολογισμό του εσωτερικού γινομένου των διανυσμάτων θέσεως των σημείων αναχώρησης και προορισμού V_A και V_B .

Το εσωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων V_A και V_B δίνεται από τη (2.3.12).

$$V_A \cdot V_B = |V_A| \cdot |V_B| \cdot \cos D_0 \quad (3.3.12)$$

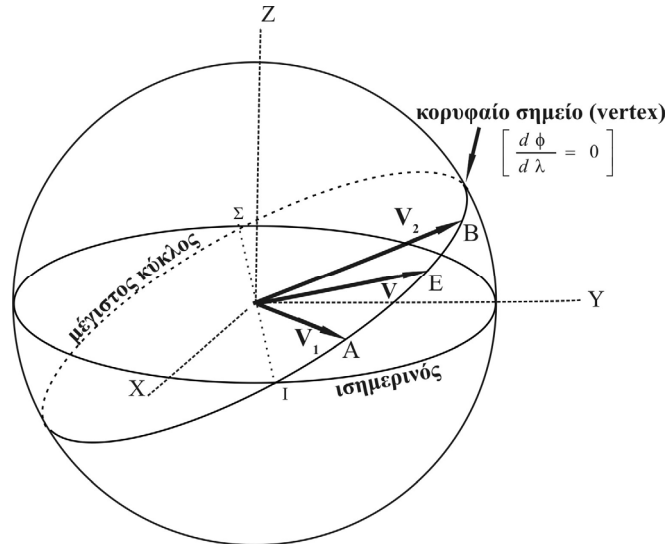
Επειδή τα σημεία A και B βρίσκονται στην επιφάνεια σφαίρας μοναδιαίας ακτίνας, οι τιμές $|V_A|$ και $|V_B|$ είναι ίσες με τη μονάδα και από τη (2.3.12) προκύπτει:

$$D_0 = \arccos(V_A \cdot V_B) \quad (2.3.13)$$

Επειδή $V_A \cdot V_B = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$ (Davis and Snider 1979), από τη (2.3.13) προκύπτει:

$$D_o = \arccos(x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2) \quad (2.3.14)$$

Αν στη (2.3.14) τεθούν οι τιμές των x, y, z από τις (2.3.7), (2.3.8) και (2.3.9, προκύπτει η (2.3.1). Οι (2.3.14) και (2.3.1) είναι ισοδύναμες (ουσιαστικά ταυτίζονται).



Σχ. 2.9: Επίλυση προβλημάτων ορθοδρομικού πλου στη σφαίρα με μεθόδους διανυσματικής ανάλυσης

Υπολογισμός της θέσης των ενδιάμεσων σημείων του ορθοδρομικού πλου

Ο υπολογισμός της θέσης των ενδιάμεσων σημείων E_1, E_2, E_3, \dots του ορθοδρομικού πλου βασίζεται στη συνθήκη συνεπιπεδότητας των διανυσμάτων θέσης V_A, V_B, V_i ($i = 1, 2, 3 \dots$), τα οποία αντιστοιχούν: στο σημείο αναχώρησης A, στο σημείο προορισμού B και σε ένα ενδιάμεσο σημείο V_i . Η συνθήκη συνεπιπεδότητας τριών διανυσμάτων είναι να έχουν μικτό γινόμενο ίσο με μηδέν (Davis and Snider 1979). Για τα διανύσματα V_A, V_B και V_i η συνθήκη συνεπιπεδότητας δίνεται από τη (2.3.15).

$$V_A \cdot (V_B \times V_i) = 0 \quad (2.3.15)$$

Τόσο από την κατάλληλη επεξεργασία της (2.3.15) όσο και από περαιτέρω ανάλυση και εφαρμογή μεθόδων γραμμικής άλγεβρας και διανυσματικής ανάλυσης προκύπτουν διάφορες εξισώσεις, για την αποτελεσματικότερη επίλυση των προβλημάτων του ορθοδρομικού πλου, όπως για τον υπολογισμό θέσης ενδιάμεσων σημείων, χωρίς να απαιτείται προηγούμενος καθορισμός της θέσης του κορυφαίου σημείου. Οι εξισώσεις αυτές ονομάζονται εξισώσεις μέγιστου κύκλου.

Οι σημαντικότερες εξισώσεις μέγιστου κύκλου που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την ανάπτυξη ναυτιλιακού λογισμικού είναι οι εξισώσεις των Chi Li Chen (2004), Earle (2005) και Wei-Kuo Tseng (2007). Οι εξισώσεις αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια με τη διατήρηση του συμβολισμού που χρησιμοποιείται στις πρωτότυπες πηγές, ο οποίος επεξηγείται μετά από κάθε ομάδα εξισώσεων.

α. Εξισώσεις μέγιστου κύκλου του Chi Li Chen

Η (2.3.16) αποτελεί τη βασική εξίσωση μέγιστου κύκλου του Chi Li Chen (2004). Από την περαιτέρω επεξεργασία της εξίσωσης αυτής προκύπτουν τύποι για τον υπολογισμό διαφόρων στοιχείων του ορθοδρομικού πλου, όπως:

- Υπολογισμός του γεωγραφικού πλάτους ενός ενδιάμεσου σημείου με γνωστό γεωγραφικό μήκος, δηλαδή ενός σημείου, το οποίο αντιστοιχεί στην τομή του ορθοδρομικού τόξου με

προεπιλεγμένο μεσημβρινό. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη (2.3.17), η οποία προκύπτει από τις (2.3.16).

- Υπολογισμός του γεωγραφικού μήκους ενός ενδιάμεσου σημείου με γνωστό γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή ενός σημείου, το οποίο αντιστοιχεί στην τομή του ορθοδρομικού τόξου με προεπιλεγμένο παράλληλο πλάτους. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη (2.3.18).
- Υπολογισμός του γεωγραφικού μήκους του κορυφαίου σημείου. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη (2.3.19).
- Υπολογισμός του γεωγραφικού πλάτους του κορυφαίου σημείου. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη (2.3.20).
- Υπολογισμός του γεωγραφικού μήκους του σημείου, στο οποίο το ορθοδρομικό τόξο τέμνει τον ισημερινό. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη (2.3.21).

$$a \cdot \cos L_X \cdot \cos DLo_{FX} + b \cdot \cos L_X \cdot \sin DLo_{FX} + c \cdot \sin L_X = 0 \quad (2.3.16)$$

$$a = -\sin L_F \cdot \cos L_T \cdot \sin DLo \quad (2.3.16\alpha)$$

$$b = \sin L_F \cdot \cos L_T \cdot \cos DLo - \cos L_F \cdot \sin L_T \quad (2.3.16\beta)$$

$$c = \cos L_F \cdot \cos L_T \cdot \sin DLo \quad (2.3.16\gamma)$$

$$\tan L_X = \frac{a \cdot \cos DLo_{FX} + b \cdot \sin DLo_{FX}}{-c} \quad (2.3.17)$$

$$\sin(DLo_{FX} + \alpha) = \frac{-c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot \tan L_X \quad (2.3.18)$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \quad (3.3.18\alpha)$$

$$\tan DLo_{FV} = \frac{b}{a} \quad (2.3.19)$$

$$\tan L_V = \frac{a \cdot \cos DLo_{FV} + b \cdot \sin DLo_{FV}}{-c} \quad (2.3.20)$$

$$\tan DLo_{FE} = -\frac{a}{b} \quad (2.3.21)$$

Τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα στις (2.3.16) έως και (2.3.21), είναι:

L_X	γεωγραφικό πλάτος ενδιάμεσου σημείου X
L_F	γεωγραφικό πλάτος σημείου αναχωρήσεως F
L_T	γεωγραφικό πλάτος σημείου προορισμού T
L_V	γεωγραφικό πλάτος κορυφαίου σημείου V
DLo	Διαφορά γεωγραφικού μήκους μεταξύ σημείου αναχωρήσεως F και σημείου προορισμού T
DLo_{FX}	Διαφορά γεωγραφικού μήκους μεταξύ σημείου αναχωρήσεως F και του ενδιάμεσου σημείου X
DLo_{FV}	Διαφορά γεωγραφικού μήκους μεταξύ σημείου αναχωρήσεως F και του κορυφαίου σημείου V
DLo_{FE}	Διαφορά γεωγραφικού μήκους μεταξύ του κορυφαίου σημείου V και του σημείου τομής του ορθοδρομικού τόξου με τον ισημερινό

β. Εξισώσεις μέγιστου κύκλου του Earle

Με τις εξισώσεις του Earle (2005), υπολογίζονται διάφορα στοιχεία του ορθοδρομικού πλου, ως εξής:

- Ο υπολογισμός της αρχικής πορείας γ του ορθοδρομικού πλου από ένα σημείο αναχωρήσεως P_1 προς ένα σημείο προορισμού P_2 , γίνεται με τη (2.3.22).
- Ο υπολογισμός του γεωγραφικού πλάτους ϕ_x ενός ενδιάμεσου σημείου με γνωστό γεωγραφικό μήκος, δηλαδή ενός σημείου, το οποίο αντιστοιχεί στην τομή του ορθοδρομικού τόξου με προεπιλεγμένο μεσημβρινό, γίνεται με τη (2.3.23). Επισημαίνεται ότι στη (2.3.23) το γεωγραφικό μήκος συμβολίζεται με το γράμμα θ (όπως στη μαθηματική βιβλιογραφία) και όχι με το σύμβολο λ που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία της γεωδαισίας και της ναυτιλίας.
- Μετά τον υπολογισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων ϕ_x, θ_x του ενδιάμεσου σημείου X , προσδιορίζεται το διάνυσμα θέσης V_x του σημείου αυτού από τη (2.3.24).
- Στη συνέχεια, οι συνιστώσες του διανύσματος θέσης V_x της (2.3.24) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απόστασης και της αρχικής πορείας του ορθοδρομικού πλου από το ενδιάμεσο σημείο X μέχρι το επόμενο σημείο προορισμού. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται με τις εξισώσεις (2.3.14) και (2.3.22).
- Ο υπολογισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων ϕ_v, θ_v του κορυφαίου σημείου γίνεται με τις (2.3.25) και (2.3.26).

$$\gamma = \arccos \left(\frac{my_1 - nx_1}{\sqrt{(m^2 + n^2 + p^2)(x_1^2 + y_1^2)}} \right) \quad (2.3.22)$$

$$m = (y_1 z_2 - y_2 z_1) \quad (2.3.22\alpha)$$

$$n = (x_2 z_1 - x_1 z_2) \quad (2.3.22\beta)$$

$$p = (x_1 y_2 - x_2 y_1) \quad (2.3.22\gamma)$$

$$\phi = - \arctan [\lambda \cos(\theta) + \mu \sin(\theta)] \quad (2.3.23)$$

$$\lambda = m/p \quad (2.3.23\alpha)$$

$$\mu = n/p \quad (2.3.23\beta)$$

$$V_x = \mathbf{i} \cos(\phi_x) \cos(\theta_x) + \mathbf{j} \cos(\phi_x) \sin(\theta_x) + \mathbf{k} \sin(\phi_x) \quad (2.3.24)$$

$$\phi_v = \pm \arctan \sqrt{\lambda^2 + \mu^2} \quad (2.3.25)$$

$$\theta_v = \arctan \left(\frac{\mu}{\lambda} \right) \quad (2.3.26)$$

Τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα στις (2.3.22) έως και (2.3.26), είναι:

γ	αρχική πορεία του ορθοδρομικού πλου από ένα σημείο αναχωρήσεως Σ_1 προς ένα σημείο προορισμού Σ_2 ,
x_1, y_1, z_1 x_2, y_2, z_2	συνιστώσες του διανύσματος θέσης των σημείων Σ_1 και Σ_2 αντιστοίχως,
ϕ_v, θ_v	γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος του κορυφαίου σημείου V και
ϕ_x, θ_x	γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος του ενδιάμεσου σημείου X .

γ. Εξισώσεις μέγιστου κύκλου των Wei-Kuo και Hsuan-Shih

Οι εξισώσεις του μέγιστου κύκλου των Wei-Kuo και Hsuan-Shih (2007) παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού της θέσης των ενδιάμεσων σημείων στα σημεία που αντιστοιχούν σε προκαθορισμένες αποστάσεις επί του ορθοδρομικού τόξου (Σχ. 2.1). Οι συνιστώσες (x, y, z) του διανύσματος θέσης ενός ενδιάμεσου σημείου E του ορθοδρομικού τόξου, το οποίο απέχει απόσταση s από το σημείο αναχώρησης A, δίνονται από τις (2.3.27α), (2.3.27β) και (2.3.27γ).

$$x = \cos \varphi_A \cdot \sin (D_O - s) + \cos \varphi_B \cdot \cos \Delta\lambda_{AB} \cdot \sin s \quad (2.3.27\alpha)$$

$$y = \cos \varphi_B \cdot \sin \Delta\lambda_{AB} \cdot \sin s \quad (2.3.27\beta)$$

$$z = \cos \varphi_A \cdot \sin (D_O - s) + \sin \varphi_B \cdot \sin s \quad (2.3.27\gamma)$$

Όπου:

s: είναι η απόσταση του ενδιάμεσου σημείου σε ναυτικά μίλια (πρώτα λεπτά της μοίρας) από το σημείο αναχώρησης A (τιμή του ορθοδρομικού τόξου)

$\Delta\lambda_{AB}$: είναι η διαφορά γεωγραφικού μήκους του σημείου αναχώρησης A από το σημείο προορισμού B.

Για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων της θέσεως των ενδιάμεσων σημείων σε προκαθορισμένες αποστάσεις από το σημείο αναχώρησης A χρησιμοποιούνται οι (2.3.10) και (2.3.11), στις οποίες οι τιμές των συνιστωσών x, y, z του διανύσματος θέσεως V ενός ενδιάμεσου σημείου E του ορθοδρομικού τόξου, το οποίο απέχει απόσταση s από το σημείο αναχώρησης A, δίνονται από τις (2.3.27α), (2.3.27β) και (2.3.27γ).

2.3.3 Σχολιασμός μεθόδων επίλυσης προβλημάτων ορθοδρομικού πλου

Στην παραδοσιακή ναυτιλία ο προσδιορισμός των ενδιάμεσων σημείων του ορθοδρομικού πλου στην τομή του ορθοδρομικού τόξου με επιλεγμένους μεσημβρινούς ή παραλλήλους πλάτους έχει καθιερωθεί, γιατί διευκολύνει τη χειρωνακτική υποτύπωση της θέσης στον έντυπο ναυτικό χάρτη (επειδή η μία από τις δύο γεωγραφικές συντεταγμένες (φ , λ) έχει ακέραια τιμή). Εν τούτοις η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι οι διαφορές γεωγραφικού μήκους ή γεωγραφικού πλάτους δεν παρέχουν άμεση εικόνα της τιμής των αποστάσεων μεταξύ των διαδοχικών ενδιάμεσων σημείων.

Για την αποτελεσματικότερη προσέγγιση του ορθοδρομικού πλου με μία σειρά διαδοχικών λοξοδρομικών πλεύσεων, οι θέσεις των ενδιάμεσων σημείων πρέπει να προσδιορίζονται όχι στα σημεία τομής του ορθοδρομικού τόξου με συγκεκριμένους μεσημβρινούς και παραλλήλους πλάτους, αλλά στα σημεία που αντιστοιχούν σε προκαθορισμένες αποστάσεις επί του ορθοδρομικού τόξου (Σχ. 2.2), όπως:

1^ο ενδιάμεσο σημείο E₁ σε απόσταση 100 ν.μ. από το σημείο αναχώρησης A

2^ο ενδιάμεσο σημείο E₂ σε απόσταση 200 ν.μ. από το σημείο αναχώρησης A

3^ο ενδιάμεσο σημείο E₃ σε απόσταση 300 ν.μ. από το σημείο αναχώρησης A

.....

Ο προσδιορισμός της θέσης των ενδιάμεσων σημείων του ορθοδρομικού τόξου σε προκαθορισμένες αποστάσεις από το σημείο αναχώρησης A μπορεί να γίνει τόσο με μεθόδους της σφαιρικής τριγωνομετρίας όσο και με μεθόδους της γραμμικής άλγεβρας και της διανυσματικής ανάλυσης. Και οι δύο μέθοδοι παρέχουν την ίδια ακρίβεια (Chih-Li et al. 2004). Εν τούτοις για την σύνθεση ναυτιακού λογισμικού είναι προτιμότερες οι νεότερες μέθοδοι της γραμμικής άλγεβρας και της διανυσματικής ανάλυσης (Earle 2005), (Chih-Li et al. 2004), (Wei-Kuo and Hsuan-Shih 2007).

Οι αποκλίσεις του μήκους του ορθοδρομικού τόξου από το μήκος της γεωδαισιακής και το μήκος του μέγιστου ελλειπτικού τόξου παρουσιάζονται στην § 2.5.4.

2.4 Επίλυση προβλημάτων πλου στη γεωδαισιακή

Για τα προβλήματα πλου ελάχιστης απόστασης από ένα σημείο Σ_1 προς ένα σημείο Σ_2 , μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων της γεωδαισίας (ευθύ και αντίστροφο) για πολύ μεγάλες αποστάσεις, με τις οποίες επιτυγχάνεται σημαντικά μεγαλύτερη ακρίβεια από τις μεθόδους επίλυσης των προβλημάτων του ορθοδρομικού πλου στη σφαίρα.

Οι μέθοδοι επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων της γεωδαισίας πολύ μεγάλων αποστάσεων διακρίνονται στις επόμενες δύο κατηγορίες:

- Μέθοδοι επαναληπτικών επιλύσεων (iterative solutions) για επίτευξη της κατά περίπτωση επιδιωκόμενης υψηλής ακρίβειας. Με τις μεθόδους αυτές επιτυγχάνεται ακρίβεια εκατοστού ή χιλιοστού κατά τον υπολογισμό του μήκους της γεωδαισιακής μεγάλων αποστάσεων (έως 19.000 km) και ακρίβεια υπολογισμού αζιμουθίων της τάξεως κλάσματος του δεύτερου λεπτού της μοίρας. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος της κατηγορίας αυτής είναι η μέθοδος Vincenty (1975).
- Μέθοδοι μη επαναληπτικών επιλύσεων (non iterative solutions), με τις οποίες επιτυγχάνεται ακρίβεια, η οποία είναι μικρότερη από τη χιλιοστομετρική και εκατοστομετρική ακρίβεια των μεθόδων των επαναληπτικών επιλύσεων. Παραδείγματα μεθόδων μη επαναληπτικών επιλύσεων είναι και οι μέθοδοι των Sodano (1965) και Rainsford (1955) καθώς και η μέθοδος Adnoyer-Lambert (AMN 1987), η οποία συνιστάται για την επίλυση ναυτιλιακών προβλημάτων από το εγχειρίδιο ναυτιλίας: “Admiralty Manual of Navigation” (AMN 1987), σύμφωνα με το οποίο η μέθοδος αυτή δίνει ακρίβεια υπολογισμού απόστασης της τάξεως των 7 μέτρων για αποστάσεις 6000 ναυτικών μιλίων και ακρίβεια υπολογισμού αζιμουθίων της τάξεως του ενός δεύτερου λεπτού της μοίρας.

Στη μέθοδο Adnoyer – Lambert ο υπολογισμός του μήκους της γεωδαισιακής γραμμής δεν γίνεται επάνω στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς, αλλά επάνω στην επιφάνεια της βοηθητικής γεωδαιτικής σφαίρας με ακτίνα ίση με τον μεγάλο ημιάξονα του ελλειψοειδούς a και τη χρησιμοποίηση του ανηγμένου πλάτους θ , το οποίο συσχετίζεται με το γεωδαιτικό πλάτος με τις σχέσεις 2.4.1 και 2.4.2. Με τον τρόπο αυτό η γεωδαισιακή γραμμή ανάγεται σε τόξο μεγίστου κύκλου στη σφαίρα και οι υπολογισμοί εκτελούνται με μεθόδους της σφαιρικής τριγωνομετρίας. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών διορθώνονται για την αναγωγή τους στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς. Πιο αναλυτικά στη μέθοδο Adnoyer – Lambert ο υπολογισμός του μήκους της γεωδαισιακής γραμμής μεγάλης απόστασεως γίνεται ως εξής (Παλληκάρης 2007):

Τα γεωδαιτικά πλάτη φ_i αντικαθίστανται από τα ανηγμένα πλάτη θ_i , σύμφωνα με τη (2.4.1).

$$\tan\theta = (1 - e^2)^{1/2} \tan\varphi = \frac{b}{a} \tan\varphi \quad (2.4.1)$$

$$\tan\varphi = \frac{\tan\theta}{(1 - e^2)^{1/2}} = \frac{a}{b} \tan\theta \quad (2.4.2)$$

Το αζιμούθιο της γεωδαισιακής γραμμής στο σημείο Σ_1 δίνεται από τη (2.4.3):

$$\tan\alpha = \frac{\sin\Delta\lambda}{\cos\theta_1 \cdot \tan\theta_2 - \sin\theta_1 \cdot \cos\Delta\lambda} \quad (2.4.3)$$

Η απόσταση της γεωδαισιακής γραμμής υπολογίζεται ως το τόξο σ μεγίστου κύκλου σε σφαίρα με ακτίνα ίση με τον μεγάλο ημιάξονα a του ελλειψοειδούς. Η τιμή του ορθοδρομικού τόξου σ (τόξο μεγίστου κύκλου) υπολογίζεται από τη (2.4.4).

$$\cos\sigma = \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 + \cos\theta_1 \cos\theta_2 \cos\Delta\lambda \quad (2.4.4)$$

Η τιμή του ορθοδρομικού τόξου σ που προκύπτει από τη (2.4.4) μετατρέπεται σε ακτίνια και όχι σε πρώτα λεπτά, όπως στους υπολογισμούς της κλασσικής ναυτιλίας.

Στη συνέχεια με τις (2.4.5), (2.4.6), (2.4.7) και (2.4.8) υπολογίζονται οι διορθώσεις M , N , U και V για την αναγωγή της τιμής σ στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς και υπολογισμός του μήκους S της γεωδαισιακής γραμμής από τις (9.4.9) και (2.4.10).

$$M = (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)^2 \quad (2.4.5)$$

$$N = (\sin \theta_1 - \sin \theta_2)^2 \quad (2.4.6)$$

$$U = \frac{\sigma - \sin \sigma}{1 + \cos \sigma} \quad (2.4.7)$$

$$V = \frac{\sigma + \sin \sigma}{1 - \cos \sigma} \quad (2.4.8)$$

$$S = \sigma - \frac{f}{4}(MU + NV) \text{ (σε ακτίνια)} \quad (2.4.9)$$

$$S = a \left[\sigma - \frac{f}{4}(MU + NV) \right] \text{ (σε ναυτικά μίλια)} \quad (2.4.10)$$

Όπου:

- a είναι η τιμή του μεγάλου ημιάξονα του ελλειψοειδούς σε ναυτικά μίλια,
- f είναι η επιπλάτυνση του ελλειψοειδούς.

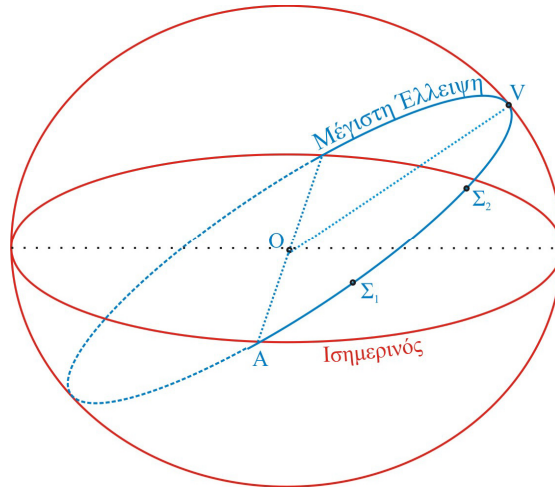
Η μέθοδος Adnoyer-Lambert έχει χρησιμοποιηθεί, συνήθως με το όνομα “μέθοδος Lambert” ως βάση αναφοράς σε αρκετές μελέτες συγκριτικής αξιολόγησης προβλημάτων πλου ελάχιστης απόστασης (Hiraiwa 1987), (Williams 1996), (Earle 2000). Παρά το γεγονός ότι η ακρίβεια της μεθόδου Adnoyer-Lambert υπερκαλύπτει τις πρακτικές ανάγκες της ναυσιπλοΐας, για τους σκοπούς της συγκριτικής αξιολόγησης μεθόδων επίλυσης προβλημάτων πλου ελάχιστης απόστασης, ως βάση αναφοράς για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων συγκριτικής αξιολόγησης πρέπει να χρησιμοποιείται ακριβέστερη μέθοδος ακρίβειας εκατοστού ή χιλιοστού, όπως η μέθοδος Vincenty (Zukas 1994, Pallikaris and Latsas 2009). [§ 2.5.4].

2.5 Επίλυση προβλημάτων στη μέγιστη έλλειψη

2.5.1 Βασικές αρχές επίλυσης προβλημάτων πλου στη μέγιστη έλλειψη

Για την επίλυση των προβλημάτων πλου ελάχιστης απόστασης με την απαιτούμενη για τις σύγχρονες ανάγκες της ναυσιπλοΐας ακρίβεια (πίνακας 2.1), είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και μέθοδοι επίλυσης στο τόξο της μέγιστης έλλειψης του ελλειψοειδούς (Pallikaris and Latsas 2009). Η μέγιστη έλλειψη ορίζεται ως η τομή της επιφάνειας του ελλειψοειδούς με το επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο του ελλειψοειδούς, το σημείο αναχωρήσεως Σ_1 και το σημείο προορισμού Σ_2 (Σχ. 2.10). Με τον τρόπο αυτό αντί του υπολογισμού του ορθοδρομικού τόξου της σφαίρας ή του μήκους της γεωδαισιακής εκτελείται υπολογισμός του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης που ορίζεται από το αρχικό σημείο αναχωρήσεως Σ_1 και το τελικό σημείο προορισμού Σ_2 .

Όπως και για τις άλλες μεθόδους πλου, έτσι και για τον πλου στη μέγιστη έλλειψη, εξετάζεται το ευθύ και το αντίστροφο πρόβλημα. Οι μέθοδοι υπολογισμού των στοιχείων πλου στη μέγιστη έλλειψη στηρίζονται στην αρχή, ότι ο υπολογισμός του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης μπορεί να υλοποιηθεί με τη (2.2.31) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού με την αντικατάσταση των βασικών παραμέτρων της μεσημβρινής έλλειψης (Σχ. 2.4) με τις αντίστοιχες της μέγιστης έλλειψης. Η διαδικασία αυτή είναι πιο κατανοητή, αν η μέγιστη έλλειψη θεωρηθεί ως κεκλιμένη μορφή της μεσημβρινής έλλειψης (Σχ. 2.3 και Σχ. 2.11).

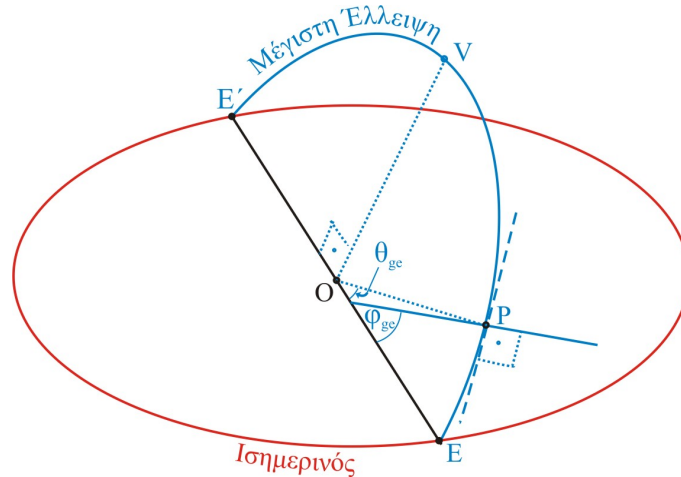


Σχ. 2.10: Μέγιστη έλλειψη του ελλειψοειδούς

Οι δύο βασικές παράμετροι της μέγιστης έλλειψης που συνήθως χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μήκους του ελλειπτικού τόξου με την αξιοποίηση της (2.2.31), ή των ισοδύναμων σχέσεων της μορφής (2.2.21), (2.2.27) και (2.2.32) είναι:

- Η **εκκεντρότητα της μέγιστης έλλειψης** e_{ge} . Η παράμετρος αυτή ισοδυναμεί με την εκκεντρότητα e του ελλειψοειδούς αναφοράς που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του τόξου του μεσημβρινού με την (2.2.31) ή τις ισοδύναμες σειρές.
- Η **γεωδαιτική γωνία** φ_{ge} ενός σημείου της μέγιστης έλλειψης. Η γωνία αυτή (Σχ. 2.11) είναι ισοδύναμη με το γεωδαιτικό γεωγραφικό πλάτος φ που χρησιμοποιείται στους γνωστούς τύπους υπολογισμού του τόξου του μεσημβρινού (Σχ. 2.3).

Μία άλλη βασική παράμετρος της μέγιστης έλλειψης είναι η **γεωκεντρική γωνία** θ_{ge} . Η γωνία αυτή (Σχ. 2.11) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γεωδαιτικής γωνίας φ_{ge} .



Σχ. 2.11: Βασικές παράμετροι της μέγιστης έλλειψης

Για τον υπολογισμό των παραπάνω βασικών παραμέτρων της μέγιστης έλλειψης και για την αριθμητική επίλυση των στοιχείων πλου στη μέγιστη έλλειψη, έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορες σχέσεις και μέθοδοι υπολογισμού. Οι μέθοδοι αυτές, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στην § 2.5.2 αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία της προτεινόμενης για υλοποίηση σε ΣΗΝΧ νέας μεθόδου επίλυσης, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στην § 2.5.3.

Με την αντικατάσταση των τιμών των παραμέτρων e και φ της (2.2.31) με την εκκεντρότητα e_{ge} της μέγιστης έλλειψης και τη γεωδαιτική γωνία φ_{ge} (Σχ. 2.11), προκύπτει η (2.5.1) για τον υπολογισμό του μήκους M_{12} του τόξου της μέγιστης έλλειψης μεταξύ δύο σημείων Σ_1 και Σ_2 (Σχ. 2.10).

$$M_{12} = \int_{\varphi_{ge1}}^{\varphi_{ge2}} \frac{a(1-e_{ge}^2)}{\sqrt{(1-e_{ge}^2 \sin^2(\varphi_{ge}))^3}} d(\varphi_{ge}) \quad (2.5.1)$$

2.5.2 Συνοπτική επισκόπηση μεθόδων επίλυσης προβλημάτων πλου στη μέγιστη έλλειψη

Οι μέχρι σήμερα γνωστές μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων στη μέγιστη έλλειψη είναι:

- η μέθοδος Bowring (1984),
- η μέθοδος Williams (1996),
- η μέθοδος Walwyn (1999),
- η μέθοδο Earle (2000/2008) και
- η προτεινόμενη νέα μέθοδος για ΣΗΝΧ (Pallikaris and Latsas 2009).

α. Η μέθοδος Bowring (1984)

Στην εργασία του Bowring (1984) παρέχονται τύποι για την επίλυση του ευθέος και του αντίστροφου προβλήματος στη μέγιστη έλλειψη. Οι τύποι αυτοί δεν καλύπτουν τον υπολογισμό των συντεταγμένων του κορυφαίου σημείου V (Σχ. 2.10) και των ενδιάμεσων σημείων του μέγιστου ελλειπτικού τόξου (Σχ. 2.1). Η μέθοδος στηρίζεται στη χρήση βοηθητικής γεωδαιτικής σφαίρας και για τη διευκόλυνση της συγκριτικής της αξιολόγησης με άλλες μεθόδους αναφέρονται τα επόμενα βασικά τμήματα υπολογισμών.

Στο αρχικό τμήμα των υπολογισμών προσδιορίζονται ορισμένες βασικές παράμετροι προαπαιτούμενες για τα επόμενα στάδια, όπως το σφαιρικό αζιμούθιο, η μικρή εκκεντρότητα της μέγιστης έλλειψης και οι τιμές του παραμετρικού γεωδαιτικού πλάτους του αρχικού και τελικού σημείου.

Για τον υπολογισμό της απόστασης (μήκος του τόξου της μέγιστης έλλειψης) χρησιμοποιούνται σύνθετοι τύποι που περιλαμβάνουν πολλές κατηγορίες συντεταγμένων (γεωδαιτικές, γεωκεντρικές, καρτεσιανές και πολικές). Παρά το γεγονός ότι στην εργασία του Bowring δεν δίνονται παραδείγματα αριθμητικής επίλυσης, οι τύποι υπολογισμού της απόστασης ελέγχθηκαν με αριθμητικές δοκιμές και διαπιστώθηκε, ότι δίνουν μεν πολύ ικανοποιητική ακρίβεια, αλλά είναι δυνατό να αντικατασταθούν με τους απλούστερους τύπους υπολογισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού (με την αντικατάσταση των βασικών παραμέτρων της μεσημβρινής έλλειψης με τις αντίστοιχες της μέγιστης έλλειψης) [Pallikaris and Latsas 2009].

Σε αντίθεση με τον υπολογισμό της απόστασης ο υπολογισμός των αζιμουθίων στη μέθοδο του Bowring εκτελείται με τη χρήση απλών τύπων, χωρίς την ανάγκη χρήσης σύνθετων μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης ή εξειδικευμένου μαθηματικού λογισμικού που απαιτείται σε άλλες μεθόδους, όπως στη μέθοδο του Earle (2008). Λόγω αυτών των πλεονεκτημάτων οι τύποι του Bowring για τον υπολογισμό των αζιμουθίων ενσωματώθηκαν στην προτεινόμενη νέα μέθοδο επίλυσης (§ 2.5.3).

β. Η μέθοδος Williams (1996)

Στην εργασία του Williams (1996) παρουσιάζεται μέθοδος υπολογισμού του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης. Στην εργασία αυτή δεν παρουσιάζεται μέθοδος υπολογισμού του αζιμουθίου ούτε μέθοδος επίλυσης του αντίστροφου προβλήματος. Ο υπολογισμός του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης υλοποιείται με τη (2.5.1) [Σχ. 2.3] για τον υπολογισμό του μήκους του τόξου της μεσημβρινής έλλειψης με την αντικατάσταση των παραμέτρων e και φ με την εκκεντρότητα της μέγιστης έλλειψης e_{ge} και τη γεωδαιτική γωνία φ_{ge} αντιστοίχως (Σχ. 2.11). Στην ερ-

γασία παρουσιάζονται σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων e_{ge} και ϕ_{ge} και για τον υπολογισμό του ολοκληρώματος της (2.5.1) χρησιμοποιείται η μέθοδος “cubic spline interpolation”.

Στην εργασία του Williams παρουσιάζονται επίσης αποτελέσματα συγκριτικών αριθμητικών δοκιμών της μεθόδου υπολογισμού του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης με την αριθμητική μέθοδο ολοκλήρωσης “cubic spline interpolation” και άλλες μεθόδους υπολογισμού ελάχιστης απόστασης στη σφαίρα και στο ελλειψοειδές. Τα αποτελέσματα αυτά καθώς και νεότερα πληρέστερα αριθμητικά συγκριτικά στοιχεία παρουσιάζονται στην § 2.5.4.

Τα ενδιαφέροντα σημεία της μεθόδου του Williams είναι οι σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων e_{ge} και ϕ_{ge} για τον υπολογισμό της απόστασης όχι μόνο με την αριθμητική μέθοδο ολοκλήρωσης “cubic spline interpolation”, αλλά με οποιαδήποτε μέθοδο αξιοποίησης της (2.5.1), ή των ισοδύναμων σχέσεων της μορφής της (2.2.20).

γ. Ο αλγόριθμος του Walwyn (1999)

Ο αλγόριθμος αυτός εκπονήθηκε για την υποστήριξη της αεροπλοΐας (Walwyn 1999).

Ο υπολογισμός της απόστασης στηρίζεται σε σύνθεση ορισμένων στοιχείων της μεθόδου του Williams για τον υπολογισμό των παραμέτρων της μέγιστης έλλειψης και υπολογισμού του μήκους του ελλειπτικού τόξου με σχέσεις της αναλυτικής γεωμετρίας. Για τη χρήση των σχέσεων αυτών χρησιμοποιεί υπεραπλουστευμένους/λανθασμένους⁸ τύπους μετασχηματισμού των γεωγραφικών συντεταγμένων (ϕ , λ) σε καρτεσιανές (X , Y , Z) [Pallikaris and Latsas 2009].

Για τον υπολογισμό των αζιμουθίων (πορείας στο αρχικό και στο τελικό σημείο του ελλειπτικού τόξου) προτείνεται η χρήση των τύπων για το ορθοδρομικό τόξο στη σφαίρα με το αιτιολογικό ότι οι τύποι αυτοί παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια για την αεροπλοΐα.

Για τον ακριβέστερο υπολογισμό των αζιμουθίων στο τόξο της μέγιστης έλλειψης προτείνεται η χρήση σύνθετων μαθηματικών σχέσεων, στις οποίες όμως, όπως και για τον υπολογισμό της απόστασης, χρησιμοποιούνται οι σχέσεις μετασχηματισμού των γεωγραφικών συντεταγμένων (ϕ , λ) σε καρτεσιανές (X , Y , Z) για την επιφάνεια της σφαίρας αντί των σωστών σχέσεων για το ΕΕΠ.

δ. Η μέθοδοι του Earle (2000/2008)

Στις εργασίες του Earle παρουσιάζονται μέθοδοι υπολογισμού της απόστασης (Earle 2000) και των αζιμουθίων στο αρχικό και στο τελικό σημείο του ελλειπτικού τόξου (Earle 2008). Οι προτεινόμενες μέθοδοι στηρίζονται σε μεθόδους της γραμμικής άλγεβρας και της διανυσματικής ανάλυσης. Η υλοποίηση των μεθόδων του Earle εξαρτάται από την αξιοποίηση των δυνατοτήτων εμπορικού λογισμικού και για το λόγο αυτό δεν προσφέρονται για την άμεση αξιοποίησή τους σε περιβάλλον ΣΗΝΧ.

ε. Η προτεινόμενη μέθοδος για ΣΗΝΧ

Η προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης προβλημάτων πλου στη μέγιστη έλλειψη (§ 2.5.3) στηρίζεται στη σύνθεση τμημάτων των μεθόδων Williams και Bowring σε συνδυασμό με τη χρήση βελτιστοποιημένων μεθόδων υπολογισμού του ελλειπτικού τόξου (Pallikaris and Latsas 2009). Η μέθοδος αναπτύχθηκε με στόχο αφενός μεν τον υπολογισμό σε ενιαίο περιβάλλον όλων των στοιχείων πλου στη μέγιστη έλλειψη, αφετέρου δε την αποφυγή χρήσης προηγμένων αριθμητικών μεθόδων, προκειμένου να διευκολύνεται η υλοποίησή του προτεινόμενου αλγορίθμου σε οποιοδήποτε περιβάλλον Η/Υ ακόμα και σε προγραμματιζόμενους υπολογιστές τσέπης.

2.5.3 Προτεινόμενη μέθοδος/αλγόριθμος επίλυσης στη μέγιστη έλλειψη

Η προτεινόμενη μέθοδος/αλγόριθμος υπολογισμού όλων των στοιχείων του πλου στη μέγιστη έλλειψη αποτελείται από τα επόμενα τέσσερα μέρη.

⁸ Χρησιμοποιούνται οι σχέσεις μετασχηματισμού των γεωγραφικών συντεταγμένων (ϕ , λ) σε καρτεσιανές (X , Y , Z) για την επιφάνεια της σφαίρας αντί των σωστών σχέσεων για το ΕΕΠ.

- Μέρος 1^ο: Υπολογισμός ορισμένων βασικών παραμέτρων, όπως η εκκεντρότητα της μέγιστης έλλειψης e_{ge} , η γεωκεντρική γωνία θ_{ge} , η γεωδαιτική γωνία φ_{ge} κ.α. που απαιτούνται για τα επόμενα μέρη των υπολογισμών. Στο τμήμα αυτό του αλγορίθμου χρησιμοποιείται η μεθοδολογία του Williams (1996).
- Μέρος 2^ο: Υπολογισμός του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης. Χρησιμοποιείται η (2.2.27) υπολογισμού του μήκους του τόξου της μεσημβρινής έλλειψης με αντικατάσταση των παραμέτρων e και φ του ελλειψοειδούς με τις τιμές της εκκεντρότητας της μέγιστης έλλειψης e_{ge} και της γεωδαιτικής γωνία φ_{ge} που υπολογίστηκαν στο πρώτο μέρος του αλγορίθμου.
- Μέρος 3^ο: Υπολογισμός των αζιμουθίων (πορείας στο αρχικό και στο τελικό σημείο του ελλειπτικού τόξου, καθώς και στα ενδιάμεσα σημεία). Χρησιμοποιείται η μεθοδολογία του Bowring. Αρχικά υπολογίζονται τα σφαιρικά αζιμούθια με τη χρήση των τύπων για το ορθοδρομικό τόξο σε βοηθητική σφαίρα και στη συνέχεια γίνεται αναγωγή των σφαιρικών αζιμουθίων σε ελλειπτικά.
- Μέρος 4^ο: Υπολογισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων του τόξου της μέγιστης έλλειψης. Ο υπολογισμός αυτός υλοποιείται με διαδοχικές επιλύσεις του ευθέως προβλήματος με τη μεθοδολογία του Bowring. Στις επιλύσεις αυτές οι γνωστές παράμετροι είναι οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του σημείου αναχώρησης, το υπολογισθέν στο τρίτο μέρος του αλγορίθμου αζιμούθιο στο σημείο αναχώρησης και η επιθυμητή απόσταση του ενδιάμεσου σημείου από το αρχικό. Η απόσταση αυτή καθορίζεται είτε με το επιθυμητό βήμα, π.χ. κάθε 100 ν.μ., είτε με τον επιθυμητό αριθμό των ενδιάμεσων σημείων του ελλειπτικού τόξου. Προκειμένου να αποφευχθεί η διάδοση σφαλμάτων στις διαδοχικές επιλύσεις του ευθέως προβλήματος, το αρχικό σημείο είναι πάντα το σημείο αναχώρησης και το σημείο προορισμού είναι το ενδιάμεσο σημείο.

Πιο αναλυτικά τα τμήματα του προτεινόμενου νέου αλγορίθμου είναι:

Μέρος 1^ο: Υπολογισμός βασικών παραμέτρων

Γεωκεντρικό πλάτος αρχικού και τελικού σημείου θ_1, θ_2 :

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left((1 - e^2) \tan(\varphi_1)\right) \quad (2.5.2)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left((1 - e^2) \tan(\varphi_2)\right) \quad (2.5.3)$$

όπου:

- φ_1 και φ_2 είναι τα γεωδαιτικά πλάτη των σημείων αναχώρησης και προορισμού Σ_1 και Σ_2
- θ_1 και θ_2 είναι τα αντίστοιχα γεωκεντρικά πλάτη.

Μετασχηματισμός γεωδαιτικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές

$$x_1 = R_1 \cos(\varphi_1) \cos(\lambda_1) \quad (2.5.4)$$

$$y_1 = R_1 \cos(\varphi_1) \sin(\lambda_1) \quad (2.5.5)$$

$$z_1 = R_1 (1 - e^2) \sin(\varphi_1) \quad (2.5.6)$$

$$x_2 = R_2 \cos(\varphi_2) \cos(\lambda_2) \quad (2.5.7)$$

$$y_2 = R_2 \cos(\varphi_2) \sin(\lambda_2) \quad (2.5.8)$$

$$z_2 = R_2 (1 - e^2) \sin(\varphi_2) \quad (2.5.9)$$

Όπου:

$$R_1 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(\varphi_1)}} \quad (2.5.10)$$

$$R_2 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(\varphi_2)}} \quad (2.5.11)$$

Συντελεστές λ_w, μ_w της εξίσωσης $z = \lambda_w x + \mu_w y$ του επιπέδου της μέγιστης έλλειψης που διέρχεται από τα σημεία O, Σ_1 και Σ_2 :

$$\lambda_w = \frac{y_1 z_2 - y_2 z_1}{x_2 y_1 - x_1 y_2} \quad (2.5.12)$$

$$\mu_w = \frac{x_1 z_2 - x_2 z_1}{x_1 y_2 - x_2 y_1} \quad (2.5.13)$$

Γεωκεντρικές συντεταγμένες κορυφαίου σημείου V:

$$\lambda_v = \tan^{-1} \left(\frac{\mu_w}{\lambda_w} \right) \quad (2.5.14)$$

$$\beta_v = \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(\lambda_w^2 + \mu_w^2)}{1 - e^2}} \right) \quad (2.5.15)$$

$$\theta_v = \cos^{-1} \left(\frac{\cos(\beta_v)}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(\beta_v)}} \right) \quad (2.5.16)$$

Εκκεντρότητα της μέγιστης έλλειψης e_{ge} :

$$e_{ge} = \frac{e \sin(\theta_v)}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2(\theta_v)}} \quad (2.5.17)$$

Γεωγραφικό πλάτος του σημείου E, στο οποίο η μέγιστη έλλειψη τέμνει τον ισημερινό (Σχ. 2.12):

$$\lambda_E = \lambda_v - \frac{\pi}{2} \quad (2.5.18)$$

Γεωκεντρικές γωνίες των σημείων αναχώρησης και προορισμού θ_{ge1} και θ_{ge2} :

$$\theta_{ge1} = \cos^{-1}(\cos(\theta_1) \cos(\lambda_1 - \lambda_E)) \quad (2.5.19)$$

$$\theta_{ge2} = \cos^{-1}(\cos(\theta_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_E)) \quad (2.5.20)$$

Γεωδαιτικές γωνίες φ_{ge1} και φ_{ge2} των σημείων αναχώρησης και προορισμού:

$$\varphi_{ge1} = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\theta_{ge1})}{1 - e_{ge}^2} \right) \quad (2.5.21)$$

$$\varphi_{ge2} = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\theta_{ge2})}{1 - e_{ge}^2} \right) \quad (2.5.22)$$

Μέρος 2^ο: Υπολογισμός μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης

Μήκος S_{12} του τόξου της μέγιστης έλλειψης:

$$S_{12} = \int_{\varphi_{ge1}}^{\varphi_{ge2}} \frac{a(1 - e_{ge}^2)}{\sqrt{(1 - e_{ge}^2 \sin^2(\varphi_{ge}))^3}} d(\varphi_{ge}) \approx$$

$$\approx a(1-e^2) \left(\left(1 + \frac{3}{4}e^2 + \dots \right) \varphi_{ge} - \left(\frac{3}{8}e^2 + \frac{15}{32}e^4 + \dots \right) \sin 2\varphi_{ge} + \dots \right)_{\varphi_{ge1}}^{\varphi_{ge2}} \quad (2.5.23)$$

με όρους μέχρι $\sin(8\varphi)$ [βλ. (2.2.27)]

Μέρος 3^ο: Υπολογισμός αζιμουθίων στο αρχικό και στο τελικό σημείο

Σφαιρικά αζιμούθια:

$$A_{0(1-2)} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\Delta\lambda)}{\cos(\theta_1) \tan(\theta_2) - \sin(\theta_1) \cos(\Delta\lambda)} \right) \quad (2.5.24)$$

$$A_{0(2-1)} = \tan^{-1} \left(\frac{-\sin(\Delta\lambda)}{\cos(\theta_2) \tan(\theta_1) - \sin(\theta_2) \cos(\Delta\lambda)} \right) \quad (2.5.25)$$

Όπου: $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$

Αναγωγή σφαιρικών αζιμουθίων σε ελλειπτικά:

$$A_{1-2} = \tan^{-1} \left(\tan(A_{0(1-2)}) \cos(\varphi_1 - \theta_1) \right) \quad (2.5.26)$$

$$A_{2-1} = \tan^{-1} \left(\tan(A_{0(2-1)}) \cos(\varphi_2 - \theta_2) \right) \quad (2.5.27)$$

Μέρος 4^ο: Υπολογισμός γεωγραφικών συντεταγμένων ενδιάμεσων σημείων

Πλήθος ενδιάμεσων σημείων:

$$([x]: \text{ακέραιο μέρος του } x) \quad N = [S_{12}/\Delta S] \quad (2.5.28)$$

Υπολογισμός νέων καρτεσιανών συντεταγμένων αρχικού σημείου:

$$x_1 = R_1 \cos(\varphi_1) \quad (2.5.29)$$

$$z_1 = R_1 (1 - e^2) \sin(\varphi_1) \quad (2.5.30)$$

Βοηθητικές παράμετροι της μέγιστης έλλειψης:

$$\varepsilon_0 = e_{ge} \left(\sin^2(\theta_1) + \cos^2(\theta_1) \cos^2(A_{0(1-2)}) \right) \quad (2.5.31)$$

$$b_0 = \frac{a}{\sqrt{1 + \varepsilon_0}} \quad (2.5.32)$$

$$n_0 = \frac{a - b_0}{a + b_0} \quad (2.5.33)$$

$$A = \frac{a \left(1 + \frac{1}{8} n_0^2 \right)^2}{1 + n_0} \quad (2.5.34)$$

Παραμετρικό πλάτος του σημείου αναχώρησης Σ_1 :

$$u_1 = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b_0} \frac{z_1}{x_1 \cos(A_{0(1-2)})} \right) \quad (2.5.35)$$

Βοηθητική γωνία Θ :

$$\Theta_1 = u_1 - \left(1 - \frac{3}{8} n_0^2 \right) r_1^{2/3} \sin \left(\frac{2}{3} \psi_1 \right) \quad (2.5.36)$$

Όπου:
$$r_1 = 1 - \frac{3}{4} n_0 \cos(2u_1) \quad (2.5.37)$$

(πολικές συντεταγμένες)
$$\psi_1 = \frac{3}{4} n_0 \sin(2u_1) \quad (2.5.38)$$

Απόσταση του σημείου αναχώρησης από το μεγάλο άξονα της μέγιστης έλλειψης:

$$M_1 = \Theta_1 A \quad (2.5.39)$$

Για το n-οστό ενδιάμεσο σημείο (n=1, 2, ..., N):

Υπολογισμός απόστασης από το αρχικό σημείο του τόξου της μέγιστης έλλειψης:

$$S_{1n} = n\Delta S$$

Απόσταση Mn από το μεγάλο άξονα και βοηθητική γωνία Θn:

$$M_n = M_1 + S_{1n} \quad (2.5.40)$$

$$\Theta_n = \frac{M_n}{A} \quad (2.5.41)$$

Παραμετρικό πλάτος του n-οστού ενδιάμεσου σημείου:

$$u_n = \Theta_n + \frac{5}{4} \left(1 - \frac{9}{16} n_0^2 \right) r_n^{\frac{8}{33}} \sin\left(\frac{8}{33} \psi_n \right) \quad (2.5.42)$$

Όπου:
$$r_n = 1 - \frac{33}{20} n_0 \cos(2\Theta_n) \quad (2.5.43)$$

(πολικές συντεταγμένες)
$$\psi_n = \frac{33}{20} n_0 \sin(2\Theta_n) \quad (2.5.44)$$

Γωνία του μεγάλου ημιάξονα της μέγιστης έλλειψης με τον άξονα X:

$$\mu_B = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(A_{0(1-2)}) \sin(\theta_1)}{\cos(A_{0(1-2)})} \right) \quad (2.5.45)$$

Καρτεσιανές συντεταγμένες του n-οστού ενδιάμεσου σημείου:

$$x_n = a \cos(u_n) \cos(\mu_B) + b_0 \sin(u_n) \sin(\mu_B) \cos(\theta_1) \sin(A_{0(1-2)}) \quad (2.5.46)$$

$$y_n = -a \cos(u_n) \sin(\mu_B) + b_0 \sin(u_n) \cos(\mu_B) \cos(\theta_1) \sin(A_{0(1-2)}) \quad (2.5.47)$$

$$z_n = b_0 \sin(u_n) \sqrt{\sin^2(\theta_1) + \cos^2(\theta_1) \cos^2(A_{0(1-2)})} \quad (2.5.48)$$

Γεωδαιτικές συντεταγμένες του n-οστού ενδιάμεσου σημείου:

$$\varphi_n = \tan^{-1} \left(\frac{z_n}{(1 - e^2) \sqrt{x_n^2 + y_n^2}} \right) \quad (2.5.49)$$

$$\lambda_n = \lambda_1 + \tan^{-1} \left(\frac{y_n}{x_n} \right) \quad (2.5.48)$$

Η αναλυτική επεξήγηση των σχέσεων του παραπάνω αλγορίθμου παρουσιάζεται στις εργασίες των Bowring (1984), Williams (1996), Pallikaris and Latsas (2009) και Pallikaris et al. (2009b). Αριθμητικά παραδείγματα υπολογισμών και συγκριτικής αξιολόγησης της παραπάνω μεθόδου με άλλες παρουσιάζονται στην § 2.5.4.

2.5.4 Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων επίλυσης στη μέγιστη έλλειψη

Η αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης προβλημάτων πλου στη μέγιστη έλλειψη εκτελέστηκε σε τρία στάδια, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

1^ο στάδιο αξιολόγησης: Υπολογισμός του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης

Στο πρώτο στάδιο εκτελέστηκε συγκριτική αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθόδου/ αλγορίθμου επίλυσης (§ 2.5.3) με τα αποτελέσματα παλαιότερων συγκριτικών δοκιμών άλλων μεθόδων, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί στις εργασίες των Williams (1996) και Earle (2000). Οι παλαιότερες αυτές αριθμητικές δοκιμές χρησιμοποιούν ως βάση τα οκτώ δρομολόγια πλου, τα οποία είχαν χρησιμοποιηθεί από τον Hiraiwa (1987) για τη σύγκριση αποστάσεων πλου στο ορθοδρομικό τόξο και στη γεωδαισιακή. Τα οκτώ αυτά δρομολόγια ορίζονται με σημεία αναχώρησης και προορισμού, τα οποία έχουν διαφορά γεωγραφικού μήκους 100° και βρίσκονται στους παραλλήλους 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70° και 80° (Πίνακας 2.5).

Για καλύτερη οπτική αντίληψη της απόστασης των οκτώ δρομολογίων του πίνακα 2.5 που χρησιμοποιούνται στο πρώτο στάδιο αξιολόγησης τα δρομολόγια αυτά αποδόθηκαν γραφικά για την περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού (Σχ. 2.12).

Οι αριθμητικές δοκιμές των Williams (1996) και Earle (2000) περιορίζονται στον υπολογισμό του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης και δεν περιλαμβάνουν υπολογισμούς των υπόλοιπων στοιχείων πλου (αζιμούθια, συντεταγμένες ενδιάμεσων σημείων κλπ). Οι αριθμητικές αυτές δοκιμές εκτελέστηκαν στο ελλειψοειδές Clarke 1866 και ως βάση αναφοράς για τη συγκριτική αξιολόγηση των αποστάσεων του τόξου της μέγιστης έλλειψης χρησιμοποιηθήκαν οι αποστάσεις στη γεωδαισιακή που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Lambert (§ 2.5.3).

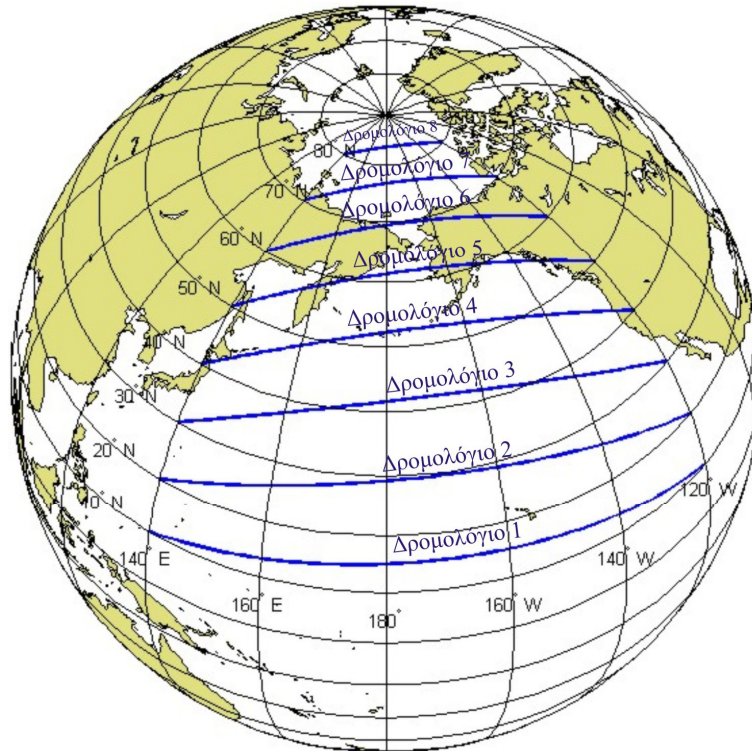
Επειδή η μέθοδος Lambert δεν παρέχει την καλύτερη δυνατή ακρίβεια στον υπολογισμό του μήκους της γεωδαισιακής και προκειμένου να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα, τα αποτελέσματα των αριθμητικών επίλυσεων των Williams (1996) και Earle (2000) επαναπροσδιορίστηκαν και συμπληρώθηκαν (Πίνακας 2.6) με:

- Τη χρήση ως βάση αναφοράς των αποστάσεων στη γεωδαισιακή γραμμή που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Vincenty, αντί της μεθόδου Lambert, η οποία είχε χρησιμοποιηθεί στις αρχικές δοκιμές των Williams, Earle και Hiraiwa στο ελλειψοειδές Bessel 1886.
- Τις αποστάσεις στο τόξο της μέγιστης έλλειψης που υπολογίστηκαν με την προτεινόμενη για ΣΗΝΧ νέα μέθοδο (§ 2.5.3).

Πίνακας 2.5

Δρομολόγια αριθμητικών δοκιμών Hiraiwa

Δρομολόγιο	Γεωγραφικό πλάτος σημείων αναχώρησης και προορισμού	Διαφορά γεωγραφικού μήκους σημείου αναχώρησης και προορισμού
Δρομολόγιο 1	10°	100°
Δρομολόγιο 2	20°	100°
Δρομολόγιο 3	30°	100°
Δρομολόγιο 4	40°	100°
Δρομολόγιο 5	50°	100°
Δρομολόγιο 6	60°	100°
Δρομολόγιο 7	70°	100°
Δρομολόγιο 8	80°	100°



Κάθε δρομολόγιο ορίζεται με σημεία αναχώρησης και προορισμού, τα οποία βρίσκονται στους παραλλήλους 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70° και 80° και έχουν διαφορά γεωγραφικού μήκους 100°.

Σχ. 2.12: Απεικόνιση των δρομολογίων αριθμητικών δοκιμών Hiraiwa στον Ειρηνικό Ωκεανό

Τα αποτελέσματα των συγκριτικών αριθμητικών δοκιμών που προαναφέρθηκαν για τον υπολογισμό του μήκους του μέγιστου ελλειπτικού τόξου παρουσιάζονται στον πίνακα 2.6. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις:

- ✓ Το μέσο σφάλμα κατά τον υπολογισμό του μήκους της γεωδαισιακής με τη μέθοδο Lambert ως προς το αντίστοιχο μήκος που υπολογίζεται με την ακριβέστερη μέθοδο Vincenty είναι 12,6 μέτρα. Η τιμή αυτή είναι διπλάσια από το μέσο σφάλμα του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης που υπολογίζεται με τις μεθόδους των Williams και Earle (Σχ. 2.13). Συνεπώς ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο σημείων ως το μήκος του τόξου της μέγιστης έλλειψης με τις μεθόδους των Williams και Earle δίνει καλύτερη προσέγγιση από αυτή του υπολογισμού του μήκους της γεωδαισιακής με τη μέθοδο Lambert.
- ✓ Το μέσο σφάλμα της προτεινόμενης νέας μεθόδου/αλγορίθμου (§ 2.5.3), στον υπολογισμό του μήκους του τόξου της μέγιστης έλλειψης είναι 4,38 μέτρα. Το σφάλμα αυτό είναι μικρότερο από το σφάλμα των 6,54 μέτρων των μεθόδων των Williams και Earle.
- ✓ Το μέγιστο σφάλμα της προτεινόμενης νέας μεθόδου/αλγορίθμου είναι 10,85 μέτρα. Το σφάλμα αυτό είναι μικρότερο από το μέγιστο σφάλμα των 15,72 μέτρων των μεθόδων των Williams και Earle. Το μέγιστο αυτό σφάλμα εμφανίζεται στο δρομολόγιο, το οποίο έχει τα σημεία αναχώρησης και προορισμού στον παράλληλο των 10°. Το μήκος του δρομολογίου αυτού είναι 5526,95 γεωγραφικά μίλια⁹.

⁹ Το γεωγραφικό μίλι αντιστοιχεί στο μήκος ενός πρώτου λεπτού της μοίρας στον ισημερινό. Οι αποστάσεις πλου στη γεωδαισιακή και στο τόξο της μέγιστης έλλειψης που υπολογίστηκαν σε αυτό (το πρώτο) στάδιο αξιολόγησης δίνονται σε γεωγραφικά μίλια προκειμένου να δοθεί δυνατότητα σύγκρισής τους με τους παλαιότερους υπολογισμούς συγκριτικής αξιολόγησης των Williams (1996) Earle (2000).

Πίνακας 2.6

Υπολογισμός απόστασης πλου στη γεωδαισιακή και στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο

Οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν για τα οκτώ δρομολόγια πλου του πίνακα 2.5. Οι μέθοδοι που αξιολογήθηκαν είναι:

- Μέθοδος Lambert (υπολογισμός στη γεωδαισιακή)
- Μέθοδος Williams (υπολογισμός στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο)
- Μέθοδος Earle (υπολογισμός στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο)
- Προτεινόμενη μέθοδος (υπολογισμός στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο).

Ως βάση αναφοράς για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Vincenty.

Στις στήλες με την ένδειξη D αναγράφονται οι υπολογισθείσες αποστάσεις, στις στήλες με την ένδειξη Δ οι διαφορές από τους υπολογισμούς με τη μέθοδο Vincenty σε μίλια και στις στήλες με την ένδειξη δ οι διαφορές σε μέτρα.

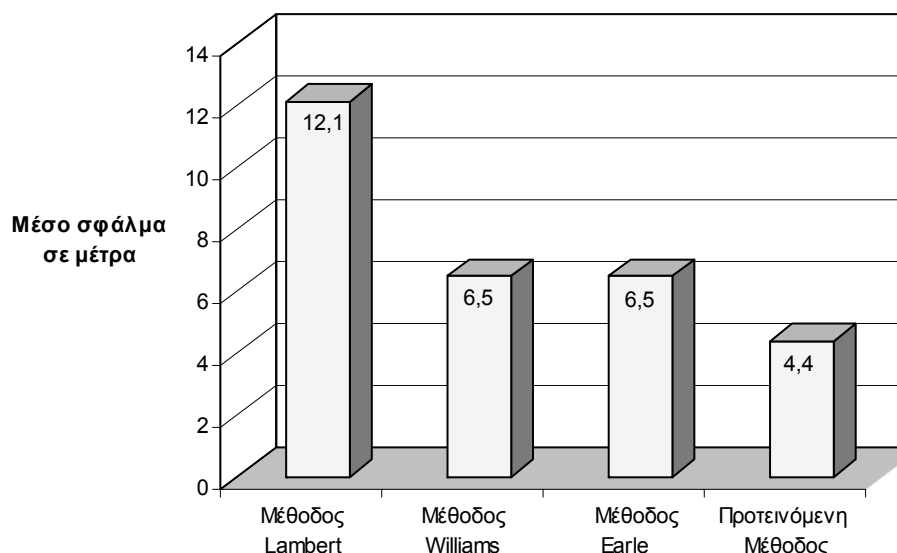
Οι αποστάσεις υπολογίστηκαν σε γεωγραφικά μίλια στο ΕΕΠ Bessel 1866 προκειμένου να δοθεί δυνατότητα σύγκρισής τους με τις παλαιότερες συγκριτικές αξιολογήσεις των Earle (2000), Williams (1996) και Hiraiwa (1987)

Δρομολόγιο	Μέθοδος Vincenty	Μέθοδος Lambert			Μέθοδος Earle			Μέθοδος Williams			Προτεινόμενη Μέθοδος		
	D	D	Δ	δ	D	Δ	δ	D	Δ	δ	D	Δ	δ
Δρομολόγιο 1 φ 10°	5877,3304	5877,33	-0,0004	0,7408	5877,33	-0,0004	0,7408	5877,33	-0,0004	0,7408	5877,333	0,0026	4,7659
Δρομολόγιο 2 φ 20°	5526,9515	5526,96	0,0085	15,7420	5526,96	0,0085	15,7420	5526,96	0,0085	15,7420	5526,9574	0,0059	10,8511
Δρομολόγιο 3 φ 10°	4991,2077	4991,21	0,0023	4,2596	4991,21	0,0023	4,2596	4991,21	0,0023	4,2596	4991,2132	0,0055	10,1893
Δρομολόγιο 4 φ 40°	4317,6179	4317,62	0,0021	3,8892	4317,62	0,0021	3,8892	4317,62	0,0021	3,8892	4317,6211	0,0032	5,9829
Δρομολόγιο 5 φ 50°	3546,7150	3546,71	-0,0050	9,2600	3546,72	0,0050	9,2600	3546,71	-0,0050	9,2600	3546,7163	0,0013	2,4254
Δρομολόγιο 6 φ 60°	2709,2864	2709,27	-0,0164	30,2987	2709,29	0,0036	6,7413	2709,29	0,0036	6,7413	2709,2867	0,0003	0,6336
Δρομολόγιο 7 φ 70°	1828,0620	1828,05	-0,0120	22,2240	1828,06	-0,0020	3,7040	1828,06	-0,0020	3,7040	1828,0621	0,0001	0,2121
Δρομολόγιο 8 φ 90°	920,2957	920,29	-0,0057	10,5564	920,30	0,0043	7,9636	920,30	0,0043	7,9636	920,29571	0,0000	0,0124
	Μέσο σφάλμα		-0,0033	12,1213		0,0029	6,5376		0,0017	6,5376		0,0024	4,3841

Πίνακας 2.7

Υπολογισμός απόστασης πλου και αρχικής πορείας (αζιμουθίου) στη γεωδαισιακή, στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο και στο τόξο του μέγιστο κύκλου

Δρομολόγιο	απόσταση στη γεωδαισιακή [Αλγόριθμος Vincenty]	Απόσταση και αρχική πορεία (αζιμούθιο)			
		Λογισμικό ΣΗΝΧ	Προτεινόμενη Μέθοδος	Ναυτιλιακό λογισμικό Navpack	
1. Mombassa - Pearth	4556,71	4557,23 122	4557.19 122	4551,2 122,1	
2. Valparaiso - Yokohama	9241,92	9242,78 281,8	9242.8 281,9	9233,7 282	
3. San Francisco USA- Yokohama	4502,34927	4502,86 302	4502.89 302	4489,7 302	
4. NewPort-Boston - Cape of Good Hope	6698,4952	6699,26 117,2	6699.26 117,3	6702,1 117,4	
5. Dakar - Leath harbour	4213,046	4213,54 191,8	4213.53 191,8	4224,5 191,7	
6. Buenos Ayres - Cape of Good Hope	3540,6917	3541,08 112,2	3541.1 112,1	3530,8 112,1	
7. NewPort-Boston - Lisbon	2813,4257	2813,74 71,5	2813.75 71,6	2804,9 71,6	
8. Rio de Janeiro - Cape of Good Hope	3269,2027	3268,78 116,8	3268.79 116,7	3261,1 116,8	
9. Sydney - Valparaiso	6128,41	6128,95 144,2	6129.12 144	6113 144,1	
10. Beirut - Tobruk	590,3244	590,39 262,2	590.37 262,2	589 262,1	



Τα σφάλματα των αξιολογούμενων μεθόδων αντιστοιχούν στις διαφορές (μέση τιμή) των αποστάσεων που υπολογίζονται από τις αξιολογούμενες μεθόδους ως προς τις ακριβείς αποστάσεις στη γεωδαισιακή που υπολογίζονται με τη μέθοδο Vincenty.

Οι αξιολογούμενες μέθοδοι είναι:

- Μέθοδος Lambert (υπολογισμός στη γεωδαισιακή)
- Μέθοδος Williams (υπολογισμός στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο)
- Μέθοδος Earle (υπολογισμός στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο)
- Προτεινόμενη Μέθοδος (υπολογισμός στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο)

Σχ. 2.13: Σφάλματα υπολογισμού απόστασης πλου στη γεωδαισιακή με τη μέθοδο Lambert και στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο με τις αξιολογούμενες μεθόδους

2^ο στάδιο αξιολόγησης: Υπολογισμός απόστασης πλου και αζιμουθίων στη μέγιστη έλλειψη

Το δεύτερο στάδιο αξιολόγησης αφορά τον υπολογισμό της απόστασης πλου στη μέγιστη έλλειψη και της πορείας (αζιμουθίου) στο αρχικό και τελικό σημείο για δέκα (10) επιλεγμένα δρομολόγια πλου. Τα δρομολόγια αυτά χρησιμοποιήθηκαν και στις αριθμητικές αξιολογήσεις του λοξοδρομικού πλου (Πίνακας 2.4, Σχ. 2.7). Για την αξιολόγηση αυτή υπολογίστηκαν τα στοιχεία πλου ελάχιστης απόστασης των δέκα αυτών δρομολογίων με τις επόμενες μεθόδους:

- i.) Τη μέθοδο Vincenty (1975) για τον υπολογισμό της απόστασης πλου και των αζιμουθίων στη γεωδαισιακή με ακρίβεια εκατοστού του μέτρου, προκειμένου να αποτελέσει βάση αναφοράς για τη σύγκριση των άλλων μεθόδων.
- ii.) Την προτεινόμενη νέα μέθοδο/αλγόριθμο επίλυσης (§ 2.5.3).
- iii.) Το ναυτιλιακό λογισμικό Navpack, το οποίο αναπτύχθηκε από κοινού από το βρετανικό αστεροσκοπείο και το ναυτικό παρατηρητήριο των ΗΠΑ (Hohenkerk and Yallop 2004).
- iv.) Αντιπροσωπευτικό λογισμικό που χρησιμοποιείται σε ΣΗΝΧ (ECDIS Kernel).
- v.) Τύποι υπολογισμού των στοιχείων του ορθοδρομικού τόξου (απόσταση και αζιμούθια) στη σφαίρα (§ 2.3).

Τα αποτελέσματα υπολογισμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 2.7. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις:

- Οι διαφορές των αποστάσεων στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο που υπολογίζονται με την προτεινόμενη μέθοδο, από τις αποστάσεις που υπολογίζονται με τη μέθοδο Vincenty είναι πρακτικά αμελητέες για τις ανάγκες της ναυσιπλοΐας.

- Οι μέγιστες αποκλίσεις μεταξύ της απόστασης στη γεωδαισιακή και στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο παρατηρούνται σε δρομολόγια πολύ μεγάλης απόστασης και με διαφορά γεωγραφικού πλάτους των σημείων αναχώρησης και προορισμού μεγαλύτερη από 120° περίπου. Εν τούτοις ακόμα και στις περιπτώσεις αυτές οι αποκλίσεις είναι πρακτικά αμελητέες για τη ναυσιπλοΐα¹⁰.
- Όλες οι μέθοδοι υπολογισμού της απόστασης σε μέγιστο κύκλο της σφαίρας παρέχουν την ίδια ακριβώς ακρίβεια.
- Οι αποκλίσεις μεταξύ της απόστασης στη γεωδαισιακή και στο μέγιστο κύκλο της σφαίρας σε ορισμένα δρομολόγια πλου υπερβαίνουν τα 15 ν.μ. (~28.5 km).
- Οι μέγιστες αποκλίσεις μεταξύ της απόστασης στη γεωδαισιακή και στο μέγιστο κύκλο της σφαίρας παρατηρούνται σε γεωγραφικά πλάτη 30° περίπου, όπως στο παράδειγμα του δρομολογίου “Sydney – Valparaiso” (πίνακας 2.7)¹¹.
- Το λογισμικό Navpack υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση πλου σε μέγιστο κύκλο της σφαίρας.
- Το αντιπροσωπευτικό λογισμικό που χρησιμοποιείται σε ΣΗΝΧ υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση πλου στο ΕΕΠ, χωρίς να είναι γνωστή η μέθοδος που χρησιμοποιείται¹².

3^ο στάδιο αξιολόγησης:

Υπολογισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων του τόξου της μέγιστης έλλειψης

Το τρίτο στάδιο αξιολόγησης αφορά τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων του τόξου της μέγιστης έλλειψης με την προτεινόμενη νέα μέθοδο/αλγόριθμο. Για την αξιολόγηση αυτή από τα δέκα δρομολόγια πλου του δεύτερου σταδίου αξιολόγησης επιλέχθηκε το δρομολόγιο πλου της μεγαλύτερης απόστασης. Στο δρομολόγιο αυτό το σημείο αναχώρησης βρίσκεται στις προσβάσεις του λιμένα Valparaiso της Χιλής ($\varphi = 37^{\circ} 45', 0470$ Βορ, $\lambda = 122^{\circ} 42', 0230$ Δυτ) και το σημείο προορισμού στις προσβάσεις του λιμένα “Yokohama” της Ιαπωνίας ($34^{\circ} 26', 178$ Βορ, $139^{\circ} 51', 39$ Αν).

Επειδή οι άλλες αξιολογούμενες μέθοδοι (Williams and Earle) δεν παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού των γεωδαιτικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων του τόξου της μέγιστης έλλειψης, για την αξιολόγηση του προτεινόμενου αλγορίθμου (§ 2.5.3) πραγματοποιήθηκε:

- i.) Υπολογισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων του εξεταζόμενου δρομολογίου “Valparaiso- Yokohama” στο τόξο της μέγιστης έλλειψης με την προτεινόμενη νέα μέθοδο/αλγόριθμο. Οι υπολογισθείσες τιμές, ανά 50 ν.μ., φαίνονται στον πίνακα 2.8.
- ii.) Απεικόνιση του εξεταζόμενου δρομολογίου “Valparaiso - Yokohama” με υποτύπωση των παραπάνω ενδιάμεσων σημείων στο χάρτη του Σχ. 2.14, ο οποίος εκπονήθηκε με το ΓΣΠ ArcGis 9.3.
- iii) Απεικόνιση του εξεταζόμενου δρομολογίου πλου ελάχιστης διαδρομής στην οθόνη τυπικού ΣΗΝΧ (Σχ. 2.15).

¹⁰ Ως παράδειγμα αναφέρονται τα δρομολόγια “Sydney – Valparaiso” και “Valparaiso – Yokohama” με διαφορά γεωγραφικού πλάτους των σημείων αναχώρησης και προορισμού μεγαλύτερες από 130°, οι αποκλίσεις μεταξύ της απόστασης στη γεωδαισιακή και στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο είναι μικρότερες του ενός ναυτικού μιλίου.

¹¹ Στο δρομολόγιο “Sydney – Valparaiso” (πίνακας 2.7) η απόσταση πλου στη γεωδαισιακή είναι 6128,41 ν.μ και η απόσταση στο μέγιστο κύκλο της σφαίρας είναι 6113 ν.μ. (διαφορά 15,41 ν.μ. ή 28,5 km περίπου). Στο δρομολόγιο πολύ μεγαλύτερης απόστασης “Valparaiso – Yokohama” η απόσταση πλου στη γεωδαισιακή είναι 9241,92 ν.μ και η απόσταση στο μέγιστο κύκλο της σφαίρας είναι 9233,7 ν.μ. (διαφορά 8,22 ν.μ.)

¹² Η πρακτική των κατασκευαστών ΣΗΝΧ να διαθέτουν το λογισμικό που αναπτύσσουν «κλειστό» για λόγους προστασίας της πνευματικής τους ιδιοκτησίας, έχει σαν αποτέλεσμα τα διατιθέμενα Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη για τη ναυσιπλοΐα να λειτουργούν σαν “μαύρα κουτιά”, τα οποία εκτελούν διάφορους υπολογισμούς και διαδικασίες, χωρίς να είναι γνωστές οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο ναυτιλιακό λογισμικό τους.

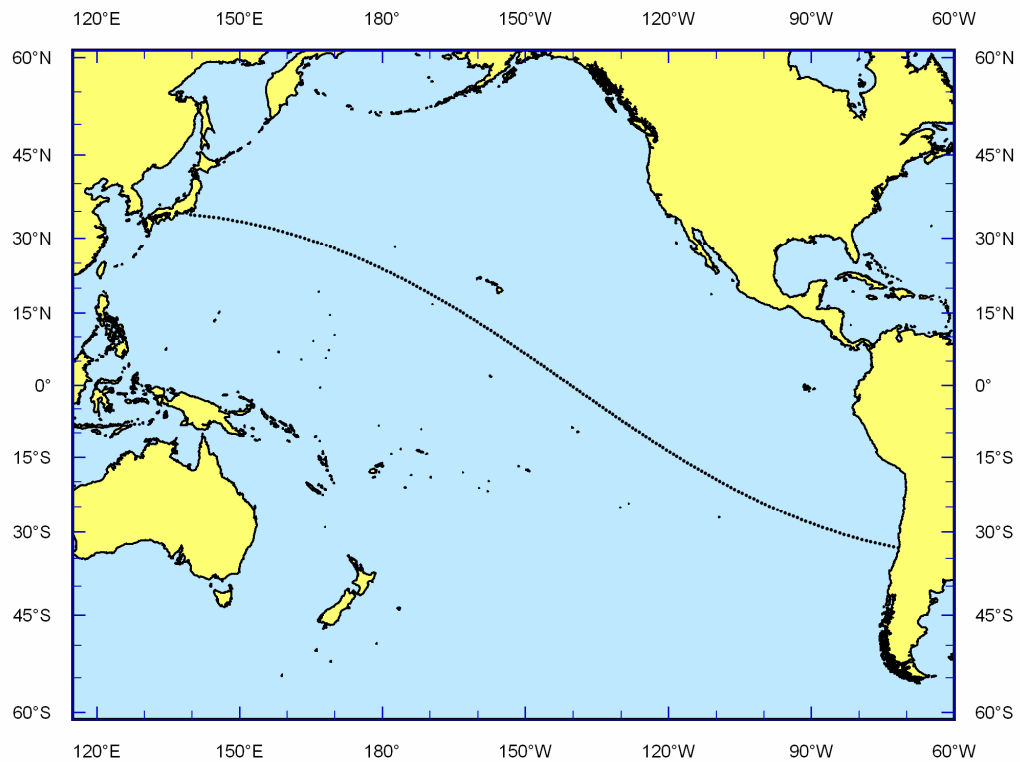
Πίνακας 2.8

Υπολογισμός γεωδαιτικών συντεταγμένων ενδιάμεσων σημείων του μέγιστου ελλειπτικού τόξου με την προτεινόμενη μέθοδο

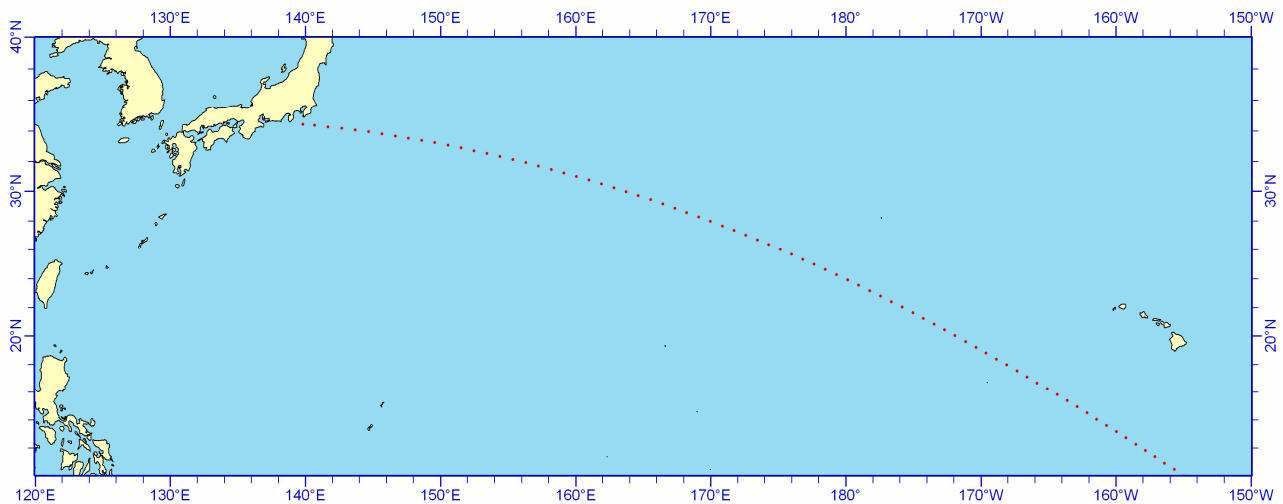
Calculating route from Valparaiso Chile to Yokohama, Japan ...

G.E. Arc Distance (N.M.): 9242.79658
 Forward Azimuth (degrees): 281.89505
 Inverse Azimuth (degrees): 95.79913
 Calculation of intermediate Waypoints, at a given leg distance.
 Leg distance in N.M.:50

WP	latitude	longitude	azimuth	legdistance	totaldistance
0	-33.00000	-71.61100	281.89505	*	*
1	-32.82416	-72.57869	282.41837	49.99978	49.99978
2	-32.64091	-73.54250	282.93705	49.99977	99.99955
3	-32.45031	-74.50233	283.45096	49.99977	149.99932
4	-32.25246	-75.45805	283.95994	49.99977	199.99909
5	-32.04744	-76.40957	284.46385	49.99977	249.99886
6	-31.83534	-77.35680	284.96257	49.99977	299.99863
7	-31.61624	-78.29964	285.45597	49.99977	349.99840
8	-31.39025	-79.23802	285.94394	49.99977	399.99817
9	-31.15744	-80.17186	286.42635	49.99978	449.99795
10	-30.91792	-81.10109	286.90311	49.99978	499.99773
11	-30.67179	-82.02565	287.37412	49.99978	549.99751
12	-30.41913	-82.94549	287.83928	49.99979	599.99730
13	-30.16004	-83.86055	288.29851	49.99979	649.99709
14	-29.89463	-84.77079	288.75173	49.99980	699.99689
.....					
.....					
.....					
105	8.57866	-152.88025	303.74985	49.99979	5250.00068
106	9.04316	-153.58054	303.64328	49.99979	5300.00047
107	9.50632	-154.28261	303.53087	49.99978	5350.00025
108	9.96807	-154.98657	303.41258	49.99978	5400.00003
109	10.42832	-155.69250	303.28840	49.99978	5449.99981
110	10.88701	-156.40050	303.15831	49.99977	5499.99958
111	11.34405	-157.11065	303.02228	49.99977	5549.99935
112	11.79938	-157.82306	302.88030	49.99977	5599.99912
113	12.25292	-158.53780	302.73232	49.99977	5649.99889
114	12.70458	-159.25499	302.57835	49.99977	5699.99866
115	13.15430	-159.97469	302.41833	49.99977	5749.99843
116	13.60199	-160.69701	302.25226	49.99977	5799.99820
117	14.04757	-161.42203	302.08011	49.99978	5849.99798
118	14.49097	-162.14985	301.90185	49.99978	5899.99776
119	14.93211	-162.88055	301.71744	49.99978	5949.99754
120	15.37090	-163.61421	301.52688	49.99979	5999.99733
.....					
.....					
.....					
179	33.80372	145.68126	279.05588	50.00018	8950.00161
180	33.93118	144.69221	278.50724	50.00017	9000.00178
181	34.05070	143.70030	277.95525	50.00016	9050.00193
182	34.16224	142.70571	277.40011	50.00015	9100.00208
183	34.26573	141.70860	276.84201	50.00014	9150.00222
184	34.36112	140.70914	276.28117	50.00013	9200.00235
185	34.43630	139.85200	*	42.79423	9242.79658



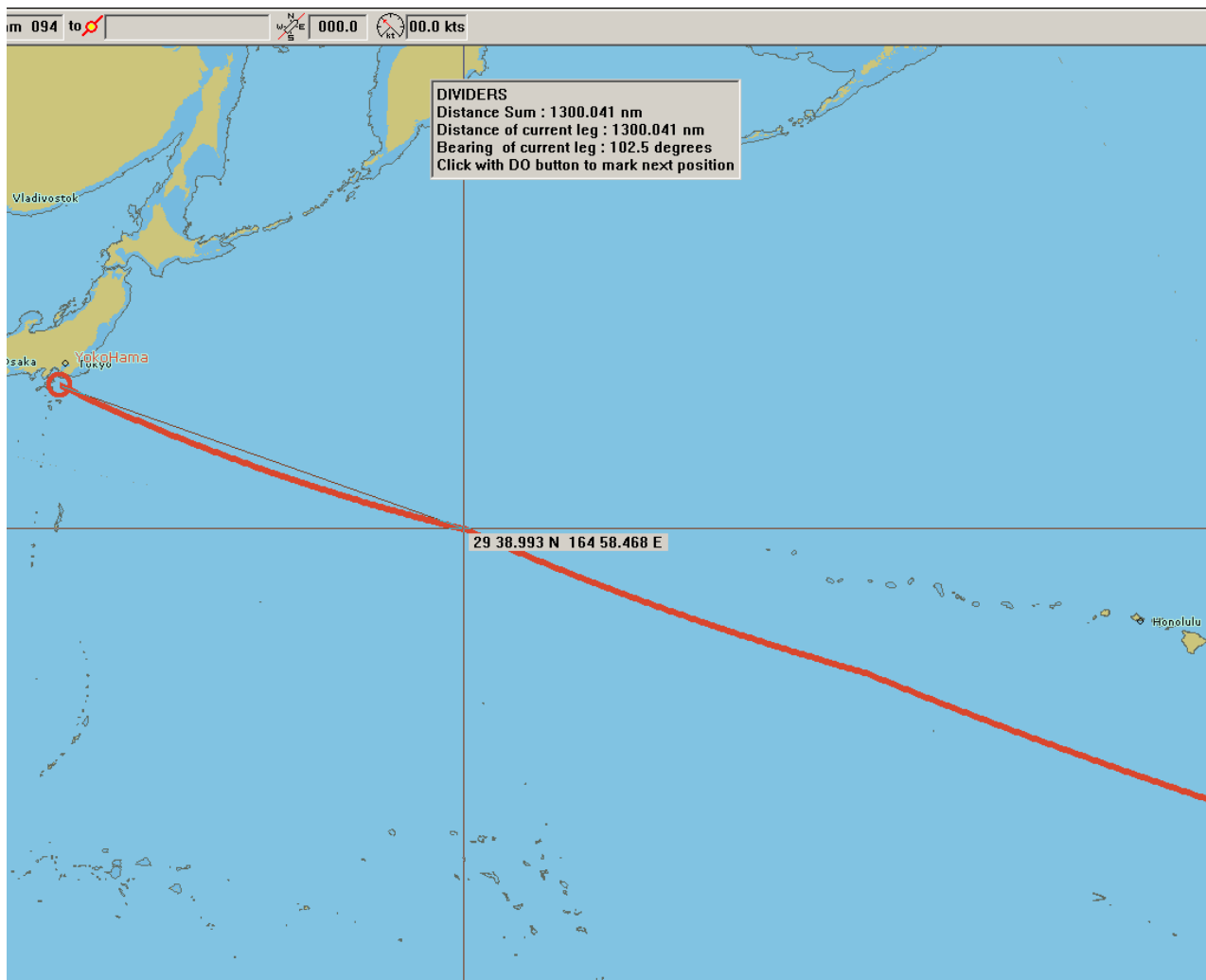
α. Απεικόνιση ολόκληρου του δρομολογίου πλου “Valparaiso-Yokohama” συνολικής απόστασης στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο 9242.8 ν.μ.



β. Λεπτομερέστερη απεικόνιση του τελευταίου τμήματος του δρομολογίου πλου “Valparaiso-Yokohama”.

Η απεικόνιση πραγματοποιήθηκε με τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων του μέγιστου ελλειπτικού τόξου σε διαδοχικές αποστάσεις 50 ν.μ.

Σχ. 2.14: Απεικόνιση δρομολογίου πλου πολύ μεγάλης απόστασης στο μέγιστο ελλειπτικό τόξο



Απεικόνιση του τελευταίου τμήματος του δρομολογίου ορθοδρομικού πλου από “Valparaiso” (Χιλή) προς “Yokohama” (Ιαπωνία) σε εξελεγμένο ΣΗΝΧ με αυτόματη επιλογή χαρτογραφικής απεικόνισης.

Για την περίπτωση αυτή η απεικόνιση που επιλέγεται αυτόματα από το ΣΗΝΧ είναι η αζιμουθιακή στερεογραφική.

Είναι εμφανής η προσέγγιση του δρομολογίου με ενδιάμεσα σημεία ανά 1300 ν.μ. και η απεικόνισή του με μη ομαλή γραμμή.

Σχ. 2.15: Απεικόνιση δρομολογίου πλου πολύ μεγάλης απόστασης σε τυπικό ΣΗΝΧ

Από τη σύγκριση της μορφής του εξεταζόμενου δρομολογίου “Valparaiso-Yokohama”, το οποίο απεικονίζεται στους χάρτες των σχημάτων 2.14 και 2.15, προκύπτουν οι επόμενες διαπιστώσεις:

Το δρομολόγιο που απεικονίζεται με την υποτύπωση των γεωδαιτικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων του τόξου της μέγιστης έλλειψης ανά 50 ν.μ., που υπολογίστηκαν με τον προτεινόμενο αλγόριθμο (Πίνακας 2.8), έχει τη μορφή ομαλής καμπύλης (Σχ. 2.14). Η ομαλότητα αυτή εξασφαλίζεται σε όλες τις κλίμακες απεικόνισης, επειδή ο προτεινόμενος αλγόριθμος παρέχει τη δυνατότητα άμεσου προσδιορισμού των συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων σε οποιαδήποτε επιθυμητή απόσταση, όσο μικρή και αν είναι, και όχι μόνο ανά 50 ν.μ., όπως στο χάρτη του σχήματος 2.14.

Το δρομολόγιο που απεικονίζεται στην οθόνη τυπικού ΣΗΝΧ, δεν έχει τη μορφή ομαλής καμπύλης αλλά εμφανίζει ορισμένες κορυφές, οι οποίες είναι άμεσα εντοπίσιμες σε μικρές κλίμακες απεικόνισης, σε αποστάσεις 1300 περίπου ναυτικών μιλίων (Σχ. 2.15). Η διαπίστωση αυτή σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το λογισμικό των ΣΗΝΧ είναι κλειστό και οι κατασκευαστές δεν παρουσιάζουν τις μεθόδους υπολογισμού των γεωγραφικών συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων των δρομολογίων πλου ελάχιστης απόστασης που χρησιμοποιούν, δημιουργεί αρκετά ερωτηματικά σχετικά με την ακρίβεια της απεικόνισης των δρομολογίων αυτών στην οθόνη των ΣΗΝΧ.

Από τις παραπάνω διαπιστώσεις, σε συνδυασμό και με τις διαπιστώσεις του πρώτου και του δευτέρου σταδίου αξιολόγησης, προκύπτει ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος υπολογισμού των στοιχείων πλου στη μέγιστη έλλειψη παρέχει την δυνατότητα:

- Υπολογισμού των στοιχείων πλου ελάχιστης απόστασης με προσέγγιση, η οποία για τις ανάγκες της ναυσιπλοΐας πρακτικά ταυτίζεται με τα στοιχεία πλου στη γεωδαισιακή.
- Ακριβέστερης χαρτογραφικής απόδοσης των δρομολογίων πλου ελάχιστης απόστασης, σε σχέση με τη συνήθη χαρτογραφική απόδοση των ΣΗΝΧ.

2.6 Σχόλια, συμπεράσματα και προτάσεις κεφαλαίου 2

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα της διερεύνησης μεθόδων επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας και προτάθηκαν βελτιωμένες μέθοδοι και αλγόριθμοι επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (§ 2.2.4) και πλου στη μέγιστη έλλειψη (§ 2.5.3). Η αξιοπιστία και η ακρίβεια των προτεινόμενων νέων μεθόδων επαληθεύτηκε με την εκτέλεση αριθμητικής αξιολόγησης εναλλακτικών μεθόδων επίλυσης καθώς και με δείγματα της χαρτογραφικής απόδοσης δρομολογίων πλου μεγάλης αποστάσεως, τόσο με το (κλειστό) λογισμικό τυπικού ΣΗΝΧ όσο και με τον υπολογισμό των συντεταγμένων των ενδιάμεσων σημείων των δρομολογίων με τις προτεινόμενες μεθόδους/αλγορίθμους.

Πιο συγκεκριμένα οι προτεινόμενες μέθοδοι αφορούν:

- Τον ακριβέστερο και αποτελεσματικότερο υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού που χρησιμοποιείται ως προαπαιτούμενος υπολογισμός για την επίλυση αρκετών προβλημάτων ναυσιπλοΐας. Το προϊόν της αναλυτικής συγκριτικής αξιολόγησης των μεθόδων υπολογισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού στο ελλειψοειδές (Pallikaris et al. 2009b), είναι δυνατό να αξιοποιηθεί για την επιλογή της κατά περίπτωση καταλληλότερης μεθόδου υπολογισμού και σε άλλες, εκτός από την επίλυση των ναυτιλιακών προβλημάτων, εφαρμογές, όπως: στους υπολογισμούς του μήκους της γεωδαισιακής, στις συναρτήσεις για τον ευθύ και τον αντίστροφο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ελλειψοειδούς σε σφαίρα και στις συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού των κυλινδρικών και κωνικών απεικονίσεων.
- Την ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη επίλυση των προβλημάτων λοξοδρομικού πλου (ευθέος και αντιστρόφου) στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς και τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων των δρομολογίων λοξοδρομικού πλου για την απεικόνιση των αντίστοιχων δρομολογίων στην οθόνη του συστήματος με χρήση οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης (Pallikaris et al. 2009a). Η αναλυτική εξαγωγή των τύπων της λοξοδρομίας στο ελλειψοειδές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του προτεινόμενου αλγορίθμου παρουσιάζεται στο παράρτημα Α.
- Τη νέα ολοκληρωμένη μέθοδο/αλγόριθμο επίλυσης του ευθέος και του αντιστρόφου προβλήματος πλου στη μέγιστη έλλειψη. Με τη μέθοδο αυτή, αφ' ενός επιτυγχάνεται ακρίβεια, η οποία για τις ανάγκες της ναυσιπλοΐας πρακτικά ταυτίζεται με αυτή της γεωδαισιακής, αφ' ετέρου υπολογίζονται άμεσα οι γεωδαιτικές συντεταγμένες μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων του μέγιστου ελλειπτικού τόξου για την ακριβέστερη απεικόνιση των αντίστοιχων δρομολογίων στην οθόνη του συστήματος με χρήση οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης (Pallikaris and Latsas 2009).

Με τους προτεινόμενους νέους αλγορίθμους επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας επιτυγχάνεται τόσο η ευχερέστερη και ακριβέστερη σχεδίαση του πλου όσο και η ευχερέστερη και ακριβέστερη απεικόνιση δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων στην οθόνη των ΣΗΝΧ σε οποιαδήποτε χαρτογραφική απεικόνιση. Εν τούτοις για την αποτελεσματικότερη οπτικοποίηση των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων με την ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων σε μη οπτικά εντοπίσιμα όρια (όπου αυτό είναι δυνατό), απαιτείται, εκτός από τον ακριβή υπολογισμό των συντεταγμένων μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων, και η χρησιμοποίηση της καταλληλότερης μεθόδου χαρτογραφικής απεικόνισης. Το θέμα αυτό (η επιλογή και η υλοποίηση της καταλληλότερης μεθόδου χαρτογραφικής απεικόνισης σε ΣΗΝΧ) εξετάζεται αναλυτικά στα κεφάλαια 3 έως 6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΠΛΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΕΠ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ

3.1 Βασικές αρχές και θεμελιώδη προβλήματα της αναλυτικής χαρτογραφίας

3.1.1 Το ευθύ και το αντίστροφο πρόβλημα της αναλυτικής χαρτογραφίας

Το ευθύ και το αντίστροφο πρόβλημα της αναλυτικής χαρτογραφίας αποτελούν βασικά εργαλεία της εφαρμοσμένης επιστημονικής έρευνας σε θέματα χαρτογραφικών απεικονίσεων με σκοπό, είτε τη δημιουργία νέων μεθόδων χαρτογραφικής απεικόνισης, είτε την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση και σύνθεση υφιστάμενων εφαρμογών (Bugayevskiy and Snyder 1998, 171-191).

Το ευθύ πρόβλημα αφορά το μετασχηματισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ_i, λ_i) των σημείων της επιφάνειας του ΕΕΠ στις συντεταγμένες (x_i, y_i) της επιφάνειας απεικόνισης $[(\varphi_i, \lambda_i) \rightarrow (x_i, y_i)]$ με χρήση των συναρτήσεων μετασχηματισμού f_1 και f_2 των (3.1.1) και (3.1.2).

$$x_i = f_1(\varphi_i, \lambda_i) \quad (3.1.1)$$

$$y_i = f_2(\varphi_i, \lambda_i) \quad (3.1.2)$$

Το αντίστροφο πρόβλημα αφορά το μετασχηματισμό $(x_i, y_i) \rightarrow (\varphi_i, \lambda_i)$ των συντεταγμένων (x_i, y_i) των σημείων της επιφάνειας απεικόνισης στις γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ_i, λ_i) των αντίστοιχων σημείων της επιφάνειας του ΕΕΠ, με χρήση των συναρτήσεων του αντίστροφου μετασχηματισμού (3.1.3) και (3.1.4).

$$\varphi_i = g_1(x_i, y_i) \quad (3.1.3)$$

$$\lambda_i = g_2(x_i, y_i) \quad (3.1.4)$$

Εκτός από την υποστήριξη της διαδικασίας παραγωγής χαρτών, τα δύο θεμελιώδη προβλήματα της αναλυτικής χαρτογραφίας αξιοποιούνται, τόσο για τη δημιουργία νέων χαρτογραφικών απεικονίσεων, όσο και για την ανάλυση των ιδιοτήτων όλων των χαρτογραφικών απεικονίσεων για την αποτελεσματικότερη αξιοποίησή τους σύμφωνα με τις ειδικές απαιτήσεις της εξεταζόμενης εφαρμογής.

Για τη ναυσιπλοΐα σε περιβάλλον ΣΗΝΧ τα δύο θεμελιώδη προβλήματα της αναλυτικής χαρτογραφίας αποτελούν βασικές συνιστώσες του ναυτιλιακού λογισμικού για την υποστήριξη της πλοήγησης σε πραγματικό χρόνο. Το ευθύ πρόβλημα χρησιμοποιείται για την απεικόνιση στον ηλεκτρονικό χάρτη της ακριβούς θέσεως (στίγματος) του πλοίου με βάση τις συντεταγμένες (φ_i, λ_i) που προσδιορίζονται συνεχώς από το σύστημα προσδιορισμού θέσεως. Το αντίστροφο πρόβλημα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων οποιουδήποτε σημείου του ΗΝΧ κατά τις διαδικασίες προετοιμασίας, σχεδίασης και εκτέλεσης του πλου στα ΣΗΝΧ, όπως ο προσδιορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων των σημείων που καθορίζονται ως κορυφές πολυγωνικών γραμμών κατά τη σχεδίαση του πλου για την επισήμανση ναυτιλιακών κινδύνων.

Από την ανάλυση των (3.1.1) και (3.1.2) του ευθέως προβλήματος προκύπτουν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης χαρτογραφικής απεικόνισης, όπως οι τιμές των παραμορφώσεων και με βάση αυτές οι ιδιότητες της συμμορφίας και της ισοδυναμίας. Για το θέμα αυτό, το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην § 3.2, αναφέρεται ενδεικτικά ότι:

- οι γραμμικές παραμορφώσεις h και k μιας χαρτογραφικής απεικόνισης στις διευθύνσεις του μεσημβρινού και του παραλλήλου προσδιορίζονται από σχέσεις της μορφής:

$$h = f(\partial x / \partial \varphi, \partial y / \partial \varphi) \quad \text{και} \quad k = g(\partial y / \partial \lambda, \partial y / \partial \lambda)$$

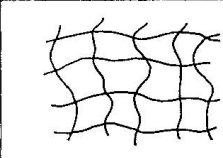
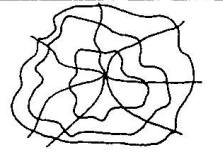
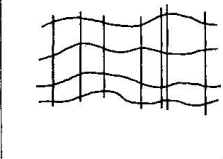
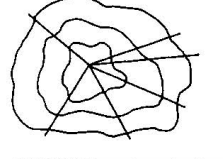
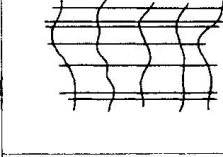
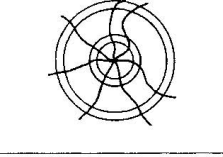
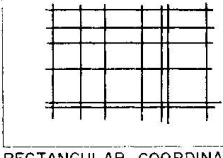
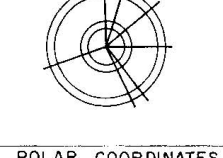
- η συμμορφία προσδιορίζεται από την ικανοποίηση της συνθήκης $h = k$ και η ισοδυναμία από την ικανοποίηση της συνθήκης $k = 1/h$.

Από τη μορφή των (3.1.1) και (3.1.2) προσδιορίζεται επίσης η μορφή του πλέγματος των μεσημβρινών και παραλλήλων. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι όταν οι παράλληλοι πλάτους απεικονίζονται με παράλληλες ευθείες, η (3.1.2) λαμβάνει τη μορφή:

$$y_i = g(\varphi_i)$$

Ορισμένες φορές η ανάλυση των σχέσεων του χαρτογραφικού μετασχηματισμού για τον προσδιορισμό ή τη σύγκριση των βασικών χαρακτηριστικών των χαρτογραφικών απεικονίσεων, υποστηρίζεται αποτελεσματικότερα με τη χρήση της παραμετρικής ταξινόμησης των χαρτογραφικών απεικονίσεων (Tobler 1962).

Πίνακας 3.1
Παραμετρική ταξινόμηση χαρτογραφικών απεικονίσεων
 (Tobler 1961)

	καρτεσιανές συντεταγμένες	πολικές συντεταγμένες	ενδεικτική μορφή πλέγματος μεσημβρινών και παραλλήλων	
Ομάδα A	$x=f_1(\varphi, \lambda)$ $y=f_2(\varphi, \lambda)$	$\theta=f_1(\varphi, \lambda)$ $r=f_2(\varphi, \lambda)$		
Ομάδα B	$x=f_1(\lambda)$ $y=f_2(\varphi, \lambda)$	$\theta=f_1(\lambda)$ $r=f_2(\varphi, \lambda)$		
Ομάδα C	$x=f_1(\varphi, \lambda)$ $y=f_2(\varphi)$	$\theta=f_1(\varphi, \lambda)$ $r=f_2(\varphi)$		
Ομάδα D	$x=f_1(\lambda)$ $y=f_2(\varphi)$	$\theta=f_1(\lambda)$ $r=f_2(\varphi)$		

Στις χαρτογραφικές απεικονίσεις της ομάδας A η μορφή των γραμμών των μεσημβρινών και παραλλήλων μπορεί να είναι τυχαίες καμπύλες. Στην ομάδα B οι μεσημβρινοί είναι ευθείες (παράλληλες, ή συγκλίνουσες σε ένα σημείο, ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται). Στην ομάδα C η μορφή των μεσημβρινών μπορεί να είναι τυχαίες καμπύλες και οι παράλληλοι πλάτους είναι ευθείες παράλληλες, ή ομόκεντροι κύκλοι (ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται). Στην ομάδα D ανήκουν χαρτογραφικές απεικονίσεις με τις πιο συνηθισμένες μορφές μεσημβρινών και παραλλήλων.

Στη μέθοδο της παραμετρικής ταξινόμησης των χαρτογραφικών απεικονίσεων χρησιμοποιείται η επόμενη γενικότερη μορφή των (3.1.1) και (3.1.2), στις οποίες οι παράμετροι u και v αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες των σημείων στην επιφάνεια απεικόνισης.

$$u=f_1(\varphi, \lambda) \quad (3.1.5)$$

$$v=f_2(\varphi, \lambda) \quad (3.1.6)$$

Με τη μορφή των (3.1.5) και (3.1.6) διακρίνονται καταρχήν οι κάτωθι τέσσερις ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων:

Ομάδα Α: $u=f_1(\varphi, \lambda)$ $v=f_2(\varphi, \lambda)$

Ομάδα Β: $u=f_1(\lambda)$ $v=f_2(\varphi, \lambda)$

Ομάδα C: $u=f_1(\varphi, \lambda)$ $v=f_2(\varphi)$

Ομάδα D: $u=f_1(\lambda)$ $v=f_2(\varphi)$

Αν οι παράμετροι u και v θεωρηθούν ότι αντιπροσωπεύουν είτε καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y), είτε πολικές συντεταγμένες (r, θ), προκύπτουν δύο μορφές για κάθε μία από τις ανωτέρω τέσσερις ομάδες. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οκτώ ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων, στις οποίες αντιστοιχούν διάφορες μορφές πλέγματος μεσημβρινών και παραλλήλων, όπως φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 3.1.

3.1.2 Μέθοδοι απεικόνισης της επιφάνειας του ΕΕΠ σε επίπεδο.

Η κλασική μέθοδος απεικόνισης της επιφάνειας του ΕΕΠ σε επίπεδο (Σχ. 3.1α) πραγματοποιείται με τις συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού της αναλυτικής χαρτογραφίας (§ 3.1.1). Εν τούτοις για ορισμένες χαρτογραφικές απεικονίσεις ο προσδιορισμός των σχέσεων της απεικόνισης των σημείων του ΕΕΠ σε επίπεδο $[(\varphi_i, \lambda_i) \leftrightarrow (x_i, y_i)]$ αποτελεί χρονοβόρα και επίπονη εργασία και για το λόγο αυτό σε ορισμένες χαρτογραφικές απεικονίσεις, είτε δεν είναι διαθέσιμοι τύποι για το ΕΕΠ, είτε συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται μόνο οι απλούστεροι τύποι απεικόνισης της σφαίρας αντί των τύπων του ΕΕΠ¹.

Για όσες περιπτώσεις δεν υπάρχουν τύποι για την άμεση απεικόνιση της επιφάνειας του ΕΕΠ σε επίπεδο, ή όταν οι τύποι αυτοί είναι αρκετά πολύπλοκοι, η απεικόνιση αυτή είναι δυνατό να υλοποιηθεί με την εκτέλεση ενός ενδιάμεσου μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε μια βοηθητική σφαίρα και στη συνέχεια με την απεικόνιση της σφαίρας σε επίπεδο (Σχ. 3.1β).

Κατά τον ενδιάμεσο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα και ανάλογα με τις απαιτήσεις της εξεταζόμενης εφαρμογής, είναι δυνατό να εξασφαλιστεί η διατήρηση κάποιας βασικής ιδιότητας, όπως: συμμορφία, ισοδυναμία, μηδενισμός των γραμμικών παραμορφώσεων σε κάποια διεύθυνση (μεσημβρινού, παραλλήλου, κεντρικού μεσημβρινού) κλπ. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να προκύψουν διάφορες ενδιάμεσες σφαίρες με διαφορετικά χαρακτηριστικά εκάστη.

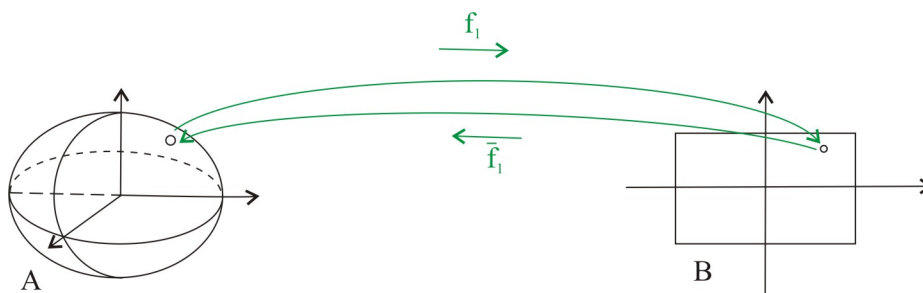
Οι μέθοδοι μετασχηματισμού του ΕΕΠ σε σφαίρα διακρίνονται σε:

- μετασχηματισμό με μηδενικές γωνιακές παραμορφώσεις (σφαίρα συμμορφίας),
- μετασχηματισμό με μηδενικές επιφανειακές παραμορφώσεις (ισοδύναμη σφαίρα),
- μετασχηματισμό με μηδενικές γραμμικές παραμορφώσεις στη διεύθυνση των μεσημβρινών (ισαπέχουσα στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρα),
- μετασχηματισμό με μηδενικές γραμμικές παραμορφώσεις στη διεύθυνση των παραλλήλων (ισαπέχουσα στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρα) και
- μετασχηματισμό με απλή χρήση των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ_i, λ_i) των σημείων του ΕΕΠ ως σφαιρικών γεωγραφικών συντεταγμένων της βοηθητικής σφαίρας².

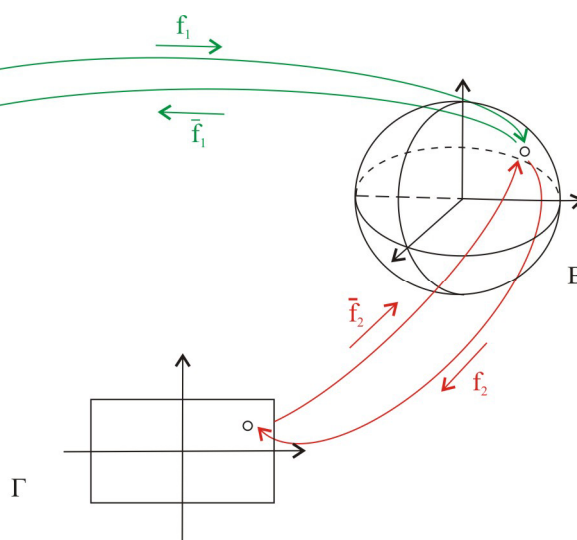
¹ Οι απεικονίσεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως για την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών πολύ μεγάλης έκτασης, οι οποίες καλύπτουν ένα ημισφαίριο ή και ολόκληρη την υδρόγειο σε πολύ μικρές κλίμακες, για τις οποίες δεν παρατηρούνται αξιόλογες διαφορές με τις αντίστοιχες απεικονίσεις του ΕΕΠ.

² Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μεν για αρκετές γενικές εφαρμογές, όπως για την απεικόνιση σε ΣΓΠ ολόκληρης της υδρόγειου καθώς και για την έκδοση χαρτών πολύ μικρής κλίμακας, αλλά δεν είναι κατάλληλη για χρήση στα

Στις παραπάνω μεθόδους μετασχηματισμού τα απεικονιζόμενα στη βοηθητική σφαίρα σημεία του ΕΕΠ είναι δυνατό να έχουν το ίδιο γεωγραφικό μήκος και διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος με τα αντίστοιχα σημεία του ΕΕΠ, να έχουν το ίδιο πλάτος και διαφορετικό μήκος, ή να έχουν διαφορετικό πλάτος και διαφορετικό μήκος.



α. απευθείας απεικόνιση ΕΕΠ σε επίπεδο



β. απεικόνιση ΕΕΠ σε επίπεδο με ενδιάμεση απεικόνιση σε βοηθητική σφαίρα

Σχ. 3.1: Μέθοδοι απεικόνισης ΕΕΠ σε επίπεδο

Για την υποστήριξη της εκτελεσθείσας έρευνας και αφού ελήφθη υπόψη, ότι οι βασικές απαιτήσεις για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των χαρτογραφικών απεικονίσεων στα ΣΗΝΧ, αφορούν:

- την αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ_i, λ_i) των σημείων της επιφάνειας του ΕΕΠ με τις συντεταγμένες (x_i, y_i) της απεικόνισής τους στο επίπεδο³,
- τον περιορισμό των γραμμικών, γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων σε όρια που δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες παραμορφώσεις της μορφής των απεικονιζόμενων στην οθόνη του συστήματος γεωγραφικών περιοχών,

επιλέχθηκαν για αρχική αξιολόγηση οι μέθοδοι μετασχηματισμού του ΕΕΠ σε σφαίρα συμμορφίας, σε ισοδύναμη σφαίρα, σε ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα και σε ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά των μετασχηματισμών της επιφάνειας του ΕΕΠ στις βοηθητικές αυτές σφαίρες παρουσιάζονται στην § 3.3 και τα αποτελέσματα της αξιολόγησής τους στην § 3.4.

ΣΗΝΧ, επειδή δεν διατηρεί την απαιτούμενη για τη ναυσιπλοΐα αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία των συντεταγμένων των σημείων του ΕΕΠ και της επιφάνειας απεικόνισης.

³ Η απαίτηση αυτή εξασφαλίζει τη σωστή απεικόνιση της θέσης του πλοίου στον ΗΝΧ και τον ακριβή προσδιορισμό των συντεταγμένων οποιουδήποτε σημείου του ΗΝΧ (§ 3.1.1).

3.2 Παραμορφώσεις απεικονίσεων

3.2.1 Βασικοί ορισμοί

Για την αξιολόγηση των παραμορφώσεων του μετασχηματισμού μιας επιφάνειας αναφοράς (π.χ. του ΕΕΠ) σε μία επιφάνεια απεικόνισης χρησιμοποιούνται διάφορα μετρήσιμα κριτήρια, τα οποία καθορίζονται με τις αρχές της διαφορικής γεωμετρίας, της θεωρίας της ελαστικότητας και της αναλυτικής χαρτογραφίας. Οι Grafarend και Krumm (2006) αναφέρουν 22 ειδικά κριτήρια προσδιορισμού των παραμορφώσεων. Τα κριτήρια αυτά συνήθως αναφέρονται με τα ονόματα των ερευνητών που τα προσδιόρισαν και αξιοποιούνται κυρίως για τη δημιουργία νέων χαρτογραφικών απεικονίσεων με ελεγχόμενες τιμές παραμορφώσεων, αλλά και για την αξιολόγηση των παραμορφώσεων υφιστάμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων. Ενδεικτικά παραδείγματα των ειδικών αυτών κριτηρίων αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο (§ 4.1).

Για την υποστήριξη της διαδικασίας επιλογής των καταλληλότερων χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ χρησιμοποιήθηκαν καταρχήν οι επόμενες βασικές παράμετροι αξιολόγησης παραμορφώσεων της αναλυτικής χαρτογραφίας⁴.

Η **τοπική κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης μ** (local linear scale) ή απλά **γραμμική παραμόρφωση** κατά μήκος μιας διεύθυνσης σε ένα σημείο της επιφάνειας απεικόνισης είναι το κλάσμα του μήκους μιας στοιχειώδους γραμμής ds στο επίπεδο απεικόνισης προς το μήκος ds' της αντίστοιχης στοιχειώδους γραμμής στην επιφάνεια αναφοράς (ΕΕΠ ή σφαίρα). Για την ποσοτική μέτρηση της γραμμικής παραμόρφωσης συνήθως χρησιμοποιείται ο συντελεστής γραμμικής κλίμακας. Ο **συντελεστής γραμμικής κλίμακας** (linear scale factor) κατά μήκος μιας διεύθυνσης σε ένα σημείο της επιφάνειας απεικόνισης είναι το κλάσμα της τοπικής κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης προς την κύρια κλίμακα. Η **κύρια κλίμακα μ_0** (principal scale), γνωστή και ως συντελεστής απεικόνισης (representation factor), είναι η κλίμακα του σμικρμένου γεωμετρικού μοντέλου της γης (ΕΕΠ ή σφαίρας) και ορίζεται ως το κλάσμα των αντίστοιχων ακτίνων του ισημερινού (για το σμικρμένο και για το αρχικό μοντέλο).

Για την αποτελεσματικότερη ανάλυση των παραμορφώσεων ο συντελεστής γραμμικής κλίμακας προσδιορίζεται θεωρώντας ότι η τιμή της κύριας κλίμακας είναι ίση με ένα. Με τον τρόπο αυτό η τιμή του συντελεστή γραμμικής κλίμακας είναι ίση με την τοπική κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης. Ο **συντελεστής γραμμικής κλίμακας στη διεύθυνση του μεσημβρινού** συμβολίζεται με h και ο **συντελεστής γραμμικής κλίμακας στη διεύθυνση του παραλλήλου** με k . Πολλές φορές οι συντελεστές αυτοί χρησιμοποιούνται με τη μορφή του σφάλματος γραμμικής κλίμακας, το οποίο υπολογίζεται από τις διαφορές: $(h-1)$ και $(k-1)$.

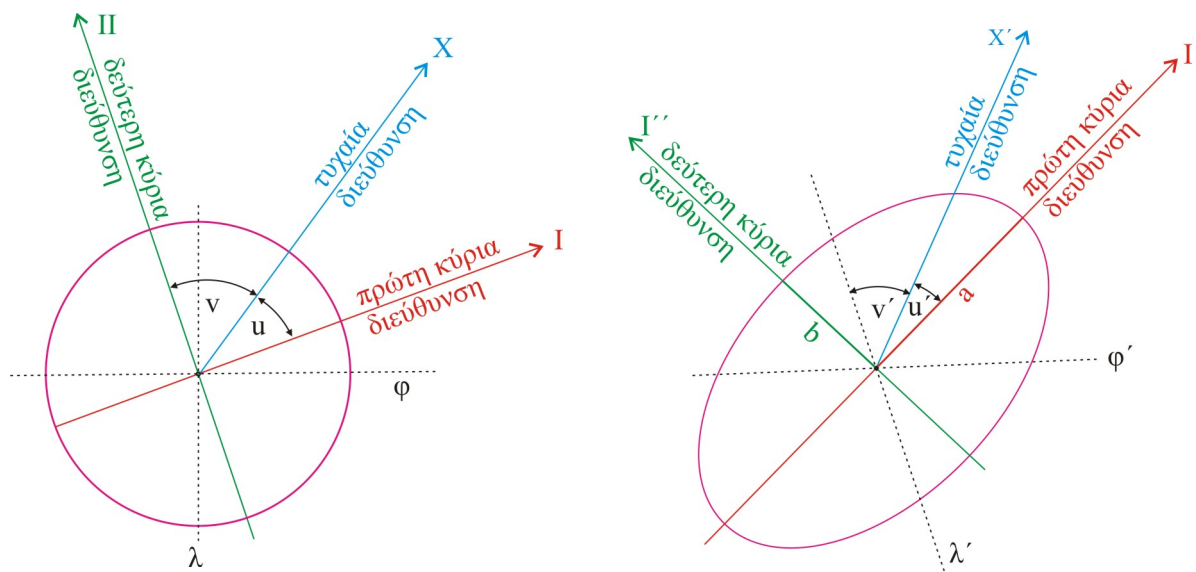
Η **τοπική κλίμακα επιφανειακής παραμόρφωσης** (local area scale), ή απλά **επιφανειακή παραμόρφωση** σε ένα σημείο του επιπέδου απεικόνισης είναι το κλάσμα του εμβαδού dE ενός στοιχειώδους τετραπλεύρου στο επίπεδο απεικόνισης προς το εμβαδό dE' του αντίστοιχου στοιχειώδους τετραπλεύρου στην επιφάνεια αναφοράς (ΕΕΠ ή σφαίρα).

Για την ποσοτική μέτρηση της επιφανειακής παραμόρφωσης συνήθως χρησιμοποιείται ο συντελεστής επιφανειακής κλίμακας.

Ο **συντελεστής επιφανειακής κλίμακας p** (area scale factor) είναι το κλάσμα της τοπικής κλίμακας επιφανειακής παραμόρφωσης προς την κλίμακα επιφανειακής παραμόρφωσης στη **κεντρική γραμμή**, ή το **κεντρικό σημείο** της απεικόνισης. Μία γραμμή/ένα σημείο ονομάζεται κεντρική/ό, όταν οι γραμμικές, οι επιφανειακές και οι γωνιακές παραμορφώσεις στη γραμμή αυτή/ (στο σημείο αυτό) έχουν τις ελάχιστες τιμές (Bugayevskiy and Snyder 1998, 28).

Πολλές φορές ο συντελεστής επιφανειακής κλίμακας χρησιμοποιείται με τη μορφή του σφάλματος επιφανειακής κλίμακας, το οποίο υπολογίζεται από τη διαφορά: $(p-1)$.

⁴ Εκτός από τις βασικές αυτές παραμέτρους, για την υποστήριξη της εκτελεσθείσας έρευνας (επιλογή απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ) χρησιμοποιήθηκαν και άλλες παράμετροι που δημιουργήθηκαν ειδικά για το σκοπό αυτό. Οι παράμετροι αυτές παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο 4.



Ένας στοιχειώδης κύκλος στην επιφάνεια αναφοράς, θεωρείται ότι είναι επίπεδο σχήμα

α. Επιφάνεια αναφοράς (σφαίρα ή ΕΕΠ)

Η απεικόνιση του στοιχειώδους κύκλου στην επιφάνεια απεικόνισης είναι έλλειψη

β. Επιφάνεια απεικόνισης (Επίπεδο χαρτογραφικής απεικόνισης)

Σχ. 3.2: Έλλειψη παραμόρφωσης

Η γωνιακή παραμόρφωση ορίζεται αποτελεσματικότερα με την αναφορά στις βασικές αρχές του θεωρήματος του Tissot και σε παραμέτρους της έλλειψης παραμόρφωσης. Σύμφωνα με το θεώρημα του Tissot (Richardus and Adler 1972):

- Κάθε στοιχειώδης κύκλος στην επιφάνεια της σφαίρας (ή του ΕΕΠ) απεικονίζεται στο επίπεδο ως έλλειψη γνωστή ως έλλειψη παραμόρφωσης, ή **δείκτρια Tissot** (Σχ. 3.2).
- Σε κάθε σημείο της σφαίρας (ή του ΕΕΠ) υπάρχουν δύο διευθύνσεις που τέμνονται με γωνία 90° οι οποίες απεικονίζονται στο επίπεδο με γραμμές που τέμνονται επίσης με γωνία 90° . Οι διευθύνσεις αυτές λέγονται **κύριες διευθύνσεις**.
- Οι κύριες διευθύνσεις, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη χαρτογραφική απεικόνιση, δεν αντιστοιχούν απαραίτητα στις διευθύνσεις του μεσημβρινού και του παραλλήλου.
- Η μέγιστη και η ελάχιστη τοπική κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης σε ένα σημείο, εμφανίζονται στις κύριες διευθύνσεις του μεγάλου και μικρού ημιάξονα της έλλειψης παραμόρφωσης αντιστοίχως.
- Όταν οι μεσημβρινοί και οι παράλληλοι στην επιφάνεια απεικόνισης σχηματίζουν γωνία 90° , η τοπική κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης στη διεύθυνση του μεσημβρινού είναι ίση με τη μέγιστη τοπική κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης a και η τοπική κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης στη διεύθυνση του παραλλήλου είναι ίση με την ελάχιστη τοπική κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης b .

Γωνιακή παραμόρφωση ω κατά μήκος μιας διεύθυνσης σε ένα σημείο του επιπέδου απεικόνισης είναι η διαφορά μεταξύ των γωνιών u και u' , [$\omega = u - u'$], οι οποίες ορίζονται ως εξής:

- Η γωνία u (Σχ. 3.2.α), αντιστοιχεί στη γωνία μεταξύ μιας τυχαίας διεύθυνσης X και της κύριας διεύθυνσης I της μέγιστης γραμμικής παραμόρφωσης στην επιφάνεια αναφοράς (ΕΕΠ ή σφαίρα).

- β. Η γωνία u' (Σχ. 3.2.β) αντιστοιχεί στη γωνία μεταξύ της απεικόνισης X' της τυχαίας διεύθυνσης (γραμμής) και της απεικόνισης της κύριας διεύθυνσης της μέγιστης γραμμικής παραμόρφωσης I'' στην επιφάνεια απεικόνισης (στο επίπεδο).

3.2.2 Εξισώσεις υπολογισμού παραμορφώσεων

Ο υπολογισμός των γραμμικών, των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων των χαρτογραφικών απεικονίσεων υλοποιείται με την εφαρμογή των βασικών αρχών της θεωρίας των παραμορφώσεων των επιφανειών της διαφορικής γεωμετρίας, όπως αυτές εφαρμόζονται στις χαρτογραφικές απεικονίσεις. Οι αρχές αυτές, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά σε συγγράμματα αναλυτικής χαρτογραφίας⁵, χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς που εκτελούνται τόσο στο παρόν κεφάλαιο, όσο και στα επόμενα και για το λόγο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά στην συνέχεια.

Κατά την απεικόνιση μιας τυχαίας επιφάνειας αναφοράς, τα σημεία της οποίας προσδιορίζονται με τις παραμέτρους (ϕ , λ), [οι οποίες δεν αναφέρονται απαραίτητα στο γεωγραφικό πλάτος και στο γεωγραφικό μήκος], σε μία επιφάνεια απεικόνισης [όχι κατ' ανάγκη σε επίπεδο], η γενική σχέση υπολογισμού της γραμμικής παραμόρφωσης μ σε οποιαδήποτε διεύθυνση ενός σημείου στην επιφάνεια απεικόνισης είναι:

$$\mu = \sqrt{\frac{E'd\phi^2 + 2F'd\phi d\lambda + G'd\lambda^2}{Ed\phi^2 + 2Fd\phi d\lambda + Gd\lambda^2}} \quad (3.2.1)$$

Όπου:

- οι παράμετροι E' , F' , G' είναι τα βασικά θεμελιώδη μεγέθη πρώτης τάξης του Gauss για κάθε σημείο της επιφάνειας απεικόνισης που δίνονται από τις σχέσεις (3.2.2) έως (3.2.4)
- οι παράμετροι E , F , G είναι τα αντίστοιχα βασικά θεμελιώδη μεγέθη πρώτης τάξης για την επιφάνεια αναφοράς (datum surface).

$$E' = \left(\frac{\partial x}{\partial \phi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \phi}\right)^2 \quad (3.2.2)$$

$$F' = \left(\frac{\partial x}{\partial \phi}\right)\left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right) + \left(\frac{\partial y}{\partial \phi}\right)\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right) \quad (3.2.3)$$

$$G' = \left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2 \quad (3.2.4)$$

Στην κλασική περίπτωση χρησιμοποίησης των χαρτογραφικών απεικονίσεων για την απευθείας απεικόνιση της επιφάνειας του ΕΕΠ (ή της σφαίρας) σε επίπεδο (Σχ. 3.1.α), η επιφάνεια αναφοράς είναι η επιφάνεια του ΕΕΠ (ή της σφαίρας), η επιφάνεια απεικόνισης είναι το επίπεδο και οι παράμετροι (ϕ , λ) είναι το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος. Κατά το μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαιρική επιφάνεια (Σχ. 3.1β) η επιφάνεια αναφοράς είναι η επιφάνεια του ΕΕΠ και η επιφάνεια απεικόνισης είναι η επιφάνεια της χρησιμοποιούμενης βοηθητικής σφαίρας⁶.

Για την επιφάνεια του ΕΕΠ οι τιμές των μεγεθών E , F , G δίνονται από τις (3.2.5), (3.2.6) και (3.2.7).

$$E = R_M^2 = \frac{a^2(1-e^2)^2}{(1-e^2\sin^2\phi)^3} \quad (3.2.5)$$

⁵ (Richardus and Adler 1972), (Maling, 1973), (Snyder 1987), (Pearson 1990), (Bugayevskiy and Snyder 1998), (Yang, Snyder and Tobler 2000), (Grafarend and Krumm 2006).

⁶ Βλ. § 3.1.2, § 3.3.

$$F = 0 \quad (3.2.6)$$

$$G = R_N^2 \cos^2 \varphi = \frac{a^2}{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \cos^2 \varphi \quad (3.2.7)$$

Όπου:

R_M και R_N είναι οι ακτίνες καμπυλότητας ενός σημείου στη επιφάνεια του ΕΕΠ στις διευθύνσεις του μεσημβρινού και της πρώτης καθέτου αντιστοίχως.

Από τη γενική σχέση (3.2.1) με αντικατάσταση των τιμών των μεγεθών E , F και G σύμφωνα με τις (3.2.5) έως (3.2.7), προκύπτει η (3.2.8) για τον υπολογισμό της τοπικής γραμμικής παραμόρφωσης μ σε ένα σημείο του επιπέδου απεικόνισης οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης σε τυχαία διεύθυνση α (Bugayevskiy and Snyder 1998, 17-19).

$$\mu^2 = \frac{E'd\varphi^2 + 2F'd\varphi d\lambda + G'd\lambda^2}{R_M^2 d\varphi^2 + R_P^2 d\lambda^2} = \frac{E'}{R_M^2} \cos^2 \alpha + \frac{F'}{R_M R_P} \sin 2\alpha + \frac{G'}{R_P^2} \sin^2 \alpha \quad (3.2.8)$$

Από τη (3.2.8) που δίνει την τιμή της γραμμικής παραμόρφωσης μ σε τυχαία διεύθυνση α , προκύπτουν οι (3.2.9) και (3.2.10) για τον υπολογισμό της γραμμικής παραμόρφωσης h στη διεύθυνση του μεσημβρινού ($\alpha = 0^\circ$) και για τον υπολογισμό της τοπικής γραμμικής παραμόρφωσης k στη διεύθυνση του παραλλήλου ($\alpha = 90^\circ$).

$$h = \frac{\sqrt{E'}}{R_M} \quad (3.2.9)$$

$$k = \frac{\sqrt{G'}}{R_P} \quad (3.2.10)$$

Για τον υπολογισμό της μέγιστης τοπικής κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης a και της ελάχιστης τοπικής κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης b , χρησιμοποιούνται οι (3.2.11) και (3.2.12).

$$a = \frac{1}{2} (\sqrt{h^2 + 2hk \cos \varepsilon + k^2} + \sqrt{h^2 - 2hk \cos \varepsilon + k^2}) \quad (3.2.11)$$

$$b = \frac{1}{2} (\sqrt{h^2 + 2hk \cos \varepsilon + k^2} - \sqrt{h^2 - 2hk \cos \varepsilon + k^2}) \quad (3.2.12)$$

Όπου:

ε : είναι η συμπληρωματική γωνία της γωνίας τομής του μεσημβρινού και παραλλήλου i ($\varepsilon = 90^\circ - i$), που δίνεται από τη (3.2.13).

$$\varepsilon = \arctan\left(-\frac{F'}{H'}\right) \quad (3.2.13)$$

Όπου:

H είναι η διακρίνουσα της επιφάνειας αναφοράς σε ένα σημείο του επιπέδου απεικόνισης που δίνεται από τη (3.2.14).

$$H = \sqrt{E'G' - F'^2} \quad (3.2.14)$$

Ο υπολογισμός της τοπικής κλίμακας επιφανειακής παραμόρφωσης p πραγματοποιείται με τη (3.2.15).

$$p = hk \cos \varepsilon = ab \quad (3.2.15)$$

Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση ω σε κάθε σημείο του επιπέδου απεικόνισης δίνεται από τη (3.2.16).

$$\omega = \frac{|h - k|}{h + k} \quad (3.2.16)$$

Από την ανωτέρω συνοπτική παρουσίαση προκύπτει ότι για τον υπολογισμό των γραμμικών, των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων με τις (3.2.8) έως (3.2.16) απαιτείται ο προσδιορισμός των μεγεθών:

- E, F, H και G για την επιφάνεια αναφοράς (ΕΕΠ ή σφαίρα).
- E', F', G' και H' σε ένα σημείο της επιφάνειας απεικόνισης.

Για τον προσδιορισμό των μεγεθών E, F, H και G στα σημεία της επιφάνειας της σφαίρας χρησιμοποιούνται οι (3.2.5) έως (3.2.7) με τιμή της πρώτης εκκεντρότητας e ίση με μηδέν (e=0) και αντικατάσταση της παραμέτρου a με την τιμή της ακτίνας R της σφαίρας (συνήθως χρησιμοποιείται σφαίρα μοναδιαίας ακτίνας, R=1). Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα μεγέθη E', F', H' και G' με τις (3.2.2) έως (3.2.4), από τα οποία προκύπτουν τύποι προσδιορισμού των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων. Παραδείγματα προσδιορισμού των μεγεθών E', F', H' και G' για επιλεγμένες χαρτογραφικές απεικονίσεις καθώς και τύποι υπολογισμού των παραμορφώσεων για μεγάλο αριθμό χαρτογραφικών απεικονίσεων με επιφάνεια αναφοράς τη σφαίρα παρέχονται από τον Maling (1973).

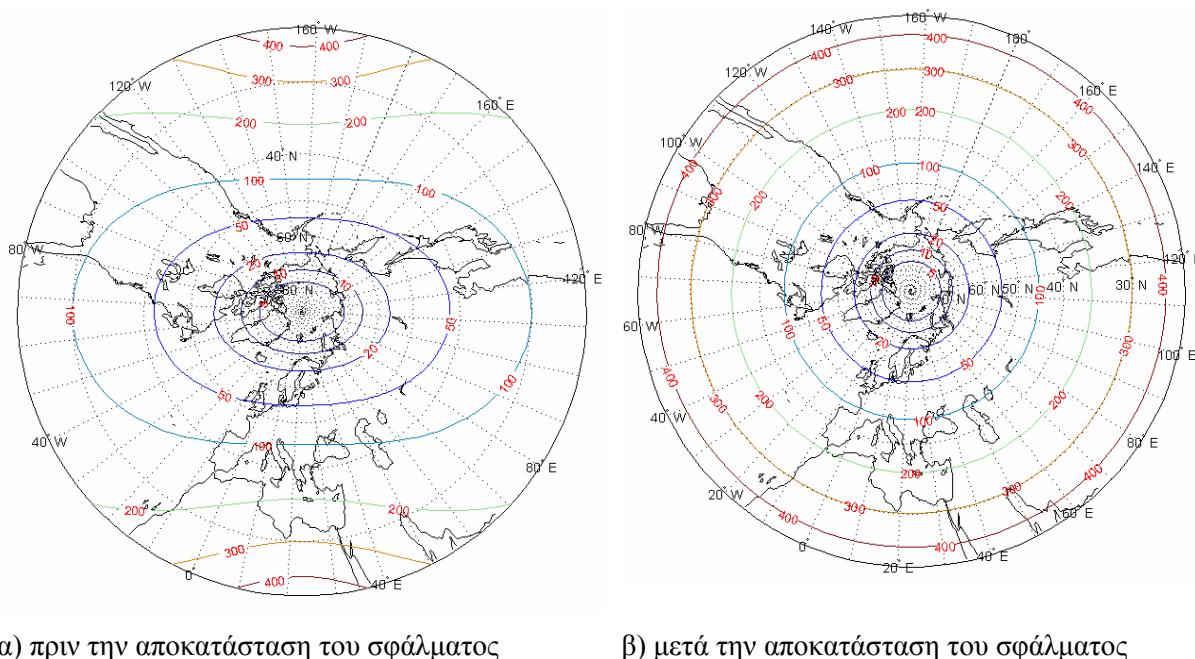
Για την επιφάνεια του ΕΕΠ ο προσδιορισμός των μεγεθών E', G' και F', δεν είναι πάντοτε εύκολος και για το λόγο αυτό οι υπολογισμοί των παραμορφώσεων για τις περισσότερες χαρτογραφικές απεικονίσεις με επιφάνεια αναφοράς το ΕΕΠ, πραγματοποιούνται ευκολότερα με τη χρήση εξειδικευμένου μαθηματικού λογισμικού για την εφαρμογή μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης.

3.2.3 Μέθοδοι υπολογισμού και ανάλυσης παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτελεσθείσα έρευνα

Οι υπολογισμοί και οι αναλύσεις των παραμορφώσεων των χαρτογραφικών απεικονίσεων που αξιολογούνται στην παρούσα έρευνα, καθώς και των παραμορφώσεων που δημιουργούνται κατά το μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα πραγματοποιήθηκαν ως εξής:

- i. Για τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται κατά το μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα χρησιμοποιήθηκαν οι αναφερόμενοι στις § 3.3 και § 3.4 του παρόντος κεφαλαίου τύποι υπολογισμού των γραμμικών, των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων. Στη συνέχεια οι υπολογισθείσες για κάθε μέθοδο μετασχηματισμού παραμορφώσεις αποδόθηκαν γραφικά με τη μορφή διαγραμμάτων μεταβολής τους ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος (§ 3.4.2).
- ii. Για τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται κατά το διπλό μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ (σε σφαίρα και στη συνέχεια σε επίπεδο) [§ 3.4.3] χρησιμοποιήθηκαν οι αναφερόμενοι στη § 3.3 και § 3.4 τύποι υπολογισμού των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων σε συνδυασμό με τους τύπους υπολογισμού των απεικονίσεων του Snyder (1987).
- iii. Για τις παραμορφώσεις των αξιολογούμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων:
 - Χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι υπολογισμού που αναφέρονται στα κλασικά συγγράμματα των Snyder (1987) και (Bugayevskiy and Snyder 1998). Οι υπολογισθείσες τιμές αποδόθηκαν γραφικά με τη μορφή διαγραμμάτων μεταβολής με το γεωγραφικό πλάτος (για τις κυλινδρικές και κωνικές απεικονίσεις) ή με τη γωνιακή απόσταση από το κεντρικό σημείο (για τις αζιμουθιακές απεικονίσεις).

- Εκπονήθηκαν ειδικοί χάρτες με την απεικόνιση των ελλείψεων παραμόρφωσης⁷ και των ισαριθμικών καμπυλών των γωνιακών και των επιφανειακών παραμορφώσεων⁸ για όλες τις απεικονίσεις που εξετάστηκαν. Για την εκπόνηση των χαρτών αυτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab/Mapping, η ακρίβεια και η αξιοπιστία του οποίου ελέγχθηκε, τόσο με την εκτέλεση αναλυτικών υπολογισμών των παραμορφώσεων, όσο και με τη σύγκριση των χαρτών αυτών με τους αντίστοιχους χάρτες που κατασκευάζονται με το λογισμικό Flex-projector (Jenny et al. 2008) και όπου ήταν αναγκαίο το λογισμικό Matlab/Mapping διορθώθηκε ανάλογα. Ως ενδεικτικό παράδειγμα αναφέρεται η λανθασμένη σχεδίαση των ισαριθμικών γραμμών της γραμμικής παραμόρφωσης της πολικής γωνιωματικής απεικόνισης στη διεύθυνση του μεσημβρινού και η αποκατάστασή του μετά από σχετική ενημέρωση της εταιρίας Mathworks που έχει αναπτύξει και συντηρεί το λογισμικό Matlab/Mapping (Σχ. 3.3).



Απεικόνιση ισαριθμικών γραμμών γραμμικής παραμόρφωσης πολικής γωνιωματικής απεικόνισης στη διεύθυνση του μεσημβρινού πριν και μετά την αποκατάσταση του σφάλματος του λογισμικού

Σχ. 3.3: Απεικόνιση ισαριθμικών γραμμών γραμμικής παραμόρφωσης με το λογισμικό Matlab/Mapping

Εκτός από τις κλασικές παραμέτρους h , k , p και Ω , χρησιμοποιηθήκαν και άλλες παράμετροι αξιολόγησης των παραμορφώσεων, ορισμένες από τις οποίες δημιουργήθηκαν ειδικά για την υποστήριξη της εκτελεσθείσας έρευνας. Οι παράμετροι αυτές παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο (§ 4.6).

3.3 Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε σφαιρική επιφάνεια

Ο μετασχηματισμός της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαιρική επιφάνεια υλοποιείται με την εφαρμογή ειδικών συνθηκών που εξασφαλίζουν τις ιδιότητες της συμμορφίας, της ισοδυναμίας ή της ίσης απόστασης σε μία διεύθυνση (Grafarend and Krümm 2006, 37-91).

⁷ Βλ. κεφάλαιο 4 και παραρτήματα Β, Γ, Δ και Ε.

⁸ Βλ. κεφάλαια 5, 6 και παραρτήματα ΣΤ, Ζ, Η και Θ.

3.3.1 Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε σφαίρα συμμορφίας

Οι μέθοδοι μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σύμμορφη σφαίρα στηρίζονται στην εφαρμογή της συνθήκης συμμορφίας $h = k$, από την οποία προκύπτουν οι ισοδύναμες (3.3.1) και (3.3.2). [Bygayevskiy and Snyder 1998, 33-35].

$$q' = \alpha q + \ln C \quad (3.3.1)$$

$$\lambda = \alpha \lambda' \quad (3.3.2)$$

όπου:

- q και q' : είναι το ισομετρικό πλάτος στην επιφάνεια του ΕΕΠ και της σύμμορφης σφαίρας αντιστοίχως,
- α και C είναι σταθεροί συντελεστές (καθαροί αριθμοί), οι τιμές των οποίων καθορίζουν τα ειδικά χαρακτηριστικά της σύμμορφης σφαίρας, όπως επεξηγείται συνοπτικά στη συνέχεια⁹.

Για τον προσδιορισμό της αντιστοιχίας των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ, λ) ενός σημείου της επιφάνειας του ΕΕΠ και των σφαιρικών συντεταγμένων (φ', λ') του σημείου αυτού στη σύμμορφη σφαίρα, είναι δυνατό, ανάλογα με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης σύμμορφης σφαίρας, να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι μετασχηματισμού για τις οποίες οι συντελεστές α και C λαμβάνουν διαφορετικές τιμές, οι οποίες προσδίνουν διαφορετικά χαρακτηριστικά στη δημιουργούμενη σύμμορφη σφαίρα. Οι κυριότερες μέθοδοι μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα συμμορφίας είναι:

- α. Ο μετασχηματισμός με μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στον ισημερινό που προτάθηκε αρχικά από τον Mollweide το έτος 1807,
- β. ο μετασχηματισμός με μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στο βασικό παράλληλο που προτάθηκε αρχικά από τον Gauss το έτος 1822 και
- γ. ο μετασχηματισμός με μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στον κεντρικό μεσημβρινό που προτάθηκε αρχικά από τον Gauss το έτος 1844.

Στο μετασχηματισμό που εξασφαλίζει μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στον ισημερινό οι τιμές των συντελεστών α και C είναι ίσες με 1 ($\alpha = C = 1$). Με τις τιμές αυτές επιτυγχάνονται τα επόμενα ειδικά χαρακτηριστικά της σύμμορφης σφαίρας:

- Η ακτίνα R_c της σύμμορφης σφαίρας έχει σταθερή τιμή ίση με την τιμή του μεγάλου ημιάξονα του ΕΕΠ ($R_c = a$).
- Η τιμή του συντελεστή γραμμικής παραμόρφωσης στον ισημερινό, είναι ίση με 1.
- Σε όλα τα σημεία ενός παραλλήλου πλάτους η τιμή του συντελεστή γραμμικής παραμόρφωσης είναι σταθερή.

Ο μετασχηματισμός της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σύμμορφη σφαίρα με μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στον ισημερινό, εξασφαλίζει τη συνθήκη συμμορφίας με τη χρήση σύμμορφης σφαίρας σταθερής ακτίνας. Στο μετασχηματισμό αυτό μηδενίζονται οι γραμμικές παραμορφώσεις στα σημεία του ισημερινού, αλλά παρατηρείται μία μικρή γραμμική παραμόρφωση στα σημεία οποιουδήποτε μεσημβρινού.

Στο μετασχηματισμό που εξασφαλίζει μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στο βασικό παράλληλο η σύμμορφη σφαίρα έχει τα επόμενα ειδικά χαρακτηριστικά:

- Η τιμή του συντελεστή γραμμικής παραμόρφωσης στο βασικό παράλληλο είναι ίση με 1.
- Η τιμή της ακτίνας R_c της σύμμορφης σφαίρας δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του βασικού παραλλήλου.

⁹ Το σύμβολο α στη σχέση (3.3.1) είναι διαφορετικό από το σύμβολο a του μεγάλου ημιάξονα του ΕΕΠ.

Στο μετασχηματισμό που εξασφαλίζει μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στον κεντρικό μεσημβρινό η σύμμορφη σφαίρα έχει τα επόμενα ειδικά χαρακτηριστικά:

- Η τιμή του συντελεστή γραμμικής παραμόρφωσης στον κεντρικό μεσημβρινό είναι ίση με 1.
- Η τιμή της ακτίνας R_c της σύμμορφης σφαίρας δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος του κεντρικού σημείου.

Για το σκοπό της εκτελούμενης έρευνας, ο οποίος αφορά τη χρήση χαρτογραφικών απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ, επιλέχτηκε για αξιολόγηση ο μετασχηματισμός που εξασφαλίζει μηδενισμό των γραμμικών παραμορφώσεων στον ισημερινό για τους κάτωθι λόγους:

- Οι τιμές των δημιουργουμένων γραμμικών παραμορφώσεων κατά μήκος των μεσημβρινών είναι πρακτικά αμελητέες για την εξεταζόμενη εφαρμογή (ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ) (§ 3.4).
- Στο μετασχηματισμό αυτό χρησιμοποιείται σύμμορφη σφαίρα σταθερής ακτίνας, αντί της σφαίρας μεταβλητής ακτίνας που χρησιμοποιείται στις άλλες μεθόδους και με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η εφαρμογή του στα ΣΗΝΧ για την απεικόνιση των διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών πλου.

Κατά το μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σύμμορφη σφαίρα με μηδενική γραμμική παραμόρφωση στον ισημερινό, η αντιστοιχία των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ, λ) ενός σημείου της επιφάνειας του ΕΕΠ και των σφαιρικών συντεταγμένων (φ', λ') του σημείου αυτού στη σύμμορφη σφαίρα, δίνεται από τις σχέσεις 3.3.3 και 3.3.4. (Yang, Snyder and Tobler 2000). Οι συντεταγμένες (φ', λ') ονομάζονται σύμμορφο πλάτος και σύμμορφο μήκος αντιστοιχώς.

$$\varphi' = \varphi - A_2 \sin 2\varphi - A_4 \sin 4\varphi - A_6 \sin 6\varphi - A_8 \sin 8\varphi \quad (3.3.3)$$

$$\lambda = \lambda' \quad (3.3.4)$$

όπου:

φ : είναι το γεωδαιτικό πλάτος στην επιφάνεια του ΕΕΠ

$$A_2 = \frac{1}{2} e^2 + \frac{5}{24} e^4 + \frac{3}{32} e^6 + \frac{1399}{53760} e^8 \quad (3.3.5)$$

$$A_4 = -\left(\frac{5}{48} e^4 + \frac{7}{80} e^6 + \frac{689}{17920} e^8 \right) \quad (3.3.6)$$

$$A_6 = \frac{13}{480} e^6 + \frac{1363}{17920} e^8 \quad (3.3.7)$$

$$A_8 = -\left(\frac{677}{107520} e^8 \right) \quad (3.3.8)$$

Για το WGS-84 οι συντελεστές A_2, A_4, A_6 και A_8 είναι ίσοι με :

$$A_2 = 3,356554573721 \times 10^{-3}$$

$$A_4 = -4,694528172388264 \times 10^{-6}$$

$$A_6 = 8,277940197183942 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -1,264564117982242 \times 10^{-11}$$

Η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των τιμών των φ και φ' δημιουργείται στο γεωγραφικό πλάτος 45° . Η απόκλιση αυτή για το ΕΕΠ WGS-84 είναι $11' 32,34''$ περίπου.

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων (φ', λ') ενός σημείου της επιφάνειας της σύμμορφης σφαίρας του ΕΕΠ στις αντίστοιχες γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ, λ) στην επιφάνεια του ΕΕΠ πραγματοποιείται με τις (3.3.4) και (3.3.9).

$$\varphi = \varphi' + B_2 \sin 2\varphi' + B_4 \sin 4\varphi' + B_6 \sin 6\varphi' + B_8 \sin 8\varphi' \quad (3.3.9)$$

όπου:

$$B_2 = A_2 - A_2 A_4 - A_4 A_6 - \frac{1}{2} A_2^3 - A_2 A_4^2 + \frac{1}{2} A_2^2 A_6 - 18,3 A_2^3 A_4 \quad (3.3.10)$$

$$B_4 = A_4 + A_2^2 - 2 A_2 A_6 - 4 A_2^2 A_4 - 1,3 A_4^4 \quad (3.3.11)$$

$$B_6 = A_6 + 3 A_2 A_4 - 3 A_2 A_8 + \frac{3}{2} A_2^3 - \frac{9}{2} A_2 A_4^2 - 9 A_2^2 A_6 - 12,5 A_2^3 A_4 \quad (3.3.12)$$

$$B_8 = A_8 + 2 A_4^2 + 4 A_2 A_6 + 8 A_2^2 A_4 + 2,7 A_2^4 \quad (3.3.13)$$

A_2, A_4, A_6 και A_8 δίνονται από τις σχέσεις (3.3.5) έως (3.3.8)

Για το WGS-84 οι συντελεστές B_2, B_4, B_6 και B_8 είναι ίσοι με :

$$B_2 = 3, 35655142618 \times 10^{-3}$$

$$B_4 = 6, 571921413076589 \times 10^{-6}$$

$$B_6 = 1, 773151913865439 \times 10^{-8}$$

$$B_8 = 6, 216666354544429 \times 10^{-11}$$

Οι συντελεστές γραμμικής και επιφανειακής παραμόρφωσης δίνονται από τις (3.3.14) και (3.3.15).

$$h = k = \frac{R}{a} \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \sin^2 \varphi \right) \quad (3.3.14)$$

$$p = h^2 = \frac{R^2}{a^2} \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \sin^2 \varphi \right)^2 \quad (3.3.15)$$

όπου: $R = a = 6378137m$ (για το ΕΕΠ WGS-84).

3.3.2 Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε ισοδύναμη σφαίρα

Ο μετασχηματισμός της επιφάνειας του ΕΕΠ σε ισοδύναμη σφαίρα στηρίζεται στην εφαρμογή της συνθήκης ισοδυναμίας $n = 1/m$. Από την ανάλυση και επεξεργασία της συνθήκης αυτής (Pearson 1990), προκύπτουν οι (3.3.16), (3.3.17) και (3.3.18), οι οποίες δίνουν την τιμή R_a της ακτίνας της ισοδύναμης σφαίρας και την αντιστοιχία των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ, λ) ενός σημείου της επιφάνειας του ΕΕΠ και των σφαιρικών συντεταγμένων [$\varphi^{(2)}, \lambda^{(2)}$] του σημείου αυτού στην ισοδύναμη σφαίρα. Οι συντεταγμένες [$\varphi^{(2)}, \lambda^{(2)}$] ονομάζονται ισοδύναμο πλάτος και ισοδύναμο μήκος αντιστοίχως.

$$R^2 = a^2 (1 - e^2) \left(1 + \frac{2}{3} e^2 + \frac{3}{5} e^4 + \frac{4}{7} e^6 + \frac{5}{9} e^8 \right) \quad (3.3.16)$$

$$\varphi^{(2)} = \varphi - A_2 \sin 2\varphi - A_4 \sin 4\varphi - A_6 \sin 6\varphi - A_8 \sin 8\varphi \quad (3.3.17)$$

$$\lambda = \lambda^{(2)} \quad (3.3.18)$$

όπου:

$$A_2 = \frac{1}{3} e^2 + \frac{31}{180} e^4 + \frac{59}{560} e^6 + \frac{126853}{518400} e^8 \quad (3.3.19)$$

$$A_4 = - \left(\frac{17}{360} e^4 + \frac{61}{1260} e^6 + \frac{3622447}{94089600} e^8 \right) \quad (3.3.20)$$

$$A_6 = \frac{383}{45360} e^6 + \frac{6688039}{658627200} e^8 \quad (3.3.21)$$

$$A_8 = -\frac{27787}{23522400} e^8 \quad (3.3.22)$$

Για το WGS-84 οι συντελεστές A_2 , A_4 , A_6 και A_8 είναι ίσοι με :

$$A_2 = 2,239210187301 \times 10^{-3}$$

$$A_4 = -2,130852289665785 \times 10^{-6}$$

$$A_6 = 2,553520011221488 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -2,372474054900030 \times 10^{-11}$$

Η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των τιμών των φ και $\varphi^{(2)}$ δημιουργείται στο γεωγραφικό πλάτος 45° . Η απόκλιση αυτή για το ΕΕΠ WGS-84 είναι $7' 42''$ περίπου.

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων ($\varphi^{(2)}$, $\lambda^{(2)}$) ενός σημείου της επιφάνειας της ισοδύναμης σφαίρας του ΕΕΠ στις αντίστοιχες γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ , λ) στην επιφάνεια του ΕΕΠ πραγματοποιείται με τις (3.3.18) και (3.3.23).

$$\varphi = \varphi^{(2)} + B_2 \sin 2\varphi^{(2)} + B_4 \sin 4\varphi^{(2)} + B_6 \sin 6\varphi^{(2)} + B_8 \sin 8\varphi^{(2)} \quad (3.3.23)$$

όπου:

Οι συντελεστές B_2 , B_4 , B_6 και B_8 δίνονται από τις σχέσεις 3.3.10 έως 3.3.13, στις οποίες όμως χρησιμοποιούνται οι τιμές των συντελεστών A_2 , A_4 , A_6 και A_8 των σχέσεων (3.3.19) έως (3.3.22).

Για το WGS-84 οι συντελεστές B_2 , B_4 , B_6 και B_8 είναι ίσοι με :

$$B_2 = 2.239209345397 \times 10^{-3}$$

$$B_4 = 2.883208591350240 \times 10^{-6}$$

$$B_6 = 5.080704501838537 \times 10^{-8}$$

$$B_8 = 1.198646758483627 \times 10^{-11}$$

Οι συντελεστές της γραμμικής, της επιφανειακής και της γωνιακής παραμόρφωσης δίνονται από τις (3.3.24), (3.3.25) και (3.3.26).

$$h = 1 + \frac{e^2}{6} \cos^2 \varphi \quad (3.3.24)$$

$$k = 1 - \frac{e^2}{6} \cos^2 \varphi \quad (3.3.25)$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{e^2}{6} \cos^2 \varphi \quad (3.3.26)$$

3.3.3 Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρα

Ο μετασχηματισμός της επιφάνειας του ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρα στηρίζεται στην εφαρμογή της συνθήκης μηδενισμού των γραμμικών παραμορφώσεων στη διεύθυνση του μεσημβρινού ($m=1$). Από την ανάλυση και επεξεργασία της συνθήκης αυτής, προκύπτουν οι σχέσεις, που δίνουν την τιμή $R^{(3)}$ της ακτίνας της βοηθητικής σφαίρας και τους τύπους μετασχηματισμού των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ , λ) ενός σημείου της επιφάνειας του ΕΕΠ στις αντίστοιχες σφαιρικές συντεταγμένες ($\varphi^{(3)}$, $\lambda^{(3)}$) [(Yang 2000), (Bugayevskiy 1998)]. Οι συντεταγμένες ($\varphi^{(3)}$, $\lambda^{(3)}$) ονομάζονται ισαπέχον πλάτος και ισαπέχον μήκος αντιστοίχως.

Η τιμή της ακτίνας $R^{(3)}$ της ισαπέχουσας στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρας δίνεται από τη (3.3.27). Η αντιστοιχία των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ , λ) ενός σημείου της επιφάνειας του ΕΕΠ και των σφαιρικών συντεταγμένων ($\varphi^{(3)}$, $\lambda^{(3)}$) του σημείου αυτού στην ισαπέχουσα στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρα δίνεται από τις (3.3.28) και (3.3.29).

$$R^2 = a^2(1 - e^2) \left(1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 \right) \quad (3.3.27)$$

$$\varphi^{(3)} = \varphi - A_2 \sin 2\varphi - A_4 \sin 4\varphi - A_6 \sin 6\varphi - A_8 \sin 8\varphi \quad (3.3.28)$$

$$\lambda = \lambda^{(3)} \quad (3.3.29)$$

όπου:

$$A_2 = \frac{1}{3}e^2 + \frac{31}{180}e^4 + \frac{59}{560}e^6 + \frac{126853}{518400}e^8 \quad (3.3.30)$$

$$A_4 = - \left(\frac{17}{360}e^4 + \frac{61}{1260}e^6 + \frac{3622447}{94089600}e^8 \right) \quad (3.3.31)$$

$$A_6 = \frac{383}{45360}e^6 + \frac{6688039}{658627200}e^8 \quad (3.3.32)$$

$$A_8 = - \frac{27787}{23522400}e^8 \quad (3.3.33)$$

Για το WGS-84 οι συντελεστές A_2 , A_4 , A_6 και A_8 είναι ίσοι με :

$$A_2 = 2,518827908689 \times 10^{-3}$$

$$A_4 = -2,643538922083979 \times 10^{-6}$$

$$A_6 = 3,452088228263826 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -4,812919860813213 \times 10^{-12}$$

Η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των τιμών των φ και $\varphi^{(2)}$ δημιουργείται στο γεωγραφικό πλάτος 45° . Η απόκλιση αυτή για το ΕΕΠ WGS-84 είναι $8' 39,6''$ περίπου.

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων ($\varphi^{(3)}$, $\lambda^{(3)}$) ενός σημείου της επιφάνειας της ισαπέχουσας στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρας στις αντίστοιχες γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ , λ) στην επιφάνεια του ΕΕΠ πραγματοποιείται με τις (3.3.34) και (3.3.29).

$$\varphi = \varphi^{(3)} + B_2 \sin 2\varphi^{(3)} + B_4 \sin 4\varphi^{(3)} + B_6 \sin 6\varphi^{(3)} + B_8 \sin 8\varphi^{(3)} \quad (3.3.34)$$

όπου:

Οι συντελεστές B_2 , B_4 , B_6 και B_8 δίνονται από τις σχέσεις (3.3.10) έως (3.3.13), στις οποίες όμως χρησιμοποιούνται οι τιμές των συντελεστών A_2 , A_4 , A_6 και A_8 των σχέσεων (3.3.30) έως (3.3.33).

Για το WGS-84 οι συντελεστές B_2 , B_4 , B_6 και B_8 είναι ίσοι με :

$$B_2 = 2,51882657774 \times 10^{-3}$$

$$B_4 = 3,700952480354676 \times 10^{-6}$$

$$B_6 = 7,447550453970982 \times 10^{-9}$$

$$B_8 = 1,845123780905117 \times 10^{-11}$$

Οι συντελεστές της γραμμικής, της επιφανειακής και της γωνιακής παραμόρφωσης δίνονται από τις (3.3.35) και (3.3.36).

$$k = p = 1 - \frac{e^4}{4} \cos 2\varphi \quad (3.3.35)$$

$$\omega' = 2700 \pi e^2 \cos 2\varphi \quad (3.3.36)$$

3.3.4 Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρα

Ο μετασχηματισμός της επιφάνειας του ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρα στηρίζεται στην εφαρμογή της συνθήκης μηδενισμού των γραμμικών παραμορφώσεων στη διεύθυνση του μεσημβρινού ($m=1$). Η υλοποίηση της συνθήκης αυτής είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, από τους οποίους είναι δυνατό να προκύψουν διάφορες ισαπέχουσες στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρες με διαφορετικά χαρακτηριστικά εκάστη. Για παράδειγμα, τα απεικονιζόμενα στη βοηθητική σφαίρα σημεία του ΕΕΠ είναι δυνατό να έχουν το ίδιο γεωγραφικό μήκος και διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος με τα αντίστοιχα σημεία του ΕΕΠ, ή να έχουν το ίδιο πλάτος και διαφορετικό μήκος.

Ο συνηθέστερος τρόπος μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρα ικανοποιεί τις επόμενες συνθήκες:

- Το γεωδαιτικό πλάτος φ και το σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος $\varphi^{(4)}$ έχουν τις ίδιες τιμές στον ισημερινό [$\varphi_0 = \varphi_0^{(4)} = 0$] και στους πόλους [$\varphi_{90} = \varphi_{90}^{(4)} = 90$].
- Το γεωδαιτικό μήκος λ είναι ίσο με το σφαιρικό γεωγραφικό μήκος $\lambda^{(4)}$ [$\lambda = \lambda^{(4)}$].

Η βοηθητική σφαίρα που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες έχει ακτίνα $R^{(4)}$ ίση με το μεγάλο ημιάξονα a του ΕΕΠ και το σφαιρικό πλάτος $\varphi^{(4)}$ είναι ίσο με το γνωστό από τη γεωμετρική γεωδαισία ανηγμένο πλάτος u . Η βοηθητική αυτή σφαίρα χρησιμοποιείται συστηματικά στη γεωμετρική γεωδαισία για την ανάπτυξη μεθόδων υπολογισμού για το ευθύ και το αντίστροφο πρόβλημα της γεωδαισίας.

Η τιμή της ακτίνας $R^{(4)}$ της ισαπέχουσας στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρας δίνεται από την (3.3.37). Η αντιστοιχία των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ, λ) ενός σημείου της επιφάνειας του ΕΕΠ και των σφαιρικών συντεταγμένες ($\varphi^{(4)}, \lambda^{(4)}$) του σημείου αυτού στην ισαπέχουσα στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρα δίνεται από τις (3.3.38) και (3.3.39).

$$R^{(4)} = a \quad (3.3.37)$$

$$\varphi^{(4)} = \varphi - A_2 \sin 2\varphi - A_4 \sin 4\varphi - A_6 \sin 6\varphi - A_8 \sin 8\varphi \quad (3.3.38)$$

$$\lambda = \lambda^{(4)} \quad (3.3.39)$$

όπου:

$$A_2 = n_0 \quad (3.3.40)$$

$$A_4 = \frac{n_0^2}{2} \quad (3.3.41)$$

$$A_6 = \frac{n_0^3}{3} \quad (3.3.42)$$

$$A_8 = \frac{n_0^4}{4} \quad (3.3.43)$$

$$n_0 = \frac{1 - \sqrt{1 - e^2}}{1 + \sqrt{1 - e^2}} \quad (3.3.44)$$

Για το WGS-84 οι συντελεστές A_2, A_4, A_6 και A_8 είναι ίσοι με :

$$A_2 = 1,679220386399 \times 10^{-3}$$

$$A_4 = 1.409890553049492 \times 10^{-6}$$

$$A_6 = 1.578344639514986 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = 1.987791371578203 \times 10^{-12}$$

Η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των τιμών των φ και $\varphi^{(4)}$ δημιουργείται στο γεωγραφικό πλάτος 45° . Η απόκλιση αυτή για το ΕΕΠ WGS-84 είναι $5' 43,4''$ περίπου.

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων ($\varphi^{(4)}$, $\lambda^{(4)}$) ενός σημείου της επιφάνειας της ισαπέχουσας στη διεύθυνση των παραλλήλων σφαίρας στις αντίστοιχες γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ , λ) στην επιφάνεια του ΕΕΠ πραγματοποιείται με τις (3.3.45) και (3.3.39).

$$\varphi = \varphi^{(4)} + B_2 \sin 2\varphi^{(4)} + B_4 \sin 4\varphi^{(4)} + B_6 \sin 6\varphi^{(4)} + B_8 \sin 8\varphi^{(4)} \quad (3.3.45)$$

όπου:

Οι συντελεστές B_2 , B_4 , B_6 και B_8 δίνονται από τις σχέσεις (3.3.10) έως (3.3.13), στις οποίες όμως χρησιμοποιούνται οι τιμές των συντελεστών A_2 , A_4 , A_6 και A_8 των σχέσεων (3.3.40) έως (3.3.43).

Για το WGS-84 οι συντελεστές B_2 , B_4 , B_6 και B_8 είναι ίσοι με :

$$B_2 = 1.679215651240 \times 10^{-3}$$

$$B_4 = 4.229640119525380 \times 10^{-6}$$

$$B_6 = 1.578329785682897 \times 10^{-8}$$

$$B_8 = 6.983773685478088 \times 10^{-11}$$

Οι συντελεστές της γραμμικής, της επιφανειακής και της γωνιακής παραμόρφωσης δίνονται από τις (3.3.46) και (3.3.47).

$$h = p = 1 + \frac{e^2}{2} \cos^2 \varphi \quad (3.3.46)$$

$$\omega' = 5400 \pi e^2 \cos^2 \varphi \quad (3.3.47)$$

3.4 Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων χαρτογραφικής απεικόνισης

Η αξιολόγηση των μεθόδων απεικόνισης του ΕΕΠ στο επίπεδο με τον ενδιάμεσο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα, σε σχέση με την απευθείας απεικόνιση των σημείων του ΕΕΠ στο επίπεδο, εκτελέστηκε στα επόμενα τρία στάδια:

Στάδιο πρώτο: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μετασχηματισμού γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος (§ 3.4.1).

Στάδιο δεύτερο: Αξιολόγηση παραμορφώσεων μετασχηματισμού επιφάνειας ΕΕΠ σε σφαίρα (§ 3.4.2).

Στάδιο τρίτο: Αξιολόγηση παραμορφώσεων επιλεγμένων χαρτογραφικών απεικονίσεων κατά την “απευθείας” απεικόνιση του ΕΕΠ στο επίπεδο και κατά τη “διπλή απεικόνιση” με ενδιάμεσο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα (§ 3.4.3).

3.4.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μετασχηματισμού γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος

Για την αξιολόγηση των τύπων μετατροπής του γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος, καθώς και της αντίστροφης μετατροπής του σφαιρικού γεωγραφικού πλάτους σε γεωδαιτικό πλάτος, εκτελέστηκαν αναλυτικοί υπολογισμοί για τη σφαίρα συμμορφίας, την ισοδύναμη σφαίρα, την ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα και την ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα. Για την εκτέλεση των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι μετατροπής για τις εξετασθείσες τέσσερις βοηθητικές σφαίρες, οι οποίοι έχουν τη γενική μορφή των (3.4.1) και (3.4.2).

$$\varphi = \varphi_\sigma + B_2 \sin 2\varphi_\sigma + B_4 \sin 4\varphi_\sigma + B_6 \sin 6\varphi_\sigma + B_8 \sin 8\varphi_\sigma \quad (3.4.1)$$

$$\varphi_\sigma = \varphi - A_2 \sin 2\varphi - A_4 \sin 4\varphi - A_6 \sin 6\varphi - A_8 \sin 8\varphi \quad (3.4.2)$$

όπου:

φ : γεωδαιτικό πλάτος

φ_{σ} : σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος

Στις (3.4.1) και (3.4.2) οι συντελεστές $A_2, A_4, A_6, A_8, B_2, B_4, B_6$ και B_8 έχουν διαφορετικές τιμές για κάθε βοθητική σφαίρα¹⁰.

Πίνακας 3.1
Συντελεστές μετατροπής γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος
(WGS-84)

συντελεστές A_i, B_i	σφαίρα συμμόρφιας	ισοδύναμη σφαίρα	ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα	ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα
A_2	0,0033566	$2,23921 \times 10^{-3}$	$2,518828 \times 10^{-3}$	$1,67922 \times 10^{-3}$
A_4	$-4,694528 \times 10^{-6}$	$-2,130852 \times 10^{-6}$	$-2,643539 \times 10^{-6}$	$1,40989 \times 10^{-3}$
A_6	$8,277940 \times 10^{-9}$	$2,55352 \times 10^{-9}$	$3,452089 \times 10^{-9}$	$1,578345 \times 10^{-9}$
B_2	$3,356551 \times 10^{-3}$	$2,239209 \times 10^{-3}$	$2,518827 \times 10^{-3}$	$1,679216 \times 10^{-3}$
B_4	$6,571921 \times 10^{-6}$	$2,883209 \times 10^{-6}$	$3,700952 \times 10^{-6}$	$4,229640 \times 10^{-6}$
B_6	$1,773152 \times 10^{-8}$	$5,080705 \times 10^{-9}$	$7,44755 \times 10^{-9}$	$1,57833 \times 10^{-8}$
$\varphi_{\sigma} = \varphi - A_2 \sin 2\varphi - A_4 \sin 4\varphi - A_6 \sin 6\varphi$ $\varphi = \varphi_{\sigma} + B_2 \sin 2\varphi_{\sigma} + B_4 \sin 4\varphi_{\sigma} + B_6 \sin 6\varphi_{\sigma}$ <p>όπου: φ : γεωδαιτικό πλάτος φ_{σ} : σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος</p>				

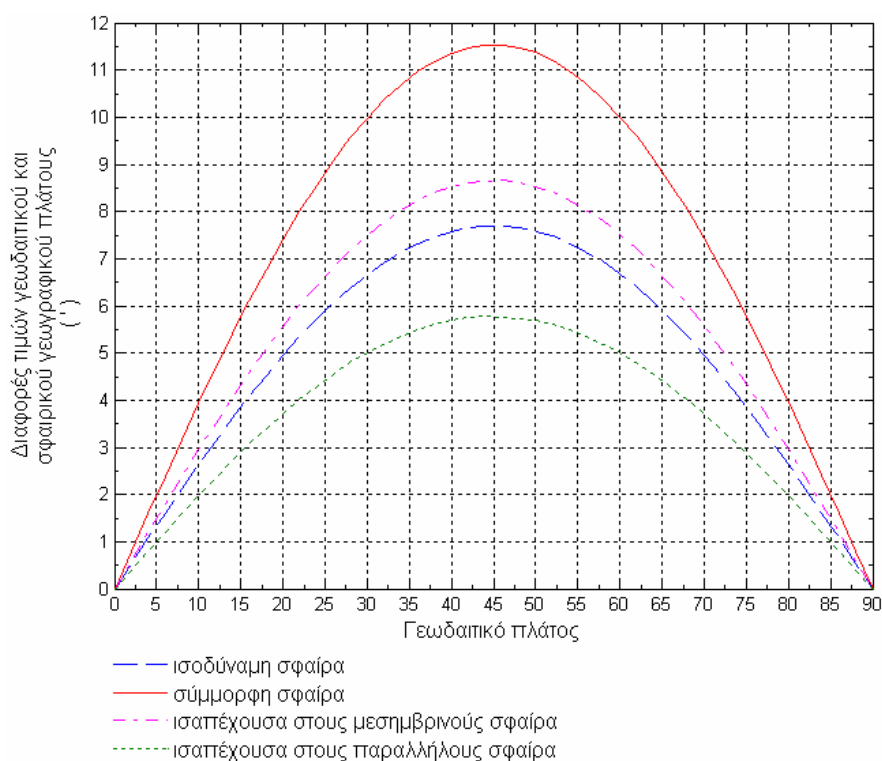
Τα βασικά αποτελέσματα των εκτελεσθέντων υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες 3.2, έως 3.6 και στο διάγραμμα του σχήματος 3.4.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτουν οι επόμενες διαπιστώσεις:

- Οι μέγιστες αποκλίσεις μεταξύ του γεωδαιτικού πλάτους και του σφαιρικού γεωγραφικού πλάτους δημιουργούνται σε πλάτος περίπου 45° και είναι περίπου $11',54$ για τη σφαίρα συμμορφίας, $7',7$ για την ισοδύναμη σφαίρα, $8',8$ για την ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα και $5',77$ για την ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα (Πίνακας 3.2, Σχ. 3.4).
- Οι ελάχιστες αποκλίσεις του γεωδαιτικού πλάτους και του σφαιρικού γεωγραφικού πλάτους παρατηρούνται σε μικρά και σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Οι αποκλίσεις μηδενίζονται στον ισημερινό και στους πόλους (πίνακας 3.2 και Σχ. 3.4).

¹⁰ Βλ. § 3.3.1, § 3.3.2, § 3.3.3, και § 3.3.4,

- Ο μετασχηματισμός του γεωδαιτικού πλάτους φ σε σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος φ_σ ($\varphi \rightarrow \varphi_\sigma$) καθώς και ο αντίστροφος μετασχηματισμός ($\varphi_\sigma \rightarrow \varphi$) με τους τύπους 3.4.1 και 3.4.2 προσαρμοσμένους για τις τέσσερις εξετασθείσες σφαίρες (πίνακες 3.3 έως 3.6) παρέχει απόλυτη ταύτιση των αποτελεσμάτων για τον ευθύ και για τον αντίστροφο μετασχηματισμό. Οι τιμές του φ_σ που προσδιορίζονται με τους τύπους 3.4.1, όταν χρησιμοποιηθούν στις (3.4.2) δίνουν ακριβώς τις ίδιες τιμές του αρχικού γεωδαιτικού πλάτους που χρησιμοποιήθηκε στον ευθύ μετασχηματισμό.
- Για τη σύμμορφη σφαίρα, την ισοδύναμη σφαίρα και την ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα, ο μετασχηματισμός του γεωδαιτικού πλάτους φ σε σφαιρικό γεωγραφικό πλάτος φ_σ ($\varphi \rightarrow \varphi_\sigma$) καθώς και ο αντίστροφος μετασχηματισμός ($\varphi_\sigma \rightarrow \varphi$) μπορούν να εκτελεστούν με τη χρήση των προϋπολογισμένων για το WGS-84 τιμών των συντελεστών $A_2, A_4, A_6, B_2, B_4, B_6$ του πίνακα 3.1 και απαλοιφή των όρων τάξεως A_8 και B_8 . Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξεως του ενός εκατοστού του δεύτερου λεπτού της μοίρας (πίνακες 3.3 έως 3.6). Η ακρίβεια αυτή υπερκαλύπτει τις ανάγκες της ναυσιπλοΐας, επειδή το μήκος του τόξου του μεσημβρινού ενός εκατοστού του δεύτερου λεπτού της μοίρας είναι 30cm περίπου.
- Για την ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα, ή χρήση των προϋπολογισμένων για το WGS-84 τιμών των συντελεστών $A_2, A_4, A_6, B_2, B_4, B_6$ του πίνακα 3.1 δημιουργεί σημαντική ασυμβατότητα μεταξύ των αποτελεσμάτων του ευθέως και του αντίστροφου μετασχηματισμού (πίνακας 3.6) με διαφορές μεγαλύτερες από $1,5^\circ$ έναντι της αμελητέας απόκλισης του ενός εκατοστού του δεύτερου λεπτού της μοίρας για τις άλλες τρεις σφαίρες (σφαίρα σύμμορφας, ισοδύναμη σφαίρα και ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα).



Σχ. 3.4: Διαφορές τιμών γεωδαιτικού πλάτους και σφαιρικού γεωγραφικού πλάτους

Πίνακας 3.2

Διαφορές τιμών γεωδαιτικού πλάτους και σφαιρικού γεωγραφικού πλάτους (WGS-84)

Διαφορές γεωδαιτικού και σφαιρικού γεωγραφικού πλάτους (τιμές σε πρώτα λεπτά της μοίρας)				
γεωδαιτικό πλάτος	σφαίρα συμμορφίας	ισοδύναμη σφαίρα	ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα	ισαπέχουσα στους παράλληλους σφαίρα
0°	0	0	0	0
5°	2,00	1,33	1,50	1,00
10°	3,94	2,63	2,96	1,98
15°	5,76	3,84	4,32	2,89
20°	7,40	4,94	5,56	3,72
25°	8,82	5,89	6,62	4,43
30°	9,98	6,66	7,49	5,00
35°	10,83	7,23	8,13	5,43
40°	11,36	7,58	8,52	5,69
45°	11,54	7,70	8,66	5,77
50°	11,37	7,58	8,53	5,68
55°	10,85	7,24	8,14	5,42
60°	10,01	6,67	7,51	5,00
65°	8,86	5,90	6,64	4,42
70°	7,43	4,96	5,57	3,71
75°	5,78	3,86	4,34	2,88
80°	3,96	2,64	2,97	1,97
85°	2,01	1,34	1,51	1,00
90°	0	0	0	0

μέγιστες αποκλίσεις

μέγιστες αποκλίσεις

Πίνακας 3.3

Μετατροπή γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό πλάτος σύμμορφης σφαίρας (WGS-84)

γεωδαιτικό πλάτος φ (1)	υπολογισθέν σύμμορφο πλάτος						γεωδαιτικό πλάτος		
	(υπολογισθέν με ακριβείς τιμές των συντελεστών A ₂ , A ₄ , A ₆ και A ₈)			(υπολογισθέν με απλοποιημένες τιμές των συντελεστών A ₂ , A ₄ και A ₆)			(υπολογισθέν με απλοποιημένες τιμές των συντελεστών B ₂ , B ₄ και B ₆)		
	(2)			(3)			(4)		
	(°)	(')	('')	(°)	(')	('')	(°)	(')	('')
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5°	4	58	0,11	4	58	0,11	5	0	0
10°	9	56	3,83	9	56	3,83	10	0	0
15°	14	54	14,67	14	54	14,67	15	0	0
20°	19	52	35,93	19	52	35,93	20	0	0
25°	24	51	10,59	24	51	10,59	25	0	0
30°	29	50	1,26	29	50	1,26	30	0	0
35°	34	49	10,04	34	49	10,04	35	0	0
40°	39	48	38,51	39	48	38,51	40	0	0
45°	44	48	27,66	44	48	27,66	45	0	0
50°	49	48	37,85	49	48	37,85	50	0	0
55°	54	49	8,79	54	49	8,79	55	0	0
60°	59	49	59,58	59	49	59,58	60	0	0
65°	64	51	8,68	64	51	8,68	65	0	0
70°	69	52	34,02	69	52	34,02	70	0	0
75°	74	54	12,99	74	54	12,99	75	0	0
80°	79	56	2,58	79	56	2,58	80	0	0
85°	84	57	59,44	84	57	59,44	85	0	0
90°	90	0	0	90	0	0	90	0	0

- (2): Οι τιμές της στήλης (2) υπολογίστηκαν με την (3.3.3) δύο φορές, μία με τον αναλυτικό υπολογισμό των αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄, A₆ και A₈ με τις (3.3.5) έως (3.3.8) και μία με προϋπολογισμένες τιμές των συντελεστών αυτών με 15 δεκαδικά ψηφία (πίνακας 3.1). Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων υπολογισμού ταυτίζονται [στήλες (2) και (4)].
- (3): Οι τιμές της στήλης (3) υπολογίστηκαν με τον τύπο 3.3.3, αλλά με την απαλοιφή του όρου A₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄ και A₆ (Πίνακας 3.1): A₂=0.0033566, A₄=-4,694528x10⁻⁶, A₆= 8,277940 x10⁻⁹.
- (4): Οι τιμές της στήλης (4) υπολογίστηκαν με τον τύπο 3.3.9, αλλά με την απαλοιφή του όρου B₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών B₂, B₄ και B₆ (Πίνακας 3.1): B₂=3,356551 x10⁻³, B₄=6,571921 x10⁻⁶, B₆=1,773152 x10⁻⁸.

Πίνακας 3.4

Μετατροπή γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό πλάτος ισοδύναμης σφαίρας (WGS-84)

γεωδαιτικό πλάτος φ (1)	υπολογισθέν ισοδύναμο πλάτος						γεωδαιτικό πλάτος		
	(υπολογισθέν με ακριβείς τιμές των συντελεστών A ₂ , A ₄ , A ₆ και A ₈) (2)			(υπολογισθέν με απλοποιημένες τιμές των συντελεστών A ₂ , A ₄ και A ₆) (3)			(υπολογισθέν με απλοποιημένες τιμές των συντελεστών B ₂ , B ₄ και B ₆) (4)		
	(°)	(')	('')	(°)	(')	('')	(°)	(')	('')
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5°	4	58	39,95	4	58	39,95	5	0	0
10°	9	57	22,31	9	57	22,31	10	0	0
15°	14	56	9,44	14	56	9,44	15	0	0
20°	19	55	3,55	19	55	3,55	20	0	0
25°	24	54	6,62	24	54	6,62	25	0	0
30°	29	53	20,39	29	53	20,39	30	0	0
35°	34	52	46,27	34	52	46,27	35	0	0
40°	39	52	25,3	39	52	25,3	40	0	0
45°	44	52	18,13	44	52	18,13	45	0	0
50°	49	52	25	49	52	25	50	0	0
55°	54	52	45,7	54	52	45,7	55	0	0
60°	59	53	19,63	59	53	19,63	60	0	0
65°	64	54	5,75	64	54	5,75	65	0	0
70°	69	55	2,68	69	55	2,68	70	0	0
75°	74	56	8,68	74	56	8,68	75	0	0
80°	79	57	21,75	79	57	21,75	80	0	0
85°	84	58	39,65	84	58	39,65	85	0	0
90°	90	0	0	90	0	0	90	0	0

- (2): Οι τιμές της στήλης (2) υπολογίστηκαν με την (3.3.17) δύο φορές, μια με τον αναλυτικό υπολογισμό των αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄, A₆ και A₈ με τις (3.3.19) έως (3.3.22) και μία με προϋπολογισμένες τιμές των συντελεστών αυτών με 15 δεκαδικά ψηφία (πίνακας 3.1). Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων υπολογισμού ταυτίζονται [στήλες (2) και (4)].
- (3): Οι τιμές της στήλης (3) υπολογίστηκαν με την (3.3.17), αλλά με την απαλοιφή του όρου A₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄ και A₆ (Πίνακας 3.1): A₂ = 2, 23921 x10⁻³, A₄ = -2,130852x10⁻⁶, A₆ = 2,55352 x10⁻⁹.
- (4): Οι τιμές της στήλης (4) υπολογίστηκαν με τον τύπο 3.3.23, αλλά με την απαλοιφή του όρου B₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών B₂, B₄ και B₆ (Πίνακας 3.1): B₂= 2,239209x10⁻³, B₄= 2,883209x10⁻⁶, B₆=5,080705x10⁻⁹.

Πίνακας 3.5

Μετατροπή γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό πλάτος
ισαπέχουσας στους μεσημβρινούς σφαίρας
(WGS-84)

γεωδαιτικό πλάτος φ (1)	υπολογισθέν πλάτος ισαπέχουσας στους μεσημβρινούς σφαίρας						γεωδαιτικό πλάτος (υπολογισθέν με απλοποι- ποιημένες τιμές των συντελεστών B ₂ , B ₄ και B ₆)		
	(υπολογισθέν με ακριβείς τιμές των συντελεστών A ₂ , A ₄ , A ₆ και A ₈) (2)			(υπολογισθέν με απλοποι- ημένες τιμές των συντε- λεστών A ₂ , A ₄ και A ₆) (3)			(4)		
	(°)	(')	(")	(°)	(')	(")	(°)	(')	(")
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5°	4	58	29,97	4	58	29,97	5	0	0
10°	9	57	2,65	9	57	2,65	10	0	0
15°	14	55	40,70	14	55	40,70	15	0	0
20°	19	54	26,58	19	54	26,58	20	0	0
25°	24	53	22,54	24	53	22,54	25	0	0
30°	29	52	30,53	29	52	30,53	30	0	0
35°	34	51	52,14	34	51	52,14	35	0	0
40°	39	51	28,53	39	51	28,53	40	0	0
45°	44	51	20,46	44	51	20,46	45	0	0
50°	49	51	28,16	49	51	28,16	50	0	0
55°	54	51	51,44	54	51	51,44	55	0	0
60°	59	52	29,59	59	52	29,59	60	0	0
65°	64	53	21,47	64	53	21,47	65	0	0
70°	69	54	25,50	69	54	25,50	70	0	0
75°	74	55	39,75	74	55	39,75	75	0	0
80°	79	57	1,95	79	57	1,95	80	0	0
85°	84	58	29,60	84	58	29,60	85	0	0
90°	90	0	0	90	0	0	90	0	0

- (2): Οι τιμές της στήλης (2) υπολογίστηκαν με την (3.3.28) δύο φορές, μια με τον αναλυτικό υπολογισμό των αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄, A₆ και A₈ με τις (3.3.30) έως (3.3.33) και μία με προϋπολογισμένες τιμές των συντελεστών αυτών με 15 δεκαδικά ψηφία (πίνακας 3.1). Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων υπολογισμού ταυτίζονται [στήλες (2) και (4)].
- (3): Οι τιμές της στήλης (3) υπολογίστηκαν με την (3.3.28), αλλά με την απαλοιφή του όρου A₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄ και A₆ (Πίνακας 3.1): A₂ = 2,518828x10⁻³, A₄ = -2,643539x10⁻⁶, A₆ = 3,452089x10⁻⁹.
- (4): Οι τιμές της στήλης (4) υπολογίστηκαν με την (3.3.34), αλλά με την απαλοιφή του όρου B₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών B₂, B₄ και B₆ (Πίνακας 3.1): B₂ = 2,518827x10⁻³, B₄ = 3,700952x10⁻⁶, B₆ = 7,44755x10⁻⁹.

Πίνακας 3.6

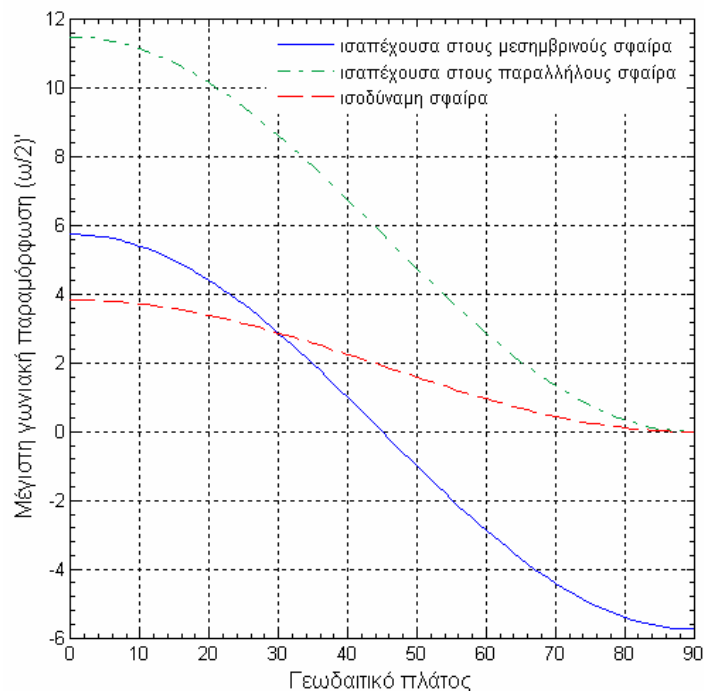
**Μετατροπή γεωδαιτικού πλάτους σε σφαιρικό πλάτος
ισαπέχουσας στους παραλλήλους σφαιράς
(WGS-84)**

γεωδαιτικό πλάτος φ (1)	υπολογισθέν πλάτος ισαπέχουσας στους παραλλήλους σφαιράς						γεωδαιτικό πλάτος (υπολογισθέν με απλοποι- ημένες τιμές των συντελε- στών B ₂ , B ₄ και B ₆)		
	(υπολογισθέν με ακριβείς τιμές των συντελεστών A ₂ , A ₄ , A ₆ και A ₈)			(υπολογισθέν με απλο- ποιημένες τιμές των συντελεστών A ₂ , A ₄ και A ₆)					
	(2)			(3)			(4)		
	(°)	(')	(")	(°)	(')	(")	(°)	(')	(")
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5°	4	58	59,75	4	58	0	5	44	29,88
10°	9	58	1,35	9	58	59,75	11	17	9,18
15°	14	57	6,57	14	57	1,35	16	29	15,95
20°	19	56	17,07	19	56	6,57	21	17	35,72
25°	24	55	34,38	24	55	17,07	25	45	13,77
30°	29	54	59,79	29	54	34,38	30	0	46,77
35°	34	54	34,34	34	54	59,79	34	16	6,05
40°	39	54	18,8	39	54	34,34	38	43	8,36
45°	44	54	13,64	44	54	18,8	43	30	44,25
50°	49	54	19	49	54	13,64	48	42	15,21
55°	54	54	34,71	54	54	19	54	14	38,22
60°	59	55	0,29	59	55	34,71	59	59	13,31
65°	64	55	34,96	64	55	0,29	65	44	2,17
70°	69	56	17,65	69	56	34,96	71	17	1,03
75°	74	57	7,07	74	57	17,65	76	29	15,95
80°	79	58	1,72	79	58	7,07	81	17	27,64
85°	84	58	59,95	84	58	1,72	85	44	46,11
90°	90	0	0	90	0	59,95	90	0	0

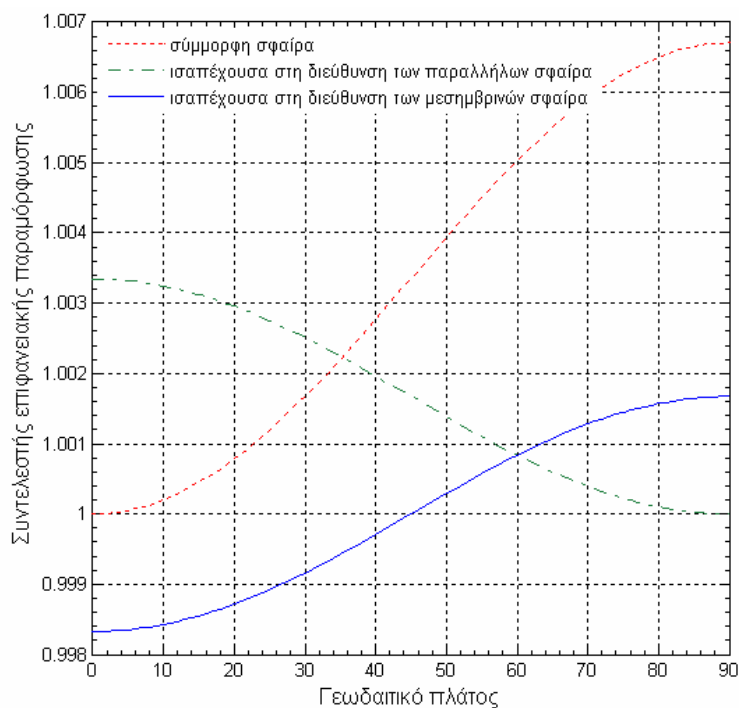
- (2): Οι τιμές της στήλης (2) υπολογίστηκαν με την (3.3.38) δύο φορές, μία με τον αναλυτικό υπολογισμό των αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄, A₆ και A₈ με τις (3.3.40) έως (3.3.43) και μία με προϋπολογισμένες τιμές των συντελεστών αυτών με 15 δεκαδικά ψηφία (πίνακας 3.1). Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων υπολογισμού ταυτίζονται [στήλες (2) και (4)].
- (3): Οι τιμές της στήλης (3) υπολογίστηκαν με τον τύπο 3.3.38, αλλά με την απαλοιφή του όρου A₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών A₂, A₄ και A₆ (Πίνακας 3.1): A₂ = 1,67922 x10⁻³, A₄ = 1,40989 x10⁻³, A₆ = 1,578345 x10⁻⁹.
- (4): Οι τιμές της στήλης (4) υπολογίστηκαν με τη (3.3.45), αλλά με την απαλοιφή του όρου B₈ και χρήση των επόμενων απλοποιημένων αριθμητικών τιμών των συντελεστών B₂, B₄ και B₆ (Πίνακας 3.1): B₂= 1,679216x10⁻³, B₄= 4,229640x10⁻⁶, B₆=1,57833x10⁻⁸

3.4.2 Αξιολόγηση παραμορφώσεων μετασχηματισμού ΕΕΠ σε σφαίρα

Για την αξιολόγηση των παραμορφώσεων, οι οποίες δημιουργούνται κατά το μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα, έγινε υπολογισμός και ανάλυση των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων για τους μετασχηματισμούς σε σύμμορφη σφαίρα, σε ισοδύναμη σφαίρα, σε ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα και σε ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών παρουσιάζονται συνοπτικά στα διαγράμματα των σχημάτων 3.5 και 3.6 και αναλυτικότερα, στους πίνακες 3.7 έως 3.10 και στα διαγράμματα των σχημάτων 3.7 έως 3.17.



Σχ. 3.5: Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε σφαιρικές επιφάνειες. Μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση



Σχ. 3.6: Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε σφαιρικές επιφάνειες. Επιφανειακή παραμόρφωση

Πίνακας 3.7
Παραμορφώσεις σύμμορφης σφαίρας

φ	m	m (%)	p	p (%)	ω
0	1,0000	0	1,0000	0	0
5	1,0000	0,00	1,0001	0,00	0
10	1,0001	0,01	1,0002	0,00	0
15	1,0002	0,02	1,0004	0,00	0
20	1,0004	0,04	1,0008	0,00	0
25	1,0006	0,06	1,0012	0,00	0
30	1,0008	0,08	1,0017	0,01	0
35	1,0011	0,11	1,0022	0,01	0
40	1,0014	0,14	1,0028	0,02	0
45	1,0017	0,17	1,0033	0,03	0
50	1,0020	0,20	1,0039	0,04	0
55	1,0022	0,22	1,0045	0,05	0
60	1,0025	0,25	1,0050	0,06	0
65	1,0027	0,27	1,0055	0,08	0
70	1,0030	0,30	1,0059	0,09	0
75	1,0031	0,31	1,0062	0,10	0
80	1,0032	0,32	1,0065	0,11	0
85	1,0033	0,33	1,0066	0,11	0
90	1,0033	0,33	1,0067	0,11	0

Από τη συγκριτική μελέτη και την ανάλυση των στοιχείων των πινάκων 3.7 έως 3.10 και των διαγραμμάτων των σχημάτων 3.7 έως 3.17, προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις:

Κατά το μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε οποιαδήποτε από τις ανωτέρω τέσσερις βοηθητικές σφαίρες (σφαίρα σύμμορφιας, ισοδύναμη σφαίρα, ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα και ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα), οι δημιουργούμενες γραμμικές, γωνιακές και επιφανειακές παραμορφώσεις είναι πρακτικά αμελητέες για το σκοπό της εκτελούμενης έρευνας (περιορισμός παραμορφώσεων σε όρια που δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες, ή έντονες παραμορφώσεις για τη βέλτιστη οπτικοποίηση των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων).

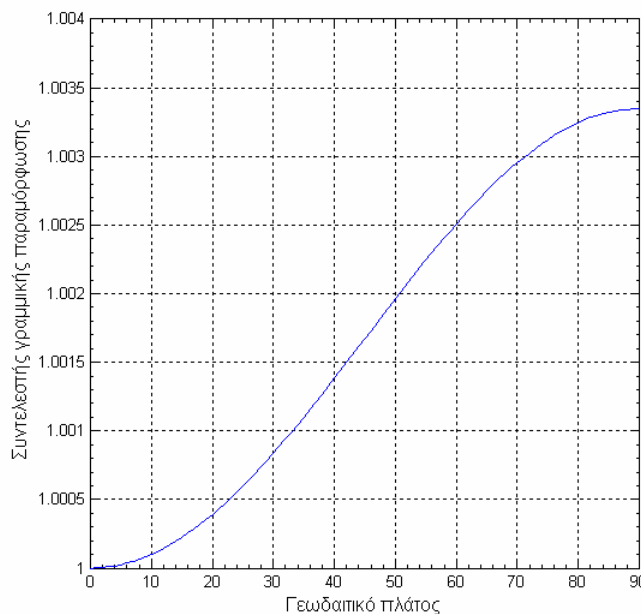
Η μέγιστη γραμμική παραμόρφωση είναι περίπου 0.33%. Η παραμόρφωση αυτή παρατηρείται στους πόλους της σύμμορφης σφαίρας και της ισαπέχουσας στους παραλλήλους σφαίρας. Η ελάχιστη γραμμική παραμόρφωση (πλην της σύμμορφης σφαίρας) είναι περίπου 0.12%. Η παραμόρφωση αυτή παρατηρείται στον ισημερινό της ισοδύναμης σφαίρας.

Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση είναι περίπου 11'.5. Η παραμόρφωση αυτή παρατηρείται στον ισημερινό της ισαπέχουσας στους παραλλήλους σφαίρας. Η ελάχιστη γωνιακή παραμόρφωση (πλην της σύμμορφης σφαίρας) είναι περίπου 3'.8. Η παραμόρφωση αυτή παρατηρείται στον ισημερινό και τους πόλους της ισοδύναμης σφαίρας.

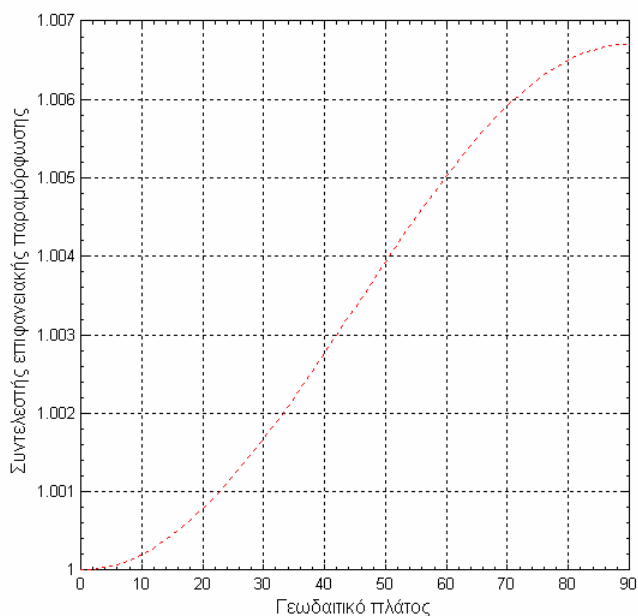
Η μέγιστη επιφανειακή παραμόρφωση είναι περίπου 0.69%. Η παραμόρφωση αυτή παρατηρείται στους πόλους της σύμμορφης σφαίρας. Η ελάχιστη επιφανειακή παραμόρφωση είναι περίπου 0.57%. Η παραμόρφωση αυτή παρατηρείται στον ισημερινό της ισαπέχουσας στους παραλλήλους σφαίρας.

Η ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα δεν εμφανίζει μεγάλες τιμές γραμμικών ή γωνιακών παραμορφώσεων, όπως η σύμμορφη και η ισοδύναμη σφαίρα αντιστοίχως. Επίσης η ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα εμφανίζει μικρότερες γωνιακές και επιφανειακές παραμορφώσεις από την ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα.

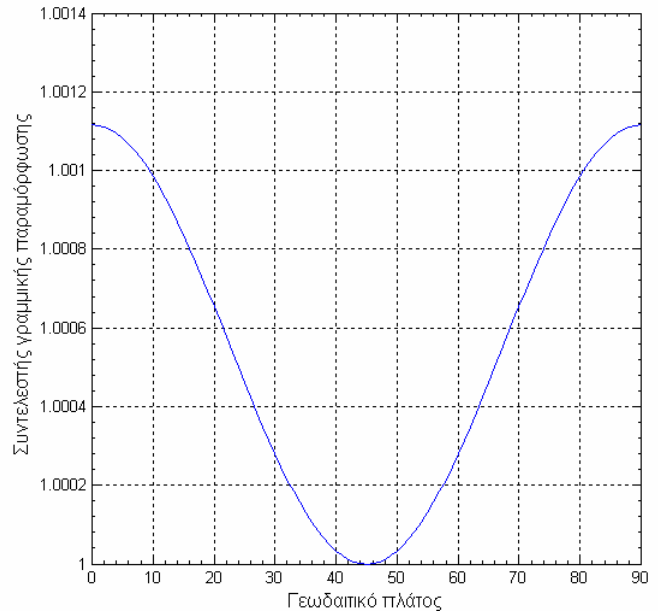
Σχ. 3.7:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε σύμμορφη σφαίρα. Γραμμική παραμόρφωση



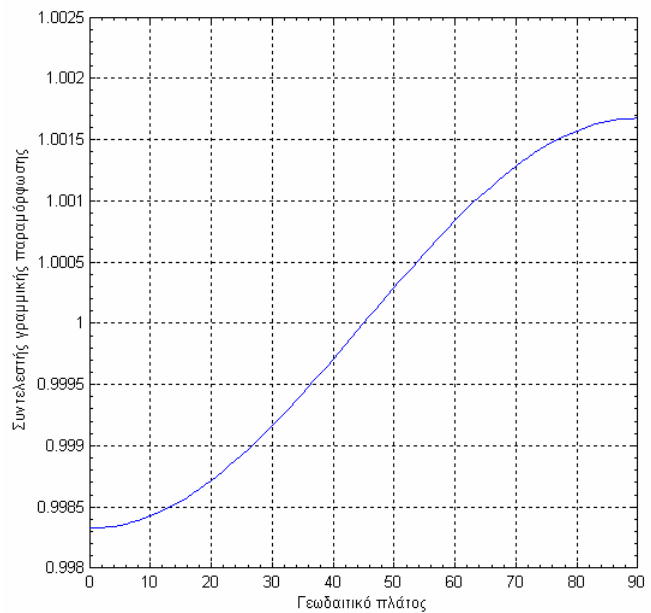
Σχ. 3.8:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε σύμμορφη σφαίρα. Επιφανειακή παραμόρφωση



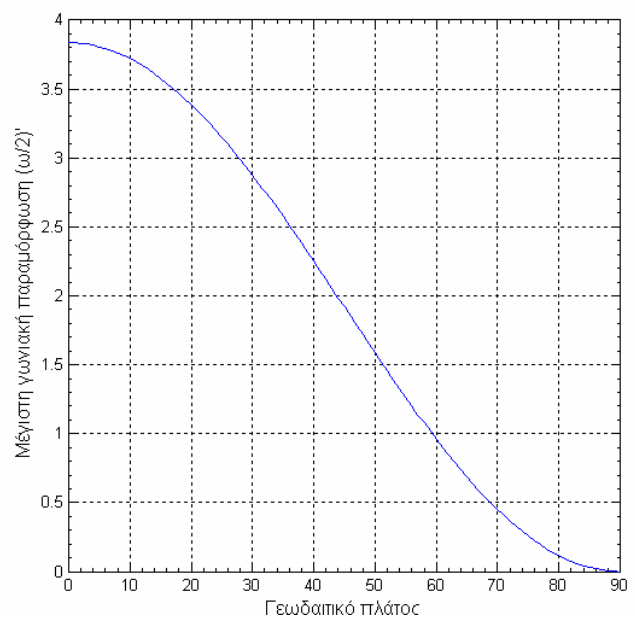
Σχ. 3.9:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισοδύναμη σφαίρα. Γραμμική παραμόρφωση
στη διεύθυνση του μεσημβρινού



Σχ. 3.10:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισοδύναμη σφαίρα. Γραμμική παραμόρφωση
στη διεύθυνση του παραλλήλου



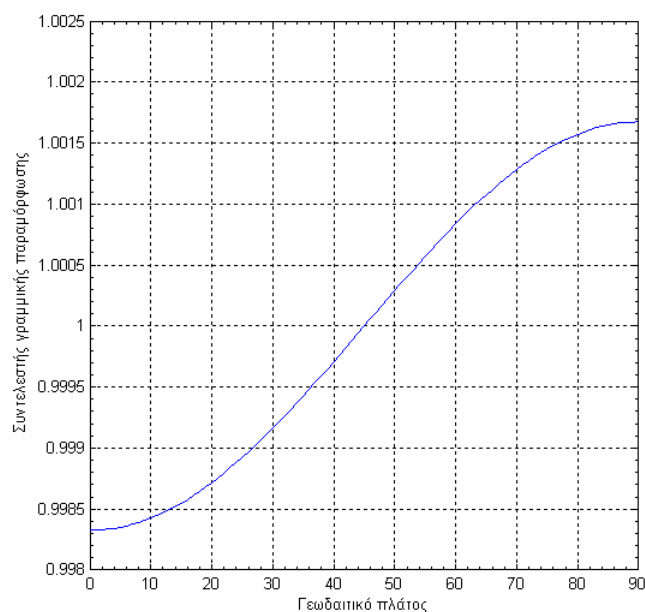
Σχ. 3.11 :
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισοδύναμη σφαίρα. Μέγιστη γωνιακή
παραμόρφωση



Πίνακας 3.8
Παραμορφώσεις ισοδύναμης σφαίρας

ϕ	m	m (%)	n	n (%)	ω
0	1,0011	0,11	0,9989	-0,11	3,8356
5	1,0011	0,11	0,9989	-0,11	3,8065
10	1,0011	0,11	0,9989	-0,11	3,7199
15	1,0011	0,11	0,9989	-0,11	3,5787
20	1,0010	0,10	0,9990	-0,10	3,3869
25	1,0010	0,10	0,9990	-0,10	3,1505
30	1,0010	0,10	0,9990	-0,10	2,8767
35	1,0009	0,09	0,9991	-0,09	2,5737
40	1,0009	0,09	0,9991	-0,09	2,2508
45	1,0008	0,08	0,9992	-0,08	1,9178
50	1,0007	0,07	0,9993	-0,07	1,5848
55	1,0006	0,06	0,9994	-0,06	1,2619
60	1,0006	0,06	0,9994	-0,06	0,9589
65	1,0005	0,05	0,9995	-0,05	0,6851
70	1,0004	0,04	0,9996	-0,04	0,4487
75	1,0003	0,03	0,9997	-0,03	0,2569
80	1,0002	0,02	0,9998	-0,02	0,1157
85	1,0001	0,01	0,9999	-0,01	0,0291
90	1,0000	0	1,0000	0	0

Σχ. 3.12:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα.
Γραμμική παραμόρφωση στη διεύθυνση του
παραλλήλου

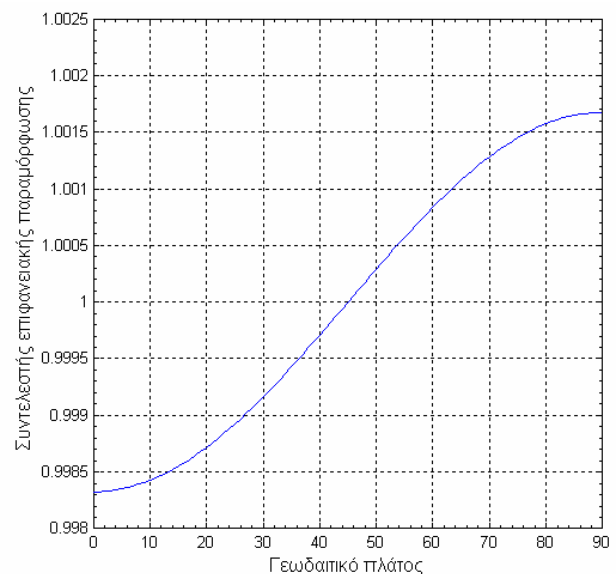


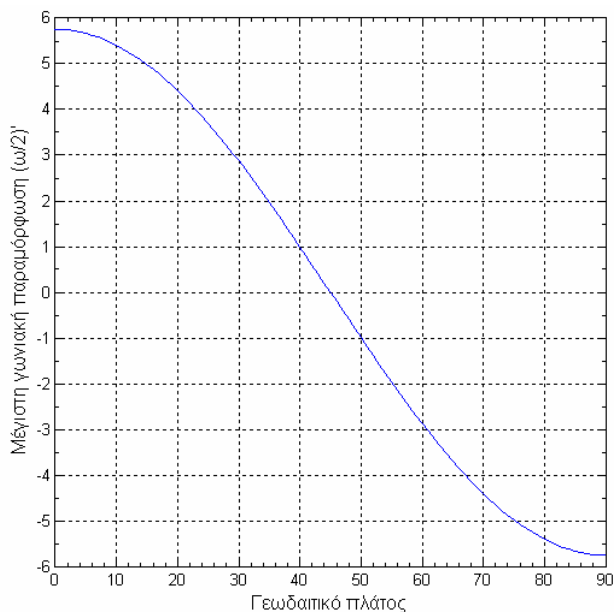
Πίνακας 3.9

Παραμορφώσεις ισαπέχουσας στους μεσημβρινούς σφαίρας

φ	m	n	n (%)	p	p (%)	ω
0	1	1,0000	0	1,0000	0	5,75
5	1	0,9999	-0,01	0,9999	-0,01	5,67
10	1	0,9998	-0,02	0,9998	-0,02	5,41
15	1	0,9996	-0,04	0,9996	-0,04	4,98
20	1	0,9992	-0,08	0,9992	-0,08	4,41
25	1	0,9988	-0,12	0,9988	-0,12	3,70
30	1	0,9983	-0,17	0,9983	-0,17	2,88
35	1	0,9978	-0,22	0,9978	-0,22	1,97
40	1	0,9972	-0,28	0,9972	-0,28	1,00
45	1	0,9967	-0,33	0,9967	-0,33	0
50	1	0,9961	-0,39	0,9961	-0,39	-1,00
55	1	0,9955	-0,45	0,9955	-0,45	-1,97
60	1	0,9950	-0,50	0,9950	-0,50	-2,88
65	1	0,9945	-0,55	0,9945	-0,55	-3,70
70	1	0,9941	-0,59	0,9941	-0,59	-4,41
75	1	0,9938	-0,62	0,9938	-0,62	-4,98
80	1	0,9935	-0,65	0,9935	-0,65	-5,41
85	1	0,9934	-0,66	0,9934	-0,66	-5,67
90	1	0,9933	-0,67	0,9933	-0,67	-5,75

Σχ. 3.13:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα.
Επιφανειακή παραμόρφωση





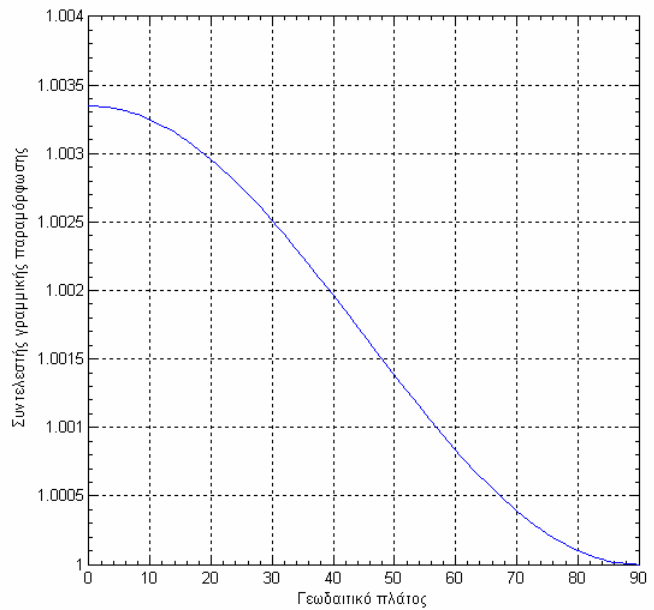
Σχ. 3.14 : Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα. Μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση

Πίνακας 3.10

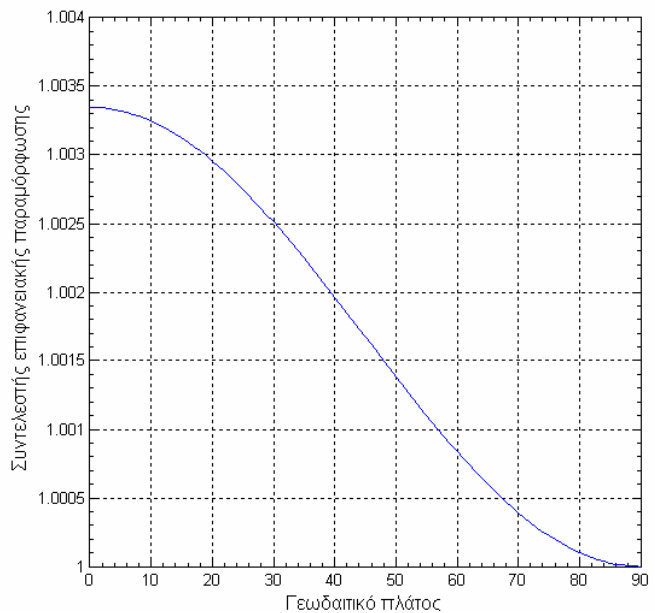
Παραμορφώσεις ισαπέχουσας στους παραλλήλους σφαίρας

φ	m	m (%)	n	p	p (%)	ω
0	1,0033	0,33	1	1,0033	0,33	11,51
5	1,0033	0,33	1	1,0033	0,33	11,42
10	1,0032	0,32	1	1,0032	0,32	11,16
15	1,0031	0,31	1	1,0031	0,31	10,74
20	1,0030	0,30	1	1,0030	0,30	10,16
25	1,0027	0,27	1	1,0027	0,27	9,45
30	1,0025	0,25	1	1,0025	0,25	8,63
35	1,0022	0,22	1	1,0022	0,22	7,72
40	1,0020	0,20	1	1,0020	0,20	6,75
45	1,0017	0,17	1	1,0017	0,17	5,75
50	1,0014	0,14	1	1,0014	0,14	4,75
55	1,0011	0,11	1	1,0011	0,11	3,79
60	1,0008	0,08	1	1,0008	0,08	2,88
65	1,0006	0,06	1	1,0006	0,06	2,06
70	1,0004	0,04	1	1,0004	0,04	1,35
75	1,0002	0,02	1	1,0002	0,02	0,77
80	1,0001	0,01	1	1,0001	0,01	0,35
85	1,0000	0,00	1	1,0000	0,00	0,09
90	1,0000	0	1	1,0000	0	0

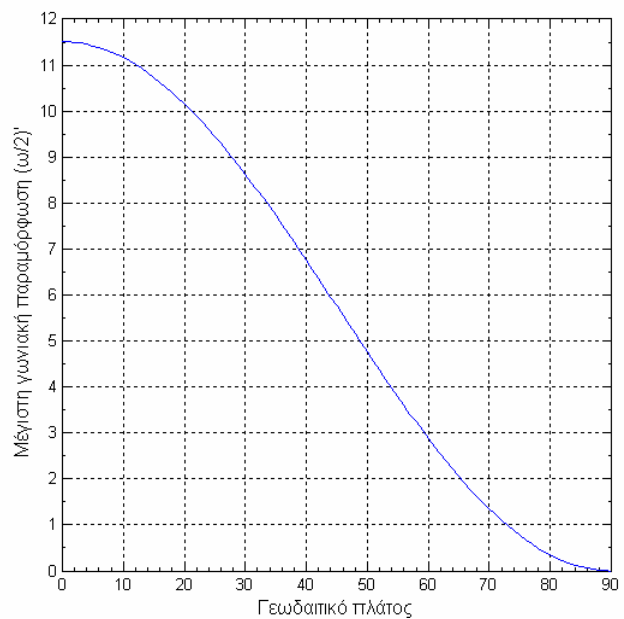
Σχ. 3.15:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα.
Γραμμική παραμόρφωση στη διεύθυνση του
μεσημβρινού



Σχ. 3.16:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα.
Επιφανειακή παραμόρφωση



Σχ. 3.17:
Μετασχηματισμός επιφάνειας ΕΕΠ σε
ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα.
Μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση



3.4.3 Αξιολόγηση παραμορφώσεων απλής και διπλής απεικόνισης

Για τη σύγκριση των παραμορφώσεων των χαρτογραφικών απεικονίσεων κατά την απλή (απευθείας) απεικόνιση του ΕΕΠ στο επίπεδο και κατά την απεικόνιση με ενδιάμεσο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα έγιναν υπολογισμοί των παραμορφώσεων τριών χαρτογραφικών απεικονίσεων, για τις οποίες υπάρχουν τύποι απεικόνισης του ΕΕΠ με τους παρακάτω δύο τρόπους:

- i. Υπολογισμοί παραμορφώσεων για την απλή (απευθείας) απεικόνιση του ΕΕΠ στο επίπεδο (Σχ. 3.1α).
- ii. Υπολογισμοί παραμορφώσεων για τη “διπλή απεικόνιση” του ΕΕΠ σε επίπεδο (με ενδιάμεσο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα) [Σχ. 3.1β].

Για την εκτέλεση της ανωτέρω αξιολόγησης επιλέχθηκαν τρεις χαρτογραφικές απεικονίσεις, μία κυλινδρική, μία κωνική και μία αζιμουθιακή. Οι απεικονίσεις αυτές είναι οι:

- ορθή Μερκατορική απεικόνιση,
- σύμμορφη κωνική απεικόνιση,
- στερεογραφική πολική απεικόνιση.

Για την απλή (απευθείας) απεικόνιση του ΕΕΠ στο επίπεδο, ο υπολογισμός των παραμορφώσεων υλοποιήθηκε ως εξής:

- Για την ορθή μερκατορική απεικόνιση και για τη σύμμορφη κωνική απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab/Mapping (§ 3.2.3).
- Για τη στερεογραφική πολική απεικόνιση, για την οποία το λογισμικό Matlab/Mapping δεν υποστηρίζει υπολογισμούς στο ΕΕΠ χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία εξαγωγής τύπων του ΕΕΠ που προτείνονται από τον Snyder (1978).

Για τη διπλή απεικόνιση του ΕΕΠ στο επίπεδο (με ενδιάμεσο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα), οι παραμορφώσεις των εξεταζόμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων υπολογίστηκαν με τη χρησιμοποίηση των τύπων των παραμορφώσεων για:

- το μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα (§ 3.3) και
- την απεικόνιση της επιφάνειας σφαίρας στο επίπεδο με τις χαρτογραφικές απεικονίσεις που εξετάστηκαν.

Τα αποτελέσματα των ανωτέρω υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες 3.11 έως 3.13. Από τη συγκριτική μελέτη και την ανάλυση των στοιχείων αυτών, προκύπτουν οι επόμενες διαπιστώσεις.

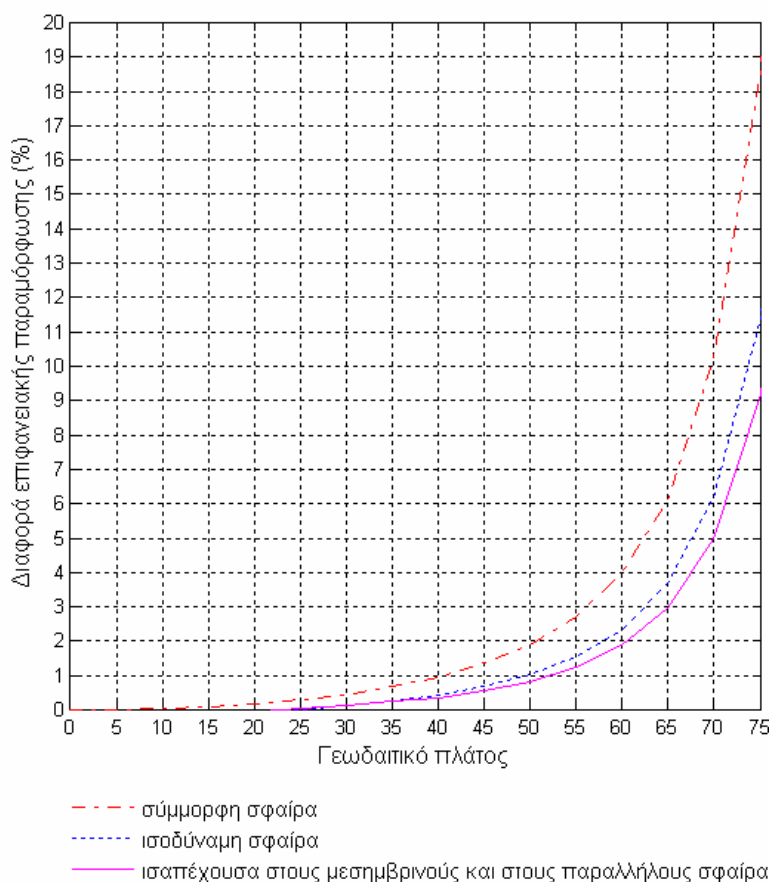
Για τη μερκατορική απεικόνιση (πίνακας 3.11), οι αποκλίσεις των γραμμικών παραμορφώσεων μεταξύ απλής και διπλής απεικόνισης μηδενίζονται στα μικρά γεωγραφικά πλάτη κοντά στον ισημερινό και λαμβάνουν αξιοσημείωτες τιμές σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε γεωγραφικό πλάτος 80° οι αποκλίσεις αυτές είναι της τάξεως του 3,7% για το μετασχηματισμό σε σφαίρα συμμορφίας, της τάξεως του 2,8% για το μετασχηματισμό σε ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα και της τάξεως του 1,9% για το μετασχηματισμό σε ισοδύναμη σφαίρα και σε ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα.

Για τη σύμμορφη κωνική απεικόνιση σε απεικονίσεις γεωγραφικών περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$) [πίνακας 3.12], οι αποκλίσεις των γραμμικών παραμορφώσεων μεταξύ απλής και διπλής απεικόνισης είναι μικρότερες του 1% και για τους τέσσερις μετασχηματισμούς (σφαίρα συμμορφίας, ισοδύναμη σφαίρα, ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα και ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα).

Για τη στερεογραφική πολική απεικόνιση (πίνακας 3.13), οι αποκλίσεις των γραμμικών παραμορφώσεων μεταξύ απλής και διπλής απεικόνισης σε απεικονίσεις γεωγραφικών περιοχών μεγάλων γεωγραφικών πλατών ($\phi \geq 60^\circ$) είναι μικρότερες από 1% για το μετασχηματισμό σε σφαίρα συμμορφίας, σε ισοδύναμη σφαίρα και σε ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα, ενώ για το μετασχηματισμό σε ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα, οι αποκλίσεις είναι της τάξεως του 4 %.

Οι μέγιστες αποκλίσεις των γωνιακών παραμορφώσεων μεταξύ απλής και διπλής απεικόνισης για τις εξετασθείσες τρεις χαρτογραφικές απεικονίσεις δημιουργούνται στην ορθή μερκατορική απεικόνιση κατά το μετασχηματισμό σε ισοδύναμη σφαίρα σε μικρά γεωγραφικά πλάτη και είναι της τάξεως των $3^\circ,8$ (πίνακας 3.11).

Και για τις τρεις χαρτογραφικές απεικονίσεις που εξετάστηκαν (πίνακες 3.11 έως 3.13) οι τιμές των γραμμικών, των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων στη μέθοδο του διπλού μετασχηματισμού παρουσιάζουν αποκλίσεις από τις αντίστοιχες τιμές του απλού μετασχηματισμού, οι οποίες είναι μικρότερες από τις τιμές που δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες, ή έντονες αλλοιώσεις της μορφής των απεικονιζόμενων περιοχών.¹¹ Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι για την περίπτωση της μερκατορικής απεικόνισης, στην οποία δημιουργούνται πολύ μεγάλες επιφανειακές παραμορφώσεις, οι οποίες σε γεωγραφικό πλάτος 60° είναι 400%, οι αποκλίσεις των επιφανειακών παραμορφώσεων που δημιουργούνται κατά την εφαρμογή των μεθόδων διπλού μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ (ΕΕΠ σε σφαίρα και σφαίρας σε επίπεδο) είναι της τάξεως του 4% για τη χρήση της σύμμορφης σφαίρας, του 2% για τη χρήση της ισοδύναμης σφαίρας, 2,3% για τη χρήση της ισαπέχουσας στους μεσημβρινούς σφαίρας και 1,88% για τη χρήση της ισαπέχουσας στους παραλλήλους σφαίρας (πίνακας 3.11 και Σχ. 3.18).



Σχ. 3.18: Διαφορές επιφανειακών παραμορφώσεων μερκατορικής απεικόνισης μεταξύ απλής και διπλής απεικόνισης

¹¹ Βλ. κεφάλαιο 4, § 4.6.

Πίνακας 3.11

Ορθή μερκατορική απεικόνιση. Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε επίπεδο με χρήση ενδιάμεσων απεικονίσεων σε βοηθητικές σφαίρες

Αποκλίσεις γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων ως προς τις παραμορφώσεις της απευθείας απεικόνισης με τους τύπους της μερκατορικής απεικόνισης στο ΕΕΠ

φ	Σύμμορφη σφαίρα				Ισοδύναμη σφαίρα				Ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα				Ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα			
	Δh (%)	Δk (%)	Δp (%)	Δω ^(<i>α</i>)	Δh (%)	Δk (%)	Δp (%)	Δω ^(<i>α</i>)	Δh (%)	Δk (%)	Δp (%)	Δω ^(<i>α</i>)	Δh (%)	Δk (%)	Δp (%)	Δω ^(<i>α</i>)
0°	0,00	0,00	0,00	0	0,11	-0,11	0,00	3,8	0,00	-0,17	-0,17	2,9	-0,11	0,00	-0,11	1,9
5°	0,00	0,00	0,00	0	0,11	-0,11	0,00	3,8	0,00	-0,16	-0,16	2,8	-0,11	0,00	-0,11	1,9
10°	0,02	0,02	0,04	0	0,12	-0,10	0,02	3,8	0,01	-0,15	-0,14	2,8	-0,10	0,01	-0,09	1,9
15°	0,05	0,05	0,10	0	0,13	-0,07	0,06	3,4	0,03	-0,11	-0,09	2,4	-0,07	0,03	-0,05	1,7
20°	0,08	0,08	0,18	0	0,15	-0,07	0,09	3,4	0,04	-0,10	-0,06	2,2	-0,07	0,04	-0,03	1,7
25°	0,14	0,14	0,30	0	0,17	-0,03	0,15	3,1	0,07	-0,05	0,02	1,9	-0,03	0,07	0,04	1,5
30°	0,19	0,19	0,44	0	0,19	0,01	0,23	2,8	0,10	0,01	0,12	1,4	0,01	0,10	0,12	1,4
35°	0,27	0,27	0,67	0	0,23	0,05	0,34	2,4	0,14	0,07	0,25	1,0	0,05	0,14	0,24	1,2
40°	0,36	0,36	0,95	0	0,27	0,09	0,47	2,4	0,18	0,14	0,42	0,5	0,09	0,18	0,35	1,2
45°	0,48	0,48	1,36	0	0,32	0,16	0,68	2,1	0,24	0,24	0,68	0,0	0,16	0,24	0,56	1,0
50°	0,61	0,61	1,90	0	0,38	0,22	0,93	1,7	0,30	0,35	1,01	-0,5	0,22	0,30	0,81	0,9
55°	0,77	0,77	2,70	0	0,46	0,32	1,36	1,4	0,39	0,49	1,54	-1,0	0,32	0,39	1,24	0,7
60°	1,00	1,00	4,00	0	0,56	0,44	2,00	1,0	0,50	0,66	2,32	-1,4	0,44	0,50	1,88	0,5
65°	1,29	1,29	6,10	0	0,70	0,60	3,07	0,7	0,65	0,91	3,69	-1,9	0,60	0,65	2,96	0,3
70°	1,75	1,75	10,22	0	0,90	0,84	5,08	0,3	0,87	1,25	6,19	-2,2	0,84	0,87	4,99	0,2
75°	2,41	2,41	18,61	0	1,25	1,17	9,34	0,3	1,21	1,75	11,43	-2,4	1,17	1,21	9,19	0,2
80°	3,72	3,72	42,88	0	1,88	1,88	21,62	0,0	1,88	2,80	26,92	-2,7	1,88	1,88	21,62	0,0
85°	7,61	7,61	174,54	0	3,82	3,82	87,51	0,0	3,82	5,66	108,58	-2,7	3,82	3,82	87,51	0,0

Πίνακας 3.12

Σύμμορφη κωνική απεικόνιση. Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε επίπεδο με χρήση ενδιάμεσων απεικονίσεων σε βοηθητικές σφαίρες

Αποκλίσεις γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων ως προς τις αντίστοιχες παραμορφώσεις της κλασσικής απεικόνισης με τους τύπους της σύμμορφης κωνικής απεικόνισης στο ΕΕΠ - βασικοί παράλληλοι σε $\varphi_1=42^\circ$ και $\varphi_2=48^\circ$

φ	Σύμμορφη σφαίρα				Ισοδύναμη σφαίρα				Ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα				Ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα			
	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)
30°	0,09	0,09	0,19	0	0,09	-0,07	0,02	2,8	-0,07	-0,07	-0,06	1,4	-0,07	0,01	-3,19	1,4
35°	0,12	0,12	0,25	0	0,08	-0,06	0,02	2,4	-0,05	-0,05	-0,04	1,0	-0,06	0,01	-1,38	1,2
40°	0,14	0,14	0,28	0	0,07	-0,07	0,00	2,4	-0,03	-0,03	-0,03	0,5	-0,07	0,00	-0,31	1,2
45°	0,17	0,17	0,34	0	0,06	-0,06	0,00	2,1	0,00	0,00	0,00	0,0	-0,06	0,00	0,08	1,0
50°	0,20	0,20	0,40	0	0,05	-0,05	0,00	1,7	0,03	0,03	0,03	-0,5	-0,05	0,00	-0,30	0,9
55°	0,22	0,22	0,45	0	0,04	-0,04	0,00	1,4	0,06	0,06	0,06	-1,0	-0,04	0,00	-1,54	0,7
60°	0,27	0,27	0,56	0	0,04	-0,02	0,02	1,0	0,09	0,09	0,11	-1,4	-0,02	0,01	-3,79	0,5

Πίνακας 3.13

Στερεογραφική πολική απεικόνιση. Μετασχηματισμός ΕΕΠ σε επίπεδο με χρήση ενδιάμεσων απεικονίσεων σε βοηθητικές σφαίρες

Αποκλίσεις γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων ως προς τις αντίστοιχες παραμορφώσεις της κλασσικής απεικόνισης με τους τύπους της στερεογραφικής πολικής απεικόνισης στο ΕΕΠ

φ	Σύμμορφη σφαίρα				Ισοδύναμη σφαίρα				Ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα				Ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα			
	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)	Δh(%)	Δk(%)	Δp(%)	Δω(°)
60°	0,09	0,09	0,20	0	0,09	-0,08	0,01	2,8	0,006	-0,08	-0,08	1,4	-0,08	4,06	-7,24	1,4
65°	0,12	0,12	0,25	0	0,08	-0,07	0,01	2,4	0,003	-0,06	-0,06	1,0	-0,07	3,59	-4,98	1,2
70°	0,15	0,15	0,30	0	0,07	-0,07	0,00	2,4	0,001	-0,03	-0,03	0,5	-0,07	2,87	-3,18	1,2
75°	0,17	0,17	0,35	0	0,06	-0,06	0,00	2,1	0,000	0,00	0,00	0,0	-0,06	1,87	-1,79	1,0
80°	0,20	0,20	0,41	0	0,05	-0,05	0,00	1,7	0,000	0,03	0,03	-0,5	-0,05	0,52	-0,82	0,9
85°	0,22	0,22	0,44	0	0,04	-0,04	0,00	1,4	0,000	0,06	0,06	-1,0	-0,04	-1,31	-0,23	0,7
90°	0,25	0,25	0,50	0	0,03	-0,03	0,00	1,0	0,000	0,08	0,08	-1,4	-0,03	-3,77	-0,03	0,5

3.5 Επιλογή βοηθητικής σφαίρας για χρήση στα ΣΗΝΧ

Από τις διαπιστώσεις της αξιολόγησης των μεθόδων απεικόνισης του ΕΕΠ στο επίπεδο (§ 3.4) και λαμβάνοντας υπόψη ότι για τη ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ:

- η βασική απαίτηση της ακριβούς αμφιμονοσήμαντης αντιστοιχίας των γεωδαιτικών συντεταγμένων των σημείων του ΕΕΠ με τα αντίστοιχα σημεία της απεικόνισης στο επίπεδο (§ 3.1.2) εξασφαλίζεται κατά το διπλό μετασχηματισμό (ΕΕΠ σε σφαίρα και σφαίρας σε επίπεδο) με οποιαδήποτε από τις εξετασθείσες τέσσερις σφαίρες (σύμμορφη, ισοδύναμη, ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς και ισαπέχουσα στους παραλλήλους),
- προκειμένου να υποστηριχθεί με ενιαίο τρόπο η συνολική αντιμετώπιση του προβλήματος της κατά περίπτωση χρήσης της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης, λόγω της δυναμικής αλλαγής της γεωγραφικής θέσης και της έκτασης των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών κατά τη ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί η ίδια ενδιάμεση σφαιρική επιφάνεια για όσες χαρτογραφικές απεικονίσεις δεν υπάρχουν κατάλληλοι τύποι για την απευθείας απεικόνιση του ΕΕΠ σε επίπεδο,
- οι αποκλίσεις των παραμορφώσεων μεταξύ των μεθόδων διπλής απεικόνισης (με ενδιάμεσο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε οποιαδήποτε από τις εξεταζόμενες τέσσερις ενδιάμεσες σφαίρες) και της απευθείας απεικόνισης του ΕΕΠ σε επίπεδο, είναι πρακτικά αμελητέες, γιατί δεν υπερβαίνουν τις αποδεκτές για τη ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ ανοχές (§ 4.6.2),

προκύπτει το βασικό συμπέρασμα, ότι για τις λειτουργικές ανάγκες της ναυσιπλοΐας σε ΣΗΝΧ, που αφορούν τη χρήση της κατά περίπτωση καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης, μπορεί να πραγματοποιηθεί για όλες τις χαρτογραφικές απεικονίσεις η μέθοδος μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε επίπεδο με τη χρήση οποιασδήποτε από τις εξετασθείσες τέσσερις σφαίρες.

Κατόπιν των ανωτέρω επιλέχτηκε η ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα για χρήση στα ΣΗΝΧ με χαρτογραφικές απεικονίσεις, στις οποίες δεν υπάρχουν τύποι του ΕΕΠ. Η επιλογή αυτή στηρίχτηκε στα εξής:

- Ο μετασχηματισμός του ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα δεν είναι ούτε σύμμορφος, ούτε ισοδύναμος, αλλά δημιουργεί μέσες τιμές επιφανειακής και γωνιακής παραμόρφωσης σε σχέση με το μετασχηματισμό σε σύμμορφη ή σε ισοδύναμη σφαίρα.
- Η επίλυση των προβλημάτων πλου μεγάλων αποστάσεων στηρίζεται στον υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού, όπως π.χ., στην περίπτωση του λοξοδρομικού πλου (κεφάλαιο 2, § 2.2) και του πλου ελάχιστης διαδρομής στη μέγιστη έλλειψη (κεφάλαιο 2, § 2.5).
- Ο μετασχηματισμός του ΕΕΠ σε ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα δημιουργεί μεγαλύτερες επιφανειακές παραμορφώσεις σε σχέση με τις παραμορφώσεις στην ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα (πίνακες 3.5 και 3.6).

3.6 Σχόλια, συμπεράσματα και προτάσεις κεφαλαίου 3

- Για τις ανάγκες της ναυσιπλοΐας σε ΣΗΝΧ απαιτείται η χρήση χαρτογραφικών απεικονίσεων που παρέχουν ακριβή αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία των σημείων του ΕΕΠ με τα σημεία του Ηλεκτρονικού Χάρτη, ο οποίος απεικονίζεται στην οθόνη του συστήματος.
- Για την ακριβή απεικόνιση των σημείων του ΕΕΠ στο επίπεδο είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν χαρτογραφικές απεικονίσεις, στις οποίες υφίστανται μαθηματικοί τύποι μόνο για τη σφαίρα. Στις περιπτώσεις αυτές η απεικόνιση υλοποιείται με τον αρχικό μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα και στη συνέχεια με την απεικόνιση

των σημείων της βοηθητικής αυτής σφαίρας στο επίπεδο με τη χρησιμοποίηση των τύπων της χαρτογραφικής απεικόνισης για τη σφαίρα.

- Ο ενδιάμεσος μετασχηματισμός του ΕΕΠ σε οποιαδήποτε βοηθητική σφαίρα (σύμμορφη, ισοδύναμη, κλπ.) δεν επηρεάζει την ακρίβεια του χαρτογραφικού μετασχηματισμού της επιφάνειας του ΕΕΠ σε επίπεδο $\{ (\varphi, \lambda) \leftrightarrow (x, y) \}$. Η μόνη επίπτωση αφορά ορισμένες διαφορές στις τιμές των γραμμικών, των γωνιακών και των επιφανειακών παραμορφώσεων, οι οποίες δεν δημιουργούν προβλήματα για την εξεταζόμενη εφαρμογή (ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ).
- Με τη χρήση της διπλής απεικόνισης του ΕΕΠ (σε σφαίρα και στη συνέχεια σε επίπεδο) παρέχεται η δυνατότητα καλύτερης επιλογής της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης, γιατί η επιλογή γίνεται από μεγαλύτερο αριθμό χαρτογραφικών απεικονίσεων και όχι μόνο από αυτές, για τις οποίες υπάρχουν τύποι απευθείας απεικόνισης του ΕΕΠ στο επίπεδο.
- Με βάση τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης που πραγματοποιήθηκε για τέσσερις βοηθητικές σφαίρες (σφαίρα συμμορφίας, ισοδύναμη σφαίρα, ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα και ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα), επιλέχτηκε η ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα για χρήση στα ΣΗΝΧ με τις χαρτογραφικές απεικονίσεις, στις οποίες δεν υπάρχουν τύποι του ΕΕΠ.
- Η μεθοδολογία επιλογής των καταλληλότερων χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο 4 και η υλοποίησή της στα κεφάλαια 5 και 6.

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

4.1 Γενικές αρχές επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων

Για την επιλογή της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορα κριτήρια και μεθοδολογίες ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η απεικόνιση. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα κριτήρια και οι μεθοδολογίες επιλογής που προτείνονται στη σχετική βιβλιογραφία αφορούν στην έκδοση παραδοσιακών έντυπων χαρτών ή γεωγραφικών εκδόσεων (άτλαντες) γενικής ή ειδικής χρήσης και όχι σε εφαρμογές ΣΓΠ.

Για εφαρμογές σε περιβάλλον ΣΓΠ, όπως η εξεταζόμενη περίπτωση των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ), τα κριτήρια και η μεθοδολογία επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων πρέπει να διαφοροποιηθούν για τους κάτωθι λόγους:

- Για οποιαδήποτε εφαρμογή σε ΣΓΠ, οι τυχόν απαιτούμενες γεωχωρικές μετρήσεις και υπολογισμοί είναι δυνατό να υλοποιηθούν με την επεξεργασία του περιεχομένου της βάσης δεδομένων του συστήματος, χωρίς την εκτέλεση μετρήσεων στην επιφάνεια του απεικονιζόμενου στην οθόνη χάρτη. Για το λόγο αυτό, για ειδικές εφαρμογές σε περιβάλλον ΣΓΠ, όπως η ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ, δεν απαιτείται η χρησιμοποίηση συγκεκριμένων χαρτογραφικών απεικονίσεων. Συνεπώς είναι δυνατή η χωρίς περιορισμούς αναζήτηση χαρτογραφικών απεικονίσεων για την αντιπροσωπευτικότερη απεικόνιση των γεωγραφικών περιοχών, χωρίς τη δημιουργία οπτικά εντοπίσιμων, ή έντονων παραμορφώσεων.
- Σε περιβάλλον ΣΓΠ, για την αποτελεσματικότερη υποστήριξη μιας συγκεκριμένης εφαρμογής, όπως η ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ, παρέχεται η δυνατότητα της κατά περίπτωση καταλληλότερης παραμετροποίησης της χρησιμοποιούμενης χαρτογραφικής απεικόνισης ανάλογα με την έκταση (κλίμακα) και τη θέση της απεικονιζόμενης γεωγραφικής περιοχής.

Στην παρούσα έρευνα ο καθορισμός των κριτηρίων και της μεθοδολογίας επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για χρήση σε ΣΗΝΧ υλοποιήθηκε με την κατάλληλη προσαρμογή των υφιστάμενων γενικών αρχών επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων, όπως αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Το γενικό πρόβλημα της αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων για την επιλογή της πλέον κατάλληλης εξετάζεται, ανάλογα με τις εφαρμογές, για τις οποίες προορίζεται η επιλογή, με μία από τις επόμενες δύο γενικές αρχές (Bugayevskiy and Snyder 1998 193-195):

- α. Πλέον κατάλληλες χαρτογραφικές απεικονίσεις είναι αυτές, στις οποίες ελαχιστοποιείται και βελτιστοποιείται η κατανομή των παραμορφώσεων, σύμφωνα με καθιερωμένα ποσοτικά κριτήρια.
- β. Πλέον κατάλληλες χαρτογραφικές απεικονίσεις είναι αυτές, στις οποίες καλύπτονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τόσο οι ειδικές απαιτήσεις που έχουν καθοριστεί για κάποια εξειδικευμένη εφαρμογή, όπως: η μορφή του δικτύου των μεσημβρινών και παραλλήλων, η απεικόνιση των γραμμών ελάχιστης απόστασης (ορθοδομικών τόξων και γεωδαισιακών γραμμών) ή της λοξοδρομίας με ευθεία γραμμή κλπ., όσο και ο περιορισμός των παραμορφώσεων σε απόδεκτά για την εξεταζόμενη εφαρμογή όρια.

Για την αναζήτηση των πλέον κατάλληλων χαρτογραφικών απεικονίσεων με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των τιμών και βελτιστοποίηση της κατανομής των παραμορφώσεων έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα ποσοτικά κριτήρια, όπως:

- Το κριτήριο «ελάχιστης - μέγιστης τιμής» των τιμών παραμόρφωσης (minmax criterion) του Chebyshev (Bugayevskiy and Snyder 1998 27), στο οποίο προσδιορίζεται το κλάσμα (λόγος) της τιμής της μέγιστης γραμμικής παραμόρφωσης προς την τιμή της ελάχιστης γραμμικής παραμόρφωσης σε όλη την έκταση της απεικονιζόμενης γεωγραφικής περιοχής.
- Το κριτήριο «ελάχιστης απόκλισης» (variation) των τιμών της κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης, σύμφωνα με το θεώρημα που διατυπώθηκε από τον Chebyshev το 1856 και αποδείχθηκε από τον Grave το 1896 (Snyder 1984). Το κριτήριο αυτό χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με άλλα κριτήρια, όπως τα κριτήρια των Airy, Airy-Kavraskiy κ.α. (Bugayevskiy and Snyder 1998 27).

Σύμφωνα με το θεώρημα του Chebyshev:

- i. Η καλύτερη διατήρηση της μορφής μιας απεικονιζόμενης περιοχής (μεγαλύτερος βαθμός συμμορφίας) επιτυγχάνεται, όταν ελαχιστοποιείται η τιμή του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων της τοπικής κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης σε όλη την έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής.
- ii. Η παραπάνω συνθήκη ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγώνων ενός ποσοτικού κριτηρίου αξιολόγησης, όπως π.χ. το κριτήριο Airy, ισχύει, όταν η περιοχή περικλείεται από μία ισαριθμική καμπύλη με σταθερή τιμή της τοπικής κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης (Σχ. 4.1).

Για την εφαρμογή του κριτηρίου «ελάχιστης απόκλισης» σύμφωνα με το θεώρημα του Chebyshev απαιτείται ο υπολογισμός του ολοκληρώματος της σχέσης (4.1.1).

$$E^2 = \frac{1}{F} \int_F \varepsilon^2 dF \quad (4.1.1)$$

Όπου:

F: συνάρτηση που προσδιορίζει τα όρια της απεικονιζόμενης περιοχής.

ε: είναι το κατά περίπτωση χρησιμοποιούμενο κριτήριο, όπως το κριτήριο Airy που δίνεται από τη (4.1.2), ή οποιοδήποτε άλλο παρόμοιο κριτήριο.

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{2} [(a-1)^2 + (b-1)^2] \quad (4.1.2)$$

Όπου: a και b είναι οι τιμές των συντελεστών της μέγιστης και της ελάχιστης τοπικής κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης στις δύο κύριες διευθύνσεις της απεικόνισης (§ 3.2.2).

Ένα παράδειγμα εφαρμογής της (4.1.1) για τις αζιμουθιακές απεικονίσεις, παρουσιάζεται από τον Maling (1973 70-71/172). Στο παράδειγμα αυτό το ολοκλήρωμα της (4.1.1) λαμβάνει τη μορφή της (4.1.3), στην οποία ως ποσοτικό κριτήριο αξιολόγησης ε της (4.1.1) χρησιμοποιείται το κριτήριο Airy, το οποίο δίνεται από τη (4.1.2). Στο ολοκλήρωμα της (4.1.3) η παράμετρος z είναι η γωνιακή απόσταση από το σημείο επαφής της αζιμουθιακής απεικόνισης. Τα όρια ολοκλήρωσης $z = \alpha$, $z = \beta$ προσδιορίζουν τα όρια της απεικονιζόμενης περιοχής.

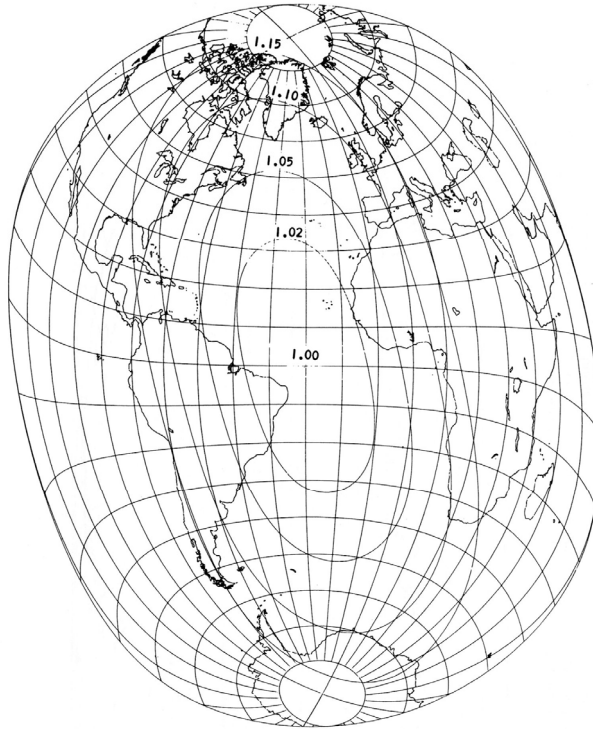
$$E^2 = \int_{z=0}^{z=\beta} (a-1)^2 + (b-1)^2 \sin z \cdot dz \quad (4.1.3)$$

Ο αναλυτικός υπολογισμός του ολοκληρώματος της (4.1.1) είναι κατά κανόνα πολύπλοκος και συνήθως απαιτεί τη χρήση μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης με εξειδικευμένο μαθηματικό λογισμικό. Στην πράξη, για την εκτέλεση αξιόπιστων συγκριτικών αξιολογήσεων υφιστάμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων με την εφαρμογή του κριτηρίου απόκλισης των ελάχιστων τετραγώνων, αντί του υπολογισμού του ολοκληρώματος της (4.1.1), χρησιμοποιείται συνήθως η μεθοδολογία που περιγράφεται στη συνέχεια (Bugayevskiy and Snyder 1998 26-27):

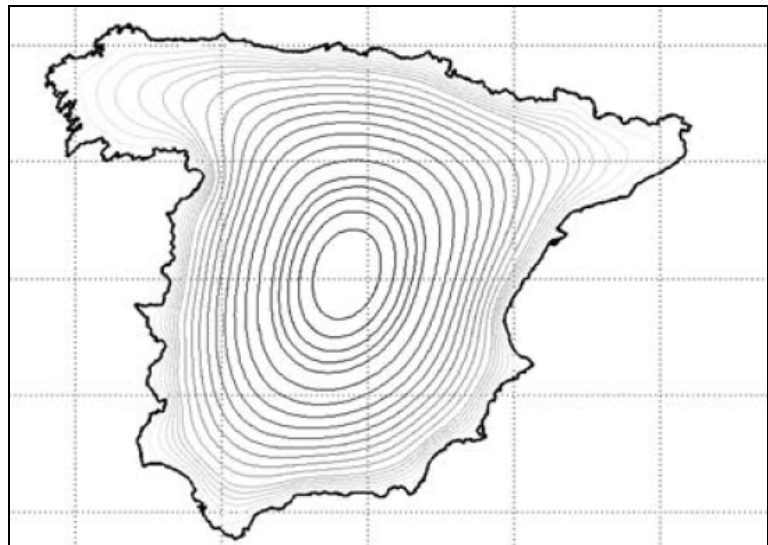
- η απεικονιζόμενη περιοχή διαιρείται σε n ισοεμβαδικές υποπεριοχές,
- υπολογίζεται η τιμή του τετραγώνου της εξεταζόμενης παραμόρφωσης ε^2 στο γεωμετρικό κέντρο κάθε υποπεριοχής και
- η τιμή του κριτηρίου επιλογής E υπολογίζεται από τη (4.1.4).

$$E = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.1.4)$$

- α. Ισοδύναμη απεικόνιση ελάχιστων παραμορφώσεων για τη χαρτογραφική απεικόνιση του Ατλαντικού ωκεανού.
 Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γραμμικής παραμόρφωσης
 [Snyder 1984]



- β. Σύμμορφη απεικόνιση ελάχιστων γραμμικών παραμορφώσεων για τη χαρτογραφική απεικόνιση της γεωγραφικής περιοχής της Ισπανίας.
 Ισαριθμικές καμπύλες γραμμικής παραμόρφωσης
 [Bermeho and Otero 2005]



Παρατηρείται ότι το σχήμα των ισαριθμικών καμπυλών προσεγγίζει τα όρια των απεικονιζόμενων περιοχών και στις δύο περιπτώσεις (Ατλαντικός ωκεανός και Ισπανία αντιστοίχως).

Σχ. 4.1: Χαρτογραφικές απεικονίσεις ελάχιστων παραμορφώσεων.

Οι δύο βασικοί κανόνες του θεωρήματος του Chebyshev αναφέρονται στην ιδιότητα της συμμορφίας. Εν τούτοις, όπως επαληθεύεται από αριθμητικούς υπολογισμούς, το θεώρημα αυτό ισχύει και για τις ισοδύναμες απεικονίσεις (Snyder 1984).

Η μεθοδολογία αξιολόγησης της κατανομής των παραμορφώσεων με την εφαρμογή της συνθήκης ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγώνων ενός ποσοτικού κριτηρίου αξιολόγησης, όπως π.χ. το κριτήριο Airy, σύμφωνα με το θεώρημα του Chebyshev, καθώς και με την επέκταση του θεωρήματος αυτού για άλλες εκτός από τις σύμμορφες απεικονίσεις, έχει αξιοποιηθεί για τη δημιουργία νέων χαρτογραφικών απεικονίσεων για την απεικόνιση συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών, ή και ολόκληρης της υδρογείου με τις ελάχιστες δυνατές παραμορφώσεις. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα των εφαρμογών αυτών είναι:

- Η δημιουργηθείσα από τον Snyder ισοδύναμη απεικόνιση ελάχιστης γραμμικής και γωνιακής παραμόρφωσης για την απεικόνιση του Ατλαντικού ωκεανού (Σχ. 4.1α). Στην απεικόνιση αυτή παρατηρείται ότι σύμφωνα με το δεύτερο μέρος του θεωρήματος του Chebyshev, προσαρμοσμένο για τις ισοδύναμες απεικονίσεις, οι ισαριθμικές καμπύλες της γραμμικής παραμόρφωσης προσεγγίζουν τα όρια της απεικονιζόμενης περιοχής, (Snyder 1984).
- Η σύμμορφη απεικόνιση ελάχιστης γραμμικής παραμόρφωσης της γεωγραφικής περιοχής της Ισπανίας του σχήματος 4.1β (Bermeho and Otero 2005).
- Η απεικόνιση του Robinson (Robinson 1995, 86-87), η οποία δεν είναι ούτε σύμμορφη, ούτε ισοδύναμη, αλλά περιορίζει το σύνολο των γραμμικών επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως για τη χαρτογραφική απεικόνιση ολόκληρης της υδρογείου.

Ο προσδιορισμός της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης επιτυγχάνεται, είτε με τη δημιουργία νέας χαρτογραφικής απεικόνισης ελάχιστων παραμορφώσεων για μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, είτε με την επιλογή της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης από το μεγάλο αριθμό των υφισταμένων χαρτογραφικών απεικονίσεων.

Η δημιουργία νέας χαρτογραφικής απεικόνισης είναι αρκετά επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, η οποία συνιστάται για τη χαρτογράφηση συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών με τις ελάχιστες δυνατές παραμορφώσεις, π.χ. για τη χαρτογράφηση μιας χώρας (Σχ. 4.1β). Η μέθοδος αυτή δεν προσφέρεται για εφαρμογές σε περιβάλλον ΣΓΠ, στις οποίες, αφενός μεν δεν απαιτείται η εκτέλεση εργασιών χαρτομετρίας, αφετέρου δε απαιτείται η απεικόνιση διαφόρων γεωγραφικών περιοχών της υδρογείου σε διάφορες κλίμακες, όπως στην εξεταζόμενη περίπτωση της ναυσιπλοΐας.

Για την υποστήριξη της εκτελούμενης έρευνας, η οποία αφορά την επιλογή χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ, η αξιοποίηση τόσο του κριτηρίου «ελάχιστης - μέγιστης τιμής», όσο και του θεωρήματος του Chebyshev, πραγματοποιείται με την εκπόνηση ειδικών χαρτών¹ για κάθε αξιολογούμενη απεικόνιση, στους οποίους:

- το βασικό σημείο ή η βασική γραμμή, επιλέγονται στο κέντρο της απεικονιζόμενης περιοχής και
- απεικονίζονται ισαριθμικές καμπύλες των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων.

Η αξιοποίηση του κριτηρίου «ελάχιστης - μέγιστης τιμής» επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό:

- των ελάχιστων τιμών των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων στο βασικό σημείο, ή στη βασική γραμμή με τιμή συντελεστών γραμμικής και επιφανειακής παραμόρφωσης ίση με ένα και τιμή γωνιακής παραμόρφωσης ίση με μηδέν και

¹ Οι χάρτες αυτοί παρουσιάζονται στα κεφάλαια 5, 6 και στα παραρτήματα ΣΤ, Ζ, Η και Θ.

- των τιμών των γραμμικών και των επιφανειακών παραμορφώσεων των ισαριθμικών γραμμών επί τοις εκατό ως προς τις τιμές στο βασικό σημείο, ή στη βασική γραμμή.

Η αξιοποίηση του θεωρήματος του Chebyshev επιτυγχάνεται με την επισκόπηση της μορφής των ισαριθμικών και επιλογή των χαρτογραφικών απεικονίσεων, στις οποίες η μορφή αυτή προσεγγίζει καλύτερα τα όρια της απεικονιζόμενης περιοχής.

Σύμφωνα με τον Pliffe (2002 66), για την επιλογή της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης τα χρησιμοποιούμενα κριτήρια πρέπει να καλύπτουν κατά σειρά προτεραιότητας τις επόμενες απαιτήσεις:

- Η απεικόνιση που θα επιλεγεί πρέπει να έχει τις βασικές για την προοριζόμενη χρήση ιδιότητες.
- Καταλληλότερη απεικόνιση είναι αυτή που παρουσιάζει τις ελάχιστες τιμές του συντελεστή γραμμικής κλίμακας σε όλη την απεικονιζόμενη περιοχή, δηλαδή η απεικόνιση, στην οποία ο συντελεστής κλίμακας πλησιάζει περισσότερο τη μονάδα σε οποιοδήποτε σημείο της απεικονιζόμενης περιοχής.
- Τυχόν άλλες συμπληρωματικές γεωμετρικές ιδιότητες εξετάζονται και αξιολογούνται μετά την αξιολόγηση του συντελεστή κλίμακας.

4.2 Κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ειδικές εφαρμογές

Η επιλογή της καταλληλότερης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή χαρτογραφικής απεικόνισης περιλαμβάνει τα επόμενα δύο στάδια (Bugayevskiy and Snyder 1998 234-237):

Στάδιο πρώτο: Καθορισμός των απαιτούμενων ή συνιστώμενων για την εφαρμογή που αναπτύσσεται ιδιοτήτων των προς αξιολόγηση χαρτογραφικών απεικονίσεων, και στη συνέχεια σύνταξη πίνακα με τις αντίστοιχες χαρτογραφικές απεικονίσεις, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την επιλογή της καταλληλότερης.

Στάδιο δεύτερο: Διαδικασία αξιολόγησης και επιλογής της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης.

Για τη σύνταξη του πίνακα των προς επιλογή χαρτογραφικών απεικονίσεων στο πρώτο στάδιο, καθώς και για την τελική επιλογή της καταλληλότερης απεικόνισης στο δεύτερο στάδιο, λαμβάνονται υπόψη οι επόμενοι παράγοντες:

- Η θέση της απεικονιζόμενης περιοχής. Το θέμα αυτό παρουσιάζεται στην § 4.2.1.
- Η έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις συσχετίζεται άμεσα με την κλίμακα της απεικόνισης. Το θέμα αυτό παρουσιάζεται στην § 4.2.2.
- Το σχήμα/μορφή της απεικονιζόμενης περιοχής. Το θέμα αυτό παρουσιάζεται στην § 4.2.3.
- Η κατανομή των παραμορφώσεων στην έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής, σε συνδυασμό με τυχόν ειδικές απαιτήσεις για εξασφάλιση ορισμένων ιδιοτήτων, όπως η καμπυλότητα των μεσημβρινών και παραλλήλων, η μορφή των γραμμών απεικόνισης ελάχιστων αποστάσεων (τόξου μέγιστου κύκλου, γεωδαισιακής), η μορφή των γραμμών απεικόνισης σταθερού αζιμουθίου (λοξοδρομίας) και τυχόν άλλες ειδικές για την εξεταζόμενη εφαρμογή ιδιότητες. Το θέμα αυτό παρουσιάζεται στην § 4.2.4.

4.2.1 Θέση της απεικονιζόμενης περιοχής

Για την εξέταση του παράγοντα «θέση της απεικονιζόμενης περιοχής» χρησιμοποιούνται συνήθως οι επόμενες περιοχές (Pearson 1990 352-356):

- περιοχές μικρών γεωγραφικών πλατών: $\varphi < 30^\circ$,
- περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών: $30^\circ \leq \varphi < 60^\circ$ και
- περιοχές μεγάλων γεωγραφικών πλατών: $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$.

Ένας γενικός κανόνας επιλογής σύμφωνα με τη θέση της απεικονιζόμενης περιοχής (Maling 1973 162) είναι:

- Για περιοχές μικρών γεωγραφικών πλατών χρησιμοποιούνται κυλινδρικές απεικονίσεις.
- Για περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών χρησιμοποιούνται κωνικές απεικονίσεις.
- Για περιοχές μεγάλων γεωγραφικών πλατών χρησιμοποιούνται αζιμουθιακές απεικονίσεις.

Για την επιλογή των καταλληλότερων σύμμορφων ή ισοδύναμων απεικονίσεων ανάλογα με τη θέση της απεικονιζόμενης περιοχής, ισχύει ο επόμενος γενικός κανόνας (Pearson 1990 352-356):

- Για περιοχές μικρών γεωγραφικών πλατών ως κατάλληλη σύμμορφη απεικόνιση θεωρείται η ορθή μερκατορική και ως κατάλληλη ισοδύναμη απεικόνιση η κυλινδρική ισοδύναμη.
- Για περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών ως κατάλληλες σύμμορφες απεικονίσεις θεωρούνται η ορθή μερκατορική και η σύμμορφη κωνική απεικόνιση του Lambert και ως κατάλληλη ισοδύναμη απεικόνιση η κυλινδρική ισοδύναμη του Albers.
- Για περιοχές μεγάλων γεωγραφικών πλατών ως κατάλληλη σύμμορφη απεικόνιση θεωρείται η στερεογραφική πολική και ως κατάλληλη ισοδύναμη απεικόνιση η ισοδύναμη κωνική του Lambert.

Οι ανωτέρω κανόνες αρχικού καθορισμού της κατηγορίας των χαρτογραφικών απεικονίσεων ανάλογα με τη θέση της απεικονιζόμενης περιοχής είναι γενικοί και εξετάζονται σε συσχέτισμό με τυχόν άλλες απαιτήσεις ανάλογα με το σκοπό χρήσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι συμπληρωματικές αυτές απαιτήσεις καθορίζουν διαφορετική κατηγορία από αυτήν που προκύπτει από τους γενικούς κανόνες (Bugayevskiy and Snyder 1998 193).

4.2.2 Έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής και κλίμακα απεικόνισης

Σύμφωνα με τον Snyder (1987 34-35) για την επιλογή των καταλληλότερων χαρτογραφικών απεικονίσεων με κριτήριο την έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής διακρίνονται οι επόμενες τρεις περιπτώσεις:

- Απεικόνιση ολόκληρης της Υδρογείου. Για τις απεικονίσεις αυτές συνιστάται η χρήση σφαιρικού μοντέλου της γης.
- Απεικόνιση έκτασης ενός ημισφαιρίου. Για τις απεικονίσεις αυτές συνιστάται η χρήση σφαιρικού μοντέλου της γης.
- Απεικόνιση ηπείρων, ωκεανών και γεωγραφικών περιοχών μικρότερης έκτασης. Για τις απεικονίσεις αυτές συνιστάται η χρήση σφαιρικού μοντέλου της γης για την απεικόνιση μεγάλων ηπείρων και ωκεανών και ελλειψοειδούς μοντέλου για την απεικόνιση περιοχών μικρότερης έκτασης.

Για κάθε μία από τις παραπάνω τρεις περιπτώσεις προτείνονται συγκεκριμένες χαρτογραφικές απεικονίσεις ανάλογα με τις κατά περίπτωση επιθυμητές ιδιότητες, όπως: σύμμορφη, ισοδυναμία, μορφή γραμμών απεικόνισης ορθοδρομίας και λοξοδρομίας κλπ.

Οι βασικοί κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων ανάλογα με την έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής σε συνδυασμό με τις επιθυμητές ιδιότητες (σύμμορφη, ισοδυναμία, κλπ.), που αναφέρονται στη ευρύτερη σχετική βιβλιογραφία (Snyder 1987, Pearson 1990, Maling 1973, Delmelle 2001 κ.α.), συνοψίζονται στον πίνακα 4.1. Στον πίνακα αυτό δεν έχουν συμπεριληφθεί κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών με πολύ μεγάλη έκταση σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση, επειδή οι απεικονιζόμενες στην οθόνη των ΣΗΝΧ γεωγραφικές περιοχές είναι περίπου συμμετρικές (§ 4.6).

Πίνακας 4.1
Συνιστώμενες χαρτογραφικές απεικονίσεις ανά γεωγραφική περιοχή²

Χαρτογραφική απεικόνιση	Έκταση απεικονιζόμενης γεωγραφικής περιοχής				
	$0^\circ < \varphi < 30^\circ$	$30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$	$\varphi > 60^\circ$	γήινο ημισφαίριο	παγκόσμια
Σύμμορφες απεικονίσεις					
ορθή ισημερινή μερκατορική	✓				
τροποποιημένη μερκατορική	✓	✓			
σύμμορφη κωνική με ένα ή δύο βασικούς παραλλήλους		✓			
πολική στερεογραφική			✓	✓	
πλάγια στερεογραφική		✓		✓	
ισημερινή στερεογραφική	✓			✓	
Ισοδύναμες απεικονίσεις					
κυλινδρική (ισοδύναμη)	✓			✓	✓
κωνική (ισοδύναμη) με έναν ή δύο βασικούς παραλλήλους		✓			
πολική αζιμουθιακή (ισοδύναμη)			✓		
πλάγια αζιμουθιακή (ισοδύναμη)		✓			
ισημερινή αζιμουθιακή (ισοδύναμη)	✓				
Bonne		✓			
Mollweide	✓				✓
Hammer Aitof	✓				✓
Συμβατικές απεικονίσεις					
πολική γνωμονική			✓		
πλάγια γνωμονική		✓			
ισημερινή γνωμονική	✓				
πολική ορθογραφική			✓		
πλάγια ορθογραφική		✓			
ισημερινή ορθογραφική	✓				
κωνική ισαπέχουσα		✓			
Miller	✓				✓
Κυλινδρική ισαπέχουσα	✓				✓
Van der Grinten	✓	✓			
Robinson					✓
Canters					✓
Lowkoski					✓

² Τα στοιχεία του πίνακα 4.1 προέρχονται από σύνθεση των προτάσεων των Maling (1973), Snyder (1987), Pearson (1990) και Delmelle (2001).

Στις περισσότερες εφαρμογές της κλασικής χαρτογραφίας (επιτοίχιοι χάρτες, άτλαντες, απεικόνιση των ηλεκτρονικών χαρτών στην οθόνη ΣΓΠ κλπ.), η εξέταση του παράγοντα «έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής» ισοδυναμεί με την εξέταση του παράγοντα «κλίμακα απεικόνισης».

Σε μεγάλες κλίμακες και εφόσον χρησιμοποιείται βασικό σημείο ή βασική γραμμή στο κέντρο της απεικονιζόμενης γεωγραφικής περιοχής, δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των απεικονίσεων διαφορετικών χαρτογραφικών απεικονίσεων. Ως παραδείγματα αναφέρονται:

- α. Η έκδοση από την Υδρογραφική Υπηρεσία του Βρετανικού ναυαρχείου ναυτικών χαρτών κλίμακας 1:50.000 και μεγαλύτερων με τη χρήση της γνωμονικής απεικόνισης αντί της καθιερωμένης για τους ναυτικούς χάρτες μερκατορικής (Maling 1973 194-196). Στις περιπτώσεις αυτές το εύρος των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών από το σημείο επαφής της γνωμονικής απεικόνισης ήταν 15 km και για τις περιοχές αυτές οι απεικονίσεις οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης πρακτικά ταυτίζονται.
- β. Η συγκριτική αξιολόγηση της απεικόνισης γεωγραφικών περιοχών σε οθόνες τακτικών συστημάτων με τρεις διαφορετικές αζιμουθιακές απεικονίσεις (Pearson 1990 317-323). Η αξιολόγηση αυτή εκτελέστηκε για απεικονίσεις στόχων σε γεωγραφική έκταση 400 km με χρήση της γνωμονικής, της ορθογραφικής και της ισαπέχουσας αζιμουθιακής απεικόνισης σε τετραγωνική οθόνη πλευράς 400 mm. Κατά τις δοκιμές αυτές, στις οποίες η κλίμακα απεικόνισης είναι 1:1.000.000, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει οπτικά εντοπίσιμη διαφορά μεταξύ των απεικονίσεων των παραπάνω τεσσάρων αζιμουθιακών απεικονίσεων (για την ακρίβεια οι διαφορές είναι μικρότερες από 1mm).

4.2.3 Σχήμα /μορφή της απεικονιζόμενης περιοχής.

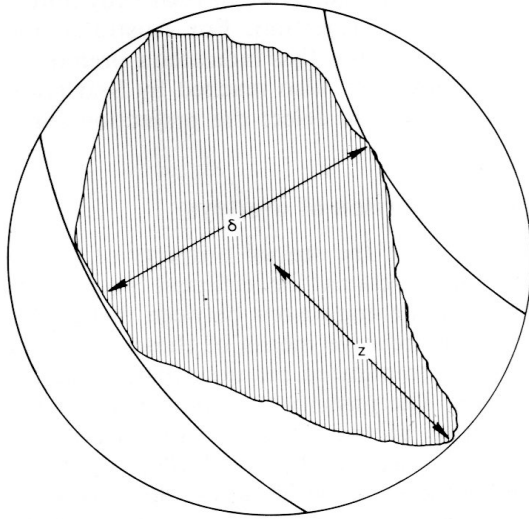
Για την εξέταση του παράγοντα «σχήμα της απεικονιζόμενης περιοχής» χρησιμοποιούνται καθαρήν οι επόμενες γενικές αρχές (Bugayevskiy and Snyder 1998 194):

- Για περιοχές με συμμετρικό σχήμα ως προς το κεντρικό σημείο χρησιμοποιούνται αζιμουθιακές απεικονίσεις.
- Για περιοχές που καλύπτουν μεγάλη έκταση κατά μήκος ενός παραλλήλου χρησιμοποιούνται σε μικρά γεωγραφικά πλάτη κυλινδρικές απεικονίσεις, σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη κωνικές απεικονίσεις και σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη αζιμουθιακές απεικονίσεις.
- Για περιοχές που καλύπτουν μεγάλη έκταση κατά μήκος ενός μεσημβρινού χρησιμοποιούνται εγκάρσιες κυλινδρικές απεικονίσεις.

Για την αποτελεσματικότερη επιλογή της καταλληλότερης κατηγορίας χαρτογραφικών απεικονίσεων ανάλογα με το σχήμα της απεικονιζόμενης περιοχής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξειδικευμένα κριτήρια επιλογής, όπως ο παρουσιαζόμενος από τον Maling κανόνας του Young που διατυπώθηκε το 1920 και βελτιώθηκε περαιτέρω το 1957 από τους Ginzburg και Salmanova (Maling 1973 165-166). Οι βασικές αρχές του κανόνα είναι:

- α. μια γεωγραφική περιοχή με περίπου κυκλικό περίγραμμα απεικονίζεται καλύτερα με μία από τις αζιμουθιακές απεικονίσεις με βασικό σημείο στο γεωμετρικό κέντρο της περιοχής (επειδή στις αζιμουθιακές απεικονίσεις οι ισαριθμικές των παραμορφώσεων έχουν την μορφή ομόκεντρων κύκλων).
- β. μια γεωγραφική περιοχή με μη συμμετρικό σχήμα απεικονίζεται καλύτερα με κυλινδρικές ή κωνικές απεικονίσεις με μία ή δύο βασικές γραμμές (στις βασικές γραμμές μηδενίζονται οι παραμορφώσεις).

Για την υλοποίηση του παραπάνω κανόνα στην επιλογή της καταλληλότερης κατηγορίας χαρτογραφικών απεικονίσεων για την απεικόνιση μιας τυχαίας γεωγραφικής περιοχής, όπως η περιοχή του σχήματος 4.2 χρησιμοποιούνται οι επόμενες δύο παράμετροι:

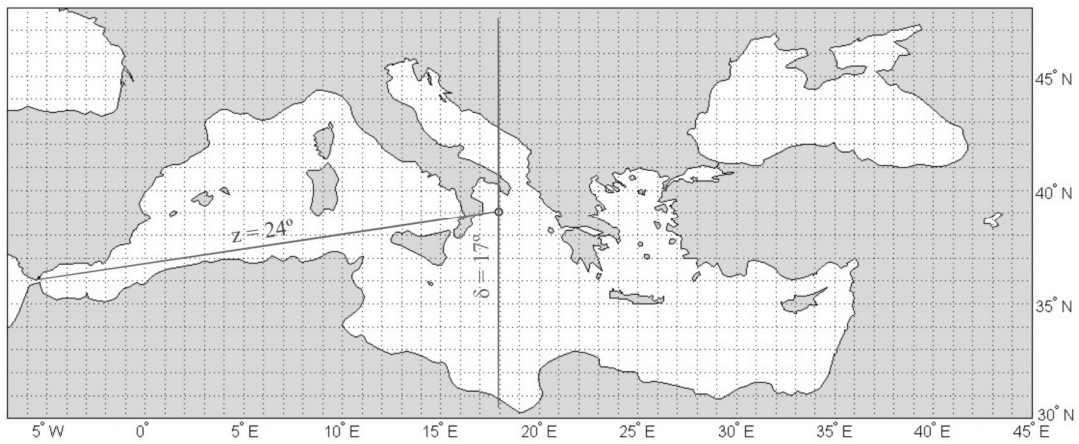


Η επιλογή της καταλληλότερης ομάδας χαρτογραφικών απεικονίσεων καθορίζεται από τις τιμές των γωνιακών αποστάσεων z και δ ως εξής:

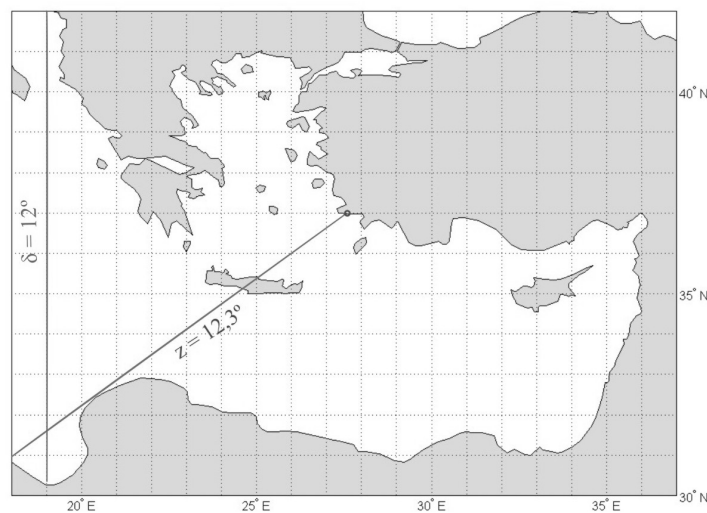
z : γωνιακή απόσταση του ακρότατου σημείου της περιοχής από το γεωμετρικό της κέντρο (κέντρο βάρους),

δ : γωνιακή απόσταση μεταξύ των δύο μικρών κύκλων της σφαίρας που είναι παράλληλοι προς τη διεύθυνση της μεγαλύτερης διάστασης της περιοχής που πρόκειται να απεικονισθεί. Οι δύο αυτοί μικροί παράλληλοι κύκλοι δεν είναι απαραίτητο να είναι παράλληλοι πλάτους.

α. Γενική περίπτωση (Maling 1973)



β. Περίπτωση εφαρμογής για τη θαλάσσια περιοχή Μεσογείου και Μαύρης Θάλασσας



γ. Περίπτωση εφαρμογής για τη θαλάσσια περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου

Σχ. 4.2: Εφαρμογή του κανόνα του Young για επιλογή της καταλληλότερης ομάδας χαρτογραφικών απεικονίσεων

- γωνιακή απόσταση z του ακρότατου σημείου της περιοχής από το γεωμετρικό της κέντρο (κέντρο βάρους),
- γωνιακή απόσταση δ μεταξύ των δύο μικρών κύκλων της σφαίρας που είναι παράλληλοι προς τη διεύθυνση της μεγαλύτερης διάστασης της περιοχής που πρόκειται να απεικονιστεί. Οι δύο αυτοί μικροί παράλληλοι κύκλοι δεν είναι απαραίτητο να είναι παράλληλοι πλάτους.

Σύμφωνα με τον αρχικό κανόνα του Young, η επιλογή της καταλληλότερης ομάδας χαρτογραφικών απεικονίσεων καθορίζεται από τις τιμές του κλάσματος z/δ του πίνακα 4.2. Για πιο εξειδικευμένη επιλογή σύμμορφων, ισοδύναμων και ισαπεχουσών απεικονίσεων χρησιμοποιούνται οι τιμές του κλάσματος z/δ του πίνακα 4.3 που καθορίστηκαν μεταγενέστερα από τους Ginzburg και Salmanova.

Στη συνέχεια δίνονται δύο παραδείγματα εφαρμογής του παραπάνω κανόνα για τη χαρτογραφική απεικόνιση των επόμενων γεωγραφικών περιοχών:

- Θαλάσσια περιοχή Μεσογείου και Μαύρης Θάλασσας και
- Θαλάσσια περιοχή Ανατολικής Μεσογείου.

Πίνακας 4.2

Επιλογή κατηγορίας χαρτογραφικών απεικονίσεων σύμφωνα με τον κανόνα Young

Τιμή κλάσματος $\frac{z}{\delta}$	Κατηγορία χαρτογραφικών απεικονίσεων
$\frac{z}{\delta} < 1,41$	αζιμουθιακές
$\frac{z}{\delta} > 1,41$	Κωνικές, ή κυλινδρικές

Στην πρώτη περίπτωση εφαρμογής, η οποία αφορά την απεικόνιση της θαλάσσιας περιοχής Μεσογείου και Μαύρης Θάλασσας (Σχ. 4.2β), οι τιμές των παραμέτρων z , δ και (z/δ) είναι 24° , 17° και 1,412 αντιστοίχως. Για την υπολογισθείσα τιμή του κλάσματος (z/δ) σύμφωνα με τον πίνακα 4.2 (κανόνας Young), καταλληλότερες ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων, μεταξύ των κυλινδρικών, κωνικών και αζιμουθιακών, είναι οι κωνικές/κυλινδρικές, χωρίς να αποκλείεται και η επιλογή αζιμουθιακών, επειδή η τιμή του κλάσματος (z/δ) βρίσκεται πολύ κοντά στο όριο μεταξύ αζιμουθιακών και κωνικών/κυλινδρικών. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.3 (κανόνας Ginzburg - Salmanova) καλύτερη κατηγορία, μεταξύ των σύμμορφων, ισοδύναμων και ισαπεχουσών, είναι οι σύμμορφες.

Πίνακας 4.3

Επιλογή κατηγορίας χαρτογραφικών απεικονίσεων σύμφωνα με τον κανόνα Young, Ginzburg - Salmanova

Τιμή κλάσματος $\frac{z}{\delta}$	Κατηγορία χαρτογραφικών απεικονίσεων
$\frac{z}{\delta} = 1,41$	σύμμορφες απεικονίσεις
$\frac{z}{\delta} = 1,73$	ισοδύναμες απεικονίσεις
$\frac{z}{\delta} = 2,00$	ισαπέχουσες απεικονίσεις

Στη δεύτερη περίπτωση εφαρμογής, η οποία αφορά την απεικόνιση της θαλάσσιας περιοχής της ανατολικής Μεσογείου (Σχ. 4.2γ), οι τιμές των παραμέτρων z , δ και (z/δ) είναι $12,3^\circ$, 12° και $1,025$ αντιστοίχως. Για την υπολογισθείσα τιμή του κλάσματος (z/δ) σύμφωνα με τον πίνακα 4.2, καταλληλότερες ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων, μεταξύ των κυλινδρικών, κωνικών και αζιμουθιακών, είναι οι αζιμουθιακές και σύμφωνα με τον πίνακα 4.3 καλύτερη κατηγορία, μεταξύ των σύμμορφων, ισοδύναμων και ισαπεχουσών, είναι οι σύμμορφες.

4.2.4 Κατανομή των παραμορφώσεων σε συνδυασμό με άλλες βασικές ιδιότητες

Για την εξέταση του παράγοντα «κατανομή των παραμορφώσεων στην έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής» σε συσχετισμό με τις άλλες βασικές ιδιότητες των αξιολογούμενων απεικονίσεων, εφαρμόζονται οι επόμενες γενικές αρχές (Bugayevskiy and Snyder 1998 235-237):

- Για μεγάλες κλίμακες απεικόνισης (μικρή έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής) δεν παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών χαρτογραφικών απεικονίσεων.
- Για περιοχές μικρών γεωγραφικών πλατών που εκτείνονται στη διεύθυνση «ανατολή – δύση», χρησιμοποιούνται κυλινδρικές απεικονίσεις.
- Για περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών που εκτείνονται στη διεύθυνση «ανατολή – δύση», χρησιμοποιούνται κωνικές απεικονίσεις.
- Για πολικές περιοχές χρησιμοποιούνται πολικές αζιμουθιακές απεικονίσεις.
- Για περιοχές με συμμετρική κάλυψη προς όλες τις διευθύνσεις, χρησιμοποιούνται πλάγιες και ισημερινές αζιμουθιακές απεικονίσεις.
- Για περιοχές που εκτείνονται στη διεύθυνση «βορράς – νότος», χρησιμοποιούνται κυλινδρικές απεικονίσεις.
- Τα κεντρικά σημεία και οι κεντρικές γραμμές της απεικόνισης (σημεία και γραμμές, κοντά στα οποία παρατηρείται πολύ μικρή αλλαγή του συντελεστή κλίμακας) πρέπει να βρίσκονται κοντά στο κέντρο της απεικονιζόμενης περιοχής και η κεντρική γραμμή να συμπίπτει με τη διεύθυνση που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη διάσταση της απεικονιζόμενης περιοχής.
- Για τον περιορισμό και τη βελτίωση της κατανομής των παραμορφώσεων, ειδικά για την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μεγάλης έκτασης, εκτός από την κατάλληλη επιλογή των κεντρικών σημείων και των κεντρικών γραμμών της απεικόνισης, πρέπει να επιλέγονται οι απεικονίσεις, στις οποίες οι ισαριθμικές καμπύλες των αντίστοιχων συντελεστών παραμόρφωσης συμπίπτουν κατά το δυνατό με τα όρια της απεικονιζόμενης περιοχής.
- Στις περιπτώσεις απεικόνισης γεωγραφικών περιοχών μεγάλης έκτασης στις οποίες εμφανίζονται σημαντικές γραμμικές, επιφανειακές και γωνιακές παραμορφώσεις, ενδείκνυται να επιλέγονται απεικονίσεις, στις οποίες οι παραμορφώσεις αυτές κατανέμονται κατά ελεγχόμενο τρόπο, αντί να επιλέγονται απεικονίσεις, στις οποίες μηδενίζεται μόνο μια κατηγορία παραμορφώσεων.
- Όταν σχεδιάζονται χάρτες μικρής κλίμακας, για την επίτευξη καλύτερης οπτικής αντίληψης είναι σημαντικότερο να απεικονίζεται σωστά η σχετική θέση των γεωγραφικών περιοχών, το σφαιρικό σχήμα της επιφάνειας της γης, καθώς και άλλες κατά περίπτωση επιθυμητές ιδιότητες.

4.3 Ειδικές απαιτήσεις και κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ

Στην εκτελεσθείσα έρευνα η επιλογή και η αξιολόγηση των χαρτογραφικών απεικονίσεων υλοποιήθηκε σύμφωνα με την αρχή, ότι οι καλύτερες χαρτογραφικές απεικονίσεις είναι αυτές στις οποίες καλύπτονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο:

- οι ειδικές απαιτήσεις και προτιμήσεις για ναυσιπλοΐα στα Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη,
- ο περιορισμός των παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες παραμορφώσεις της μορφής των απεικονιζόμενων περιοχών.

Για την υλοποίηση της παραπάνω αρχής, αφού ελήφθησαν υπόψη:

- οι γενικές αρχές επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων (§ 4.1),
- τα κριτήρια επιλογής για ειδικές εφαρμογές (§ 4.2),
- οι διεθνείς λειτουργικές και τεχνικές προδιαγραφές των συστημάτων απεικόνισης ηλεκτρονικού χάρτη και πληροφοριών (§ 1.4),

καθορίστηκε η παρακάτω μεθοδολογία αξιολόγησης και επιλογής (Σχ. 4.3):

Στάδιο πρώτο: Προσδιορισμός των απαιτούμενων, ή συνιστώμενων για τη ναυσιπλοΐα στα συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη βασικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των χαρτογραφικών απεικονίσεων (§ 4.3).

Στάδιο δεύτερο: Προσδιορισμός των ομάδων χαρτογραφικών απεικονίσεων που θα αξιολογηθούν και επιλογή των χαρτογραφικών απεικονίσεων κάθε ομάδας (§ 4.4).

Στάδιο τρίτο: Καθορισμός κλιμάκων απεικόνισης για την εκτέλεση δοκιμών συγκριτικής αξιολόγησης (§ 4.5).

Στάδιο τέταρτο: Προσδιορισμός παραμέτρων υπολογισμού παραμορφώσεων και πιστότητας οπτικοποίησης, καθώς και μέγιστων επιτρεπόμενων αποκλίσεων (§ 4.6).

Στάδιο πέμπτο: Αναλυτική συγκριτική αξιολόγηση των χαρτογραφικών απεικονίσεων που επιλέχθηκαν στο 2ο στάδιο για την επιλογή της κατά περίπτωση καταλληλότερης (κεφάλαια 5 και 6).

Οι ειδικές απαιτήσεις και τα κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ προσδιορίστηκαν από τους επόμενους παράγοντες:

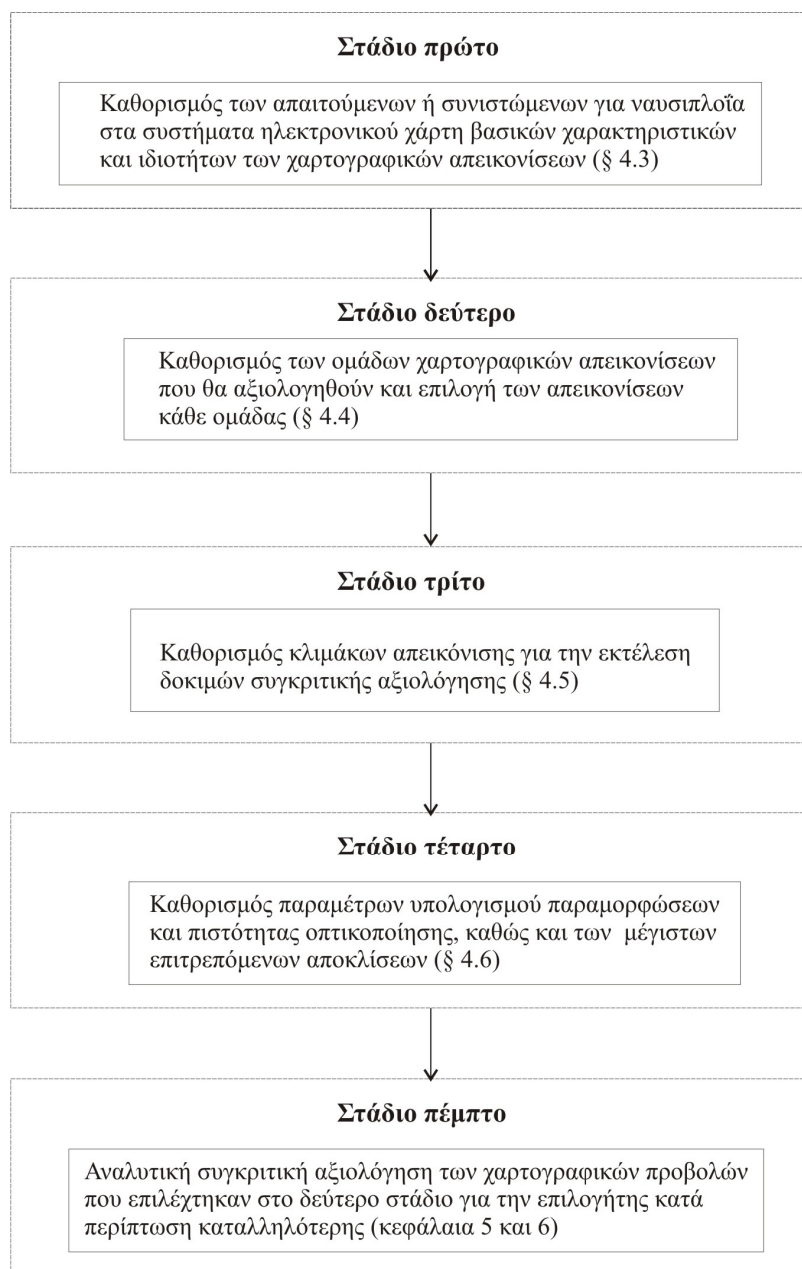
- α.) Την προσαρμογή των γενικών αρχών επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων (§ 4.1) για τις απαιτήσεις της ναυσιπλοΐας σε ΣΗΝΧ.
- β.) Την παραδοχή ότι στα ΣΗΝΧ δεν είναι απαραίτητη η χρήση συγκεκριμένων χαρτογραφικών απεικονίσεων, όπως στην περίπτωση της παραδοσιακής ναυσιπλοΐας.
- γ.) Τις λειτουργικές απαιτήσεις των συστημάτων απεικόνισης ηλεκτρονικού χάρτη και πληροφοριών, που περιγράφονται στις θεσπισμένες διεθνείς τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές (§ 1.4).
- δ.) Την μορφή της απόδοσης τόσο του πλέγματος (δικτύου) των μεσημβρινών και παραλλήλων, όσο και των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου.

Οι κυριότερες προσαρμογές των γενικών αρχών επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων (§ 4.1) και των κριτηρίων επιλογής για ειδικές εφαρμογές (§ 4.2), για την υλοποίησή τους στην εξεταζόμενη περίπτωση εφαρμογής για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ, αφορούν τα εξής:

- Το κριτήριο της θέσης της απεικονιζόμενης περιοχής εξετάζεται σε συσχετισμό με το γεγονός, ότι στη ναυσιπλοΐα δεν υφίστανται δρομολόγια πλου πολύ μεγάλων αποστάσεων, τα οποία διέρχονται από περιοχές κοντά στους πόλους.
- Το κριτήριο της έκτασης της απεικονιζόμενης περιοχής και της άμεσα σχετιζόμενης με το κριτήριο αυτό κλίμακας απεικόνισης, εξετάζεται σε συσχετισμό με τις λειτουργικές

προδιαγραφές των συστημάτων απεικόνισης ηλεκτρονικού χάρτη και πληροφοριών (IMO 2006), τόσο για την απεικόνιση των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών σε τετραγωνικό παράθυρο της οθόνης του συστήματος, διαστάσεων τουλάχιστον 270mm x 270mm, όσο και για τη δυνατότητα αλλαγής της κλίμακας απεικόνισης με την επιλογή του εύρους απεικόνισης (§ 4.5/ Σχ. 4.4).

- Το κριτήριο του σχήματος/μορφής της απεικονιζόμενης περιοχής εξετάζεται επίσης σε συσχετισμό με τις λειτουργικές προδιαγραφές των συστημάτων απεικόνισης ηλεκτρονικού χάρτη και πληροφοριών για απεικόνιση των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών σε τετραγωνικό παράθυρο της οθόνης του συστήματος διαστάσεων τουλάχιστον 270mm x 270mm.
- Το κριτήριο της κατανομής των παραμορφώσεων στην έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής εξετάζεται σύμφωνα με τις αρχές της § 4.2.4 σε συσχετισμό με τις καθορισθείσες ειδικές απαιτήσεις για ναυσιπλοΐα, όπως αυτές αναφέρονται στη συνέχεια



Σχ. 4.3: Διαδικασία επιλογής και αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ

Οι κυριότερες συμπληρώσεις των γενικών αρχών επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων (§ 4.1) και των κριτηρίων επιλογής για ειδικές εφαρμογές (§ 4.2), που δημιουργήθηκαν με σκοπό τον καθορισμό των ειδικών απαιτήσεων για ναυσιπλοΐα, αφορούν τα εξής:

- μορφή του δικτύου των μεσημβρινών και παραλλήλων και
- αντιπροσωπευτικότερη απεικόνιση των δρομολογίων ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου

Η μορφή του δικτύου των μεσημβρινών και παραλλήλων αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο επιλογής της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης για ναυσιπλοΐα σε περιβάλλον ηλεκτρονικού χάρτη.

Η εξασφάλιση πλέγματος μεσημβρινών και παραλλήλων με τη μορφή ορθογώνιων ευθειών με διεύθυνση των μεσημβρινών προς βορρά, παρέχει τη δυνατότητα άμεσης εξαγωγής συμπεράσματος για την σχετική γεωγραφική θέση οποιωνδήποτε σημείων από τη γενική οπτική εικόνα της απεικονιζόμενης περιοχής, χωρίς να απαιτείται συσχετισμός τους με τους απεικονιζόμενους μεσημβρινούς και παραλλήλους, οι οποίοι εξάλλου δεν απεικονίζονται πάντοτε στα ΣΗΝΧ (§ 1.5). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται ο κίνδυνος δημιουργίας εσφαλμένων εντυπώσεων, όπως στην περίπτωση του σχήματος 1.21 (κεφ.1), στην οποία δίνεται η οπτική εντύπωση ότι ένα σημείο (New York Harbour) βρίσκεται βορειότερα από ένα άλλο σημείο (London Harbour), ενώ στην πραγματικότητα βρίσκεται νοτιότερα (§ 1.4.5).

Εκτός από τη μορφή του δικτύου των μεσημβρινών και παραλλήλων, μια άλλη βασική επιθυμητή ιδιότητα των χαρτογραφικών απεικονίσεων για χρήση στα ΣΗΝΧ είναι η αντιπροσωπευτικότερη απεικόνιση των δρομολογίων ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων, ώστε:

- Τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου να απεικονίζονται κατά προτίμηση με γραμμές μικρότερου μήκους από το μήκος των γραμμών που απεικονίζουν τα αντίστοιχα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου (τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου να έχουν μικρότερη καμπυλότητα από τα αντίστοιχα δρομολόγια λοξοδρομικού πλου).
- Τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου να απεικονίζονται κατά προτίμηση με τα κοίλα προς τον ισημερινό και τα αντίστοιχα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου με τα κοίλα προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή προς τον πλησιέστερο πόλο, όπως είναι η πραγματική μορφή τους επάνω στην επιφάνεια της σφαίρας ή του ΕΕΠ.

Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα της μορφής των μεσημβρινών και των παραλλήλων πλάτους ως ευθειών που τέμνονται ορθογώνια με διεύθυνση των μεσημβρινών προς Βορρά, η επιθυμητή αυτή ιδιότητα δεν είναι συμβατή με την επίσης επιθυμητή ιδιότητα για την απεικόνιση της ορθοδρομίας με γραμμή μικρότερου μήκους (μεγαλύτερης καμπυλότητας) από τη γραμμή που απεικονίζει τη λοξοδρομία. Οι δύο αυτές απαιτήσεις δεν είναι δυνατό να καλυφθούν ταυτόχρονα. Για το λόγο αυτό κατά την επιλογή της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης επιδιώκεται ο κατά περίπτωση καλύτερος συγκερασμός των απαιτήσεων αυτών.

4.4 Ομαδοποίηση χαρτογραφικών απεικονίσεων προς αξιολόγηση

Σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ειδικές εφαρμογές (§ 4.2) σε συνδυασμό με τις ειδικές απαιτήσεις και προτιμήσεις για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ (§ 4.3), η αρχική επιλογή των χαρτογραφικών απεικονίσεων που θα αξιολογηθούν στηρίχτηκε στην εξέταση των παρακάτω επιθυμητών ιδιοτήτων:

- μορφή του δικτύου των μεσημβρινών και παραλλήλων ως ορθογώνιων ευθειών με διεύθυνση των μεσημβρινών προς βορρά,
- αντιπροσωπευτικότερη απεικόνιση των δρομολογίων ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων, ώστε τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου αφενός μεν να απεικονίζονται με γραμμές μικρότερου μήκους από το μήκος των γραμμών που απεικονίζουν τα

αντίστοιχα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου, αφετέρου δε να απεικονίζονται με τα κοίλα προς τον ισημερινό, ενώ τα αντίστοιχα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου με τα κοίλα προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή προς τον πλησιέστερο πόλο, όπως είναι η πραγματική μορφή τους επάνω στην επιφάνεια της σφαίρας, ή του ΕΕΠ.

- Περιορισμός των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλαγές της μορφής και των διαστάσεων των απεικονιζόμενων περιοχών.

Ο καθορισμός των ομάδων χαρτογραφικών απεικονίσεων από τις οποίες θα επιλεγούν οι απεικονίσεις που θα αξιολογηθούν για χρήση σε ΣΗΝΧ, βασίστηκε στη συγκριτική μελέτη των βασικών χαρακτηριστικών των γνωστών από τη σχετική βιβλιογραφία χαρτογραφικών απεικονίσεων (Snyder 1987, Pearson 1990, Bugayevskiy and Snyder 1998, Yang et al. 2000, Capek 2001).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πρώτη επιθυμητή για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ ιδιότητα, η οποία αφορά την απεικόνιση των μεσημβρινών και παραλλήλων είναι ουσιαστικά ασύμβατη με την δεύτερη επιθυμητή ιδιότητα για την αντιπροσωπευτικότερη απεικόνιση των δρομολογίων ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου (§ 4.3), η επιλογή των καταλληλότερων απεικονίσεων δεν στοχεύει στην πλήρη ικανοποίηση και των δύο αυτών απαιτήσεων, αλλά στον καλύτερο δυνατό συγκερασμό τους.

Η πρώτη επιθυμητή ιδιότητα απεικόνισης των μεσημβρινών και παραλλήλων ως ορθογώνιων ευθειών με διεύθυνση των μεσημβρινών προς βορρά, καλύπτεται από όλες τις κυλινδρικές απεικονίσεις.

Η δεύτερη επιθυμητή ιδιότητα αντιπροσωπευτικότερης απεικόνισης των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων, καλύπτεται ικανοποιητικά από τις αζιμουθιακές και από τις κωνικές απεικονίσεις (§ 4.4.3, § 4.4.2).

Η τρίτη επιθυμητή ιδιότητα περιορισμού των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλαγές της μορφής και των διαστάσεων των απεικονιζόμενων περιοχών, καλύπτεται ικανοποιητικά από ορισμένες χαρτογραφικές απεικονίσεις, οι οποίες δεν είναι ούτε σύμμορφες ούτε ισοδύναμες, αλλά δημιουργήθηκαν για τον περιορισμό τόσο των μεγάλων επιφανειακών παραμορφώσεων των σύμμορφων απεικονίσεων όσο και των μεγάλων γωνιακών παραμορφώσεων των ισοδύναμων απεικονίσεων. Οι απεικονίσεις αυτές λέγονται απεικονίσεις ελάχιστης παραμόρφωσης και ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των λεγόμενων συμβατικών χαρτογραφικών απεικονίσεων η οποία περιλαμβάνει τις απεικονίσεις που δεν είναι ούτε σύμμορφες ούτε ισοδύναμες, αλλά διατηρούν κάποια συγκεκριμένη ιδιότητα, όπως π.χ. η γνωμονική απεικόνιση, στην οποία τα ορθοδρομικά τόξα απεικονίζονται με ευθείες. Μία τέτοια ιδιότητα είναι και η εξασφάλιση μέσων τιμών γωνιακής και επιφανειακής παραμόρφωσης (απεικονίσεις ελάχιστης παραμόρφωσης).

Για το σκοπό της εκτελεσθείσας έρευνας οι συμβατικές απεικονίσεις ελάχιστης παραμόρφωσης που είναι κυλινδρικές, κωνικές ή αζιμουθιακές εξετάστηκαν μαζί με τις υπόλοιπες απεικονίσεις κάθε μιας από τις τρεις αυτές ομάδες, ενώ όσες συμβατικές απεικονίσεις ελάχιστης παραμόρφωσης ανήκουν στην κατηγορία των ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων εξετάστηκαν σαν ξεχωριστή ομάδα.

Από τις τέσσερις αυτές ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων (κυλινδρικές, κωνικές, αζιμουθιακές και ψευδοκυλινδρικές), οι κυλινδρικές απεικονίσεις καλύπτουν μεν την επιθυμητή ιδιότητα της μορφής του δικτύου των μεσημβρινών και παραλλήλων ως ορθογώνιων ευθειών με διεύθυνση των μεσημβρινών προς βορρά, πλην όμως παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι δεν καλύπτουν ικανοποιητικά τη δεύτερη επιθυμητή ιδιότητα για τη διατήρηση της αναλογίας των αποστάσεων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου, επειδή σε όλες τις κυλινδρικές απεικονίσεις τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου απεικονίζονται με γραμμές μεγαλύτερου μήκους από τις γραμμές που απεικονίζουν τα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου.

Σε αντίθεση με τις κυλινδρικές απεικονίσεις, οι αζιμουθιακές και οι κωνικές απεικονίσεις απεικονίζουν μεν ικανοποιητικότερα τη μορφή και το μήκος των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου, πλην όμως παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι η μορφή του πλέγματος των μεσημβρινών και παραλλήλων των απεικονίσεων αυτών δεν παρέχει τη δυνατότητα άμεσης εξαγωγής συμπεράσματος για τη σχετική γεωγραφική θέση οποιωνδήποτε σημείων από τη γενική οπτική εικόνα της απεικονιζόμενης περιοχής και για το λόγο αυτό υπάρχει κίνδυνος εσφαλμένης οπτικής αντίληψης, όπως στην ήδη αναφερθείσα περίπτωση του σχήματος 1.21 (§ 1.4.5), στην οποία φαίνεται ότι ένα σημείο (New York harbour) βρίσκεται βορειότερα από ένα άλλο σημείο (London harbour), ενώ στην πραγματικότητα βρίσκεται νοτιότερα.

Στις ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις, λόγω της σταδιακής ελάττωσης του μήκους των γραμμών (παράλληλων ευθειών) που απεικονίζουν τους παραλλήλους πλάτους από τον ισημερινό προς τους πόλους (σχήματα E1, E2 και E3 του παρατήματος E), περιορίζονται οι σημαντικές παραμορφώσεις των κυλινδρικών απεικονίσεων στις πολικές περιοχές.

Από την παραπάνω ανάλυση προέκυψε ότι οι ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων, από τις οποίες θα αναζητηθούν οι καταλληλότερες απεικονίσεις για χρήση στα ΣΗΝΧ, είναι:

- α. κυλινδρικές απεικονίσεις
- β. κωνικές απεικονίσεις
- γ. αζιμουθιακές απεικονίσεις
- δ. ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις ελάχιστης παραμόρφωσης.

Για την υποστήριξη της συγκριτικής μελέτης των παραπάνω χαρτογραφικών απεικονίσεων εκπονήθηκαν 46 ειδικοί χάρτες, οι οποίοι παρουσιάζονται στα συνημμένα παραρτήματα Β, Γ, Δ και Ε). Στους χάρτες αυτούς απεικονίζονται:

- Όλα, ή όταν αυτό δεν είναι δυνατό, ορισμένα από τα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων γεωδαιτικής επίλυσης προβλημάτων ναυσιπλοΐας (κεφάλαιο 2, πίνακες 2.4 και 2.7).
- Ελλείψεις παραμόρφωσης για την αρχική εκτίμηση του μεγέθους των παραμορφώσεων κάθε εξεταζόμενης απεικόνισης.

Η διαδικασία επιλογής των χαρτογραφικών απεικονίσεων κάθε ομάδας περιγράφεται στη συνέχεια.

4.4.1 Επιλογή καταλληλότερων κυλινδρικών απεικονίσεων

Για την υποβοήθηση της επιλογής των κυλινδρικών απεικονίσεων που θα αξιολογηθούν λεπτομερέστερα σε επόμενο στάδιο, εκπονήθηκαν οι 13 ειδικοί χάρτες του παραρτήματος Β, στους οποίους απεικονίζονται για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου και ελλείψεις παραμόρφωσης. Πιο συγκεκριμένα οι χάρτες των εξεταζόμενων κυλινδρικών απεικονίσεων του παραρτήματος Β είναι:

- Για την ισημερινή μερκατορική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Β-1.
- Για την ορθή μερκατορική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°, ο χάρτης του σχήματος Β-2.
- Για την κυλινδρική ισοδύναμη ισημερινή απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Β-3.
- Για την κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°, ο χάρτης του σχήματος Β-4.
- Για την κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°, ο χάρτης του σχήματος Β-5.

- Για την κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60° , ο χάρτης του σχήματος B-6.
- Για την κυλινδρική ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος B-7.
- Για την κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30° , ο χάρτης του σχήματος B-8.
- Για την κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45° , ο χάρτης του σχήματος B-9.
- Για την κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60° , ο χάρτης του σχήματος B-10.
- Για τη συμβατική κυλινδρική απεικόνιση του Miller³ ο χάρτης του σχήματος B-11.
- Για τη στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση⁴ (κυλινδρική απεικόνιση Gall, κυλινδρική απεικόνιση του Σοβιετικού άτλαντα BSAM κλπ.) οι χάρτες των σχημάτων B-12 και B-13.

Από την ανάλυση και συγκριτική μελέτη των παραπάνω χαρτών διαπιστώνονται τα εξής:

- Σε όλες τις εξετασθείσες κυλινδρικές απεικονίσεις τα μεν δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου απεικονίζονται με ευθείες γραμμές τα δε δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου απεικονίζονται με καμπύλες γραμμές με τα κοίλα προς τον ισημερινό.
- Η μερκατορική απεικόνιση παρουσιάζει την ίδια ακριβώς εικόνα των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών, ανεξάρτητα από το βασικό παράλληλο που επιλέγεται (σχήματα B-1 και B-2).
- Οι ισοδύναμες και οι ισαπέχουσες κυλινδρικές απεικονίσεις παρουσιάζουν διαφορετική γενική εικόνα των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών, ανάλογα με το βασικό παράλληλο που επιλέγεται. Για παράδειγμα αναφέρεται η σύγκριση της εικόνας της ισημερινής ισοδύναμης κυλινδρικής απεικόνισης (Σχ. B-3), με την εικόνα που αντιστοιχεί στην απεικόνιση της ίδιας απεικόνισης με βασικό παράλληλο σε διαφορετικά πλάτη (σχήματα B-4, B-5 και B-6). Από τη σύγκριση της εικόνας των σχημάτων αυτών είναι άμεσα αντιληπτή η διαφορετική κατανομή των γωνιακών παραμορφώσεων για τις απεικονίσεις της ισοδύναμης κυλινδρικής απεικόνισης που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς βασικούς παραλλήλους.
- Η μερκατορική απεικόνιση παρουσιάζει πολύ μεγάλες γραμμικές και επιφανειακές παραμορφώσεις.
- Η ισοδύναμη κυλινδρική απεικόνιση παρουσιάζει πολύ μεγάλες γωνιακές παραμορφώσεις.

³ Η συμβατική κυλινδρική απεικόνιση του Miller δημιουργήθηκε το έτος 1942 από τον Miller κατ' εντολή της Αμερικανικής Γεωγραφικής Εταιρείας (American Geographic Society), προκειμένου να περιοριστούν οι σημαντικές επιφανειακές παραμορφώσεις της μερκατορικής απεικόνισης και άλλων κυλινδρικών απεικονίσεων, κυρίως σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

⁴ Η στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση είναι περισσότερο γνωστή για τις επόμενες ειδικές περιπτώσεις, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του βασικού παραλλήλου:

- Στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε $\phi_0 = 45^\circ$, γνωστή ως κυλινδρική απεικόνιση του Gall, η οποία παρουσιάστηκε από τον Βρετανό Gall το έτος 1855, προκειμένου να περιορίσει τις σημαντικές επιφανειακές παραμορφώσεις της μερκατορικής απεικόνισης.
- Η στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε $\phi_0 = 30^\circ$, γνωστή ως κυλινδρική απεικόνιση του Σοβιετικού άτλαντα BSAM (Bol'soy Sovetskiy Atlas Mira). Αποτελεί προσαρμογή της κυλινδρικής απεικόνισης του Gall και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το έτος 1937 για τους χάρτες του Σοβιετικού Άτλαντα BSAM.
- Ισημερινή στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση, γνωστή ως απεικόνιση του Braun, η οποία παρουσιάστηκε από τον Βρετανό Braun το έτος 1867.

- Η κυλινδρική ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση παρουσιάζει πολύ ικανοποιητικό περιορισμό τόσο των επιφανειακών, όσο και των γωνιακών παραμορφώσεων κυρίως για μικρά και μεσαία γεωγραφικά πλάτη.
- Οι κυλινδρικές απεικονίσεις Miller, Gall, και BSAM για τις γεωγραφικές περιοχές με γεωγραφικό πλάτος μικρότερο από 60° παρουσιάζουν εικόνα ανάλογη με τη μερκατορική απεικόνιση. Για περιοχές με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος οι απεικονίσεις αυτές περιορίζουν τις μεγάλες τιμές των γραμμικών παραμορφώσεων της μερκατορικής απεικόνισης και με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η απεικόνιση πολικών περιοχών με μικρότερες επιφανειακές παραμορφώσεις με αντιστάθμισμα τη δημιουργία μεγάλων γωνιακών παραμορφώσεων (σύγκριση ελλείψεων παραμόρφωσης των σχημάτων B-1, B-2, B-11, B-12 και B-13).

Σύμφωνα με τις παραπάνω διαπιστώσεις και αφού ελήφθησαν υπόψη ότι:

- α. στόχος της επιλογής δεν είναι κατ' ανάγκη ο μηδενισμός μιας κατηγορίας παραμορφώσεων (π.χ. των γωνιακών) με αντιστάθμισμα την αποδοχή πολύ μεγάλων παραμορφώσεων άλλης κατηγορίας (π.χ., των επιφανειακών), αλλά ο περιορισμός όλων των παραμορφώσεων σε όρια που δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες, ή έντονες παραμορφώσεις της μορφής των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών και των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων,
- β. για την υποστήριξη της ναυσιπλοΐας σε ΣΗΝΧ, μεταξύ της επιλογής του μηδενισμού των γωνιακών ή των επιφανειακών παραμορφώσεων, είναι σαφώς προτιμότερος ο μηδενισμός των γωνιακών παραμορφώσεων,

επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτική συγκριτική αξιολόγηση οι παρακάτω κυλινδρικές απεικονίσεις⁵:

- Μερκατορική απεικόνιση
- Κυλινδρική ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση
- Συμβατική κυλινδρική απεικόνιση του Miller
- Στερεογραφική κυλινδρική (κυλινδρική του Gall, κυλινδρική του Σοβιετικού άτλαντα BSAM, κλπ.)

Στις κυλινδρικές απεικονίσεις που επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτική αξιολόγηση δεν συμπεριλήφθηκε η ισοδύναμη κυλινδρική απεικόνιση, λόγω των πολύ μεγάλων γωνιακών παραμορφώσεων που παρουσιάζει.

4.4.2 Επιλογή καταλληλότερων κωνικών απεικονίσεων

Για την υποβοήθηση της συγκριτικής μελέτης των κωνικών απεικονίσεων, εκπονήθηκαν οι 13 ειδικοί χάρτες του συνημμένου παραρτήματος Γ στους οποίους, απεικονίζονται για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου και ελλείψεις παραμόρφωσης (όπως και για την περίπτωση των κυλινδρικών απεικονίσεων). Πιο συγκεκριμένα οι χάρτες των εξεταζόμενων κωνικών απεικονίσεων του παραρτήματος Γ είναι:

- Για την σύμμορφη κωνική απεικόνιση, οι χάρτες των σχημάτων Γ-1, Γ-2, Γ-11, Γ-12 και Γ-15.
- Για την ισοδύναμη κωνική απεικόνιση, οι χάρτες των σχημάτων Γ-3, Γ-4, Γ-9, Γ-10 και Γ-14.
- Για την ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση, οι χάρτες των σχημάτων Γ-5, Γ-6, Γ-7, Γ-8 και Γ-13.

⁵ Η αξιολόγηση αυτή παρουσιάζεται στα κεφάλαια 5 και 6.

Για την καλύτερη υποβοήθηση της συγκριτικής μελέτης και της αρχικής εκτίμησης των απαιτούμενων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ χαρακτηριστικών, οι χάρτες του παραρτήματος 5-B ταξινομήθηκαν σε τρεις διακριτές ομάδες, σε κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνονται χάρτες σύμμορφης, ισοδύναμης και ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης. Οι τρεις αυτές ομάδες είναι:

- 1^η ομάδα: Χάρτες των σχημάτων Γ-1 έως Γ-6, οι οποίοι απεικονίζουν γεωγραφικές περιοχές μέσω γεωγραφικών πλατών ($30^{\circ} \leq \varphi \leq 60^{\circ}$).
- 2^η ομάδα: Χάρτες των σχημάτων Γ-6 έως Γ-12, οι οποίοι απεικονίζουν γεωγραφικές περιοχές μεγάλου εύρους γεωγραφικών πλατών - από τον ισημερινό μέχρι τις πολικές περιοχές ($0^{\circ} \leq \varphi \leq 80^{\circ}$).
- 3^η ομάδα: Χάρτες των σχημάτων Γ-13 έως Γ-15, οι οποίοι απεικονίζουν γεωγραφικές περιοχές πολύ μεγάλου εύρους γεωγραφικών πλατών, που εκτείνονται στο βόρειο και στο νότιο ημισφαίριο με μεγαλύτερη κάλυψη στο βόρειο ημισφαίριο ($-60^{\circ} \leq \varphi \leq 80^{\circ}$).

Για τις περιπτώσεις των κωνικών απεικονίσεων με δύο βασικούς παράλληλους η επιλογή των παραλλήλων αυτών έγινε σύμφωνα με ισχύοντες γενικούς κανόνες μετά την κατάλληλη προσαρμογή τους στις ανάγκες της εκτελούμενης έρευνας. Οι γενικοί αυτοί κανόνες έχουν το κοινό χαρακτηριστικό, ότι οι βασικοί παράλληλοι (φ_1 και φ_2) προσδιορίζονται από τις γενικές σχέσεις (4.4.1) και (4.4.2) [Maling 1973 174-175]. Στις σχέσεις αυτές η διαφορά πλάτους $\Delta\varphi$ των βασικών παραλλήλων φ_1 και φ_2 από το νοτιότερο και βορειότερο παράλληλο της απεικονιζόμενης περιοχής (φ_B και φ_N) υπολογίζεται από τη γενική σχέση (4.5.3), στην οποία, ανάλογα με τον προτεινόμενο κανόνα, ο συντελεστής k λαμβάνει μια ακέραια τιμή από $k=3$ έως $k=7$ (Bugayevskiy and Snyder 1998 91).

$$\varphi_1 = \varphi_N + \Delta\varphi \quad (4.4.1)$$

$$\varphi_2 = \varphi_B - \Delta\varphi \quad (4.4.2)$$

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi_B - \varphi_N}{k} \quad (4.4.3)$$

Η τιμή του συντελεστή k της (4.5.3) προσδιορίζεται είτε ανάλογα με το σχήμα της απεικονιζόμενης περιοχής, είτε λαμβάνει μία μέση τιμή ($k=5$, $k=6$) για όλες τις περιπτώσεις, ειδικότερα για την απεικόνιση περιοχών τετραγωνικού σχήματος χρησιμοποιείται η τιμή $k=5$. Σύμφωνα με τον Iffle (2006) η τιμή $k=6$ δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα για τις περισσότερες περιπτώσεις.

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας, η οποία αφορά την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μέσω γεωγραφικών πλατών ($30^{\circ} < \varphi \leq 60^{\circ}$) σε ναυτιλιακά ΣΓΠ, στα οποία η οθόνη απεικόνισης των ηλεκτρονικών χαρτών έχει τετραγωνικό σχήμα (IMO 2006), χρησιμοποιήθηκε η τιμή $k=5$.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι βασικοί παράλληλοι (φ_1 και φ_2) που επιλέχθηκαν για τις κωνικές απεικονίσεις, οι οποίες ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν σε ναυτιλιακά ΣΓΠ για την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μέσω γεωγραφικών πλατών με νότιο και βόρειο όριο σε πλάτη 30° Βορ και 60° Βορ αντιστοίχως, και τιμή του συντελεστή k της (4.5.3) ίση με 5, είναι: $\varphi_1 = 42^{\circ}$ και $\varphi_2 = 48^{\circ}$.

Προκειμένου να εξεταστεί εκτενέστερα η συγκριτική αξιολόγηση περισσότερων απεικονίσεων για ενδεχόμενη χρήση σε ΣΗΝΧ και λαμβάνοντας υπόψη ότι οι κυλινδρικές απεικονίσεις μπορούν να θεωρηθούν ως μια ειδική περίπτωση κωνικών απεικονίσεων με βασικούς παράλληλους, οι οποίοι:

- είτε ταυτίζονται με τον ισημερινό⁶ ($\varphi_1 = \varphi_2 = 0^{\circ}$),
- είτε βρίσκονται στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο και έχουν αντίθετη τιμή γεωγραφικού πλάτους⁷, π.χ. $\varphi_1 = 30^{\circ}$ Βορ και $\varphi_2 = 30^{\circ}$ Νοτ,

⁶ Στην περίπτωση αυτή ($\varphi_1 = \varphi_2 = 0^{\circ}$) οι τύποι των κωνικών απεικονίσεων μετασχηματίζονται στους τύπους αντίστοιχων ισημερινών κυλινδρικών απεικονίσεων.

εκπονήθηκαν και οι χάρτες της δεύτερης και τρίτης ομάδας του παραρτήματος 5-B, με στόχο να δημιουργηθούν χάρτες κωνικής απεικόνισης με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των κυλινδρικών απεικονίσεων. Στους χάρτες αυτούς οι δύο βασικοί παράλληλοι φ_1 και φ_2 σύμφωνα με την αρχή που εφαρμόστηκε και για τους χάρτες της πρώτης ομάδας είναι:

- Για τη δεύτερη ομάδα χαρτών, οι οποίοι καλύπτουν εύρος γεωγραφικού πλάτους από 0° Νοτ έως 80° Βορ οι (4.4.1) και (4.4.2), για τιμή του συντελεστή k της σχέσης (4.5.3) ίση με 5, δίνουν: $\varphi_1 = 16^\circ$ Βορ και $\varphi_2 = 64^\circ$ Βορ.
- Για την τρίτη ομάδα χαρτών, οι οποίοι καλύπτουν εύρος γεωγραφικού πλάτους από 60° Νοτ έως 80° Βορ, οι (4.5.1) και (4.5.2), για τιμή του συντελεστή k της (4.5.3) ίση με 5, δίνουν: $\varphi_1 = 42^\circ$ Νοτ και $\varphi_2 = 48^\circ$ Βορ.

Από την ανάλυση και συγκριτική μελέτη των χαρτών των σχημάτων Γ-1 έως Γ-6, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση περιοχών μέσων γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$), διαπιστώνονται τα εξής:

- Για την απεικόνιση περιοχών μέσων γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$) δεν παρατηρούνται οπτικά εντοπίσιμες αλλαγές στη μορφή των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών και των επιλεγμένων δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου μεταξύ σύμμορφων, ισοδύναμων και ισαπέχουσών κωνικών απεικονίσεων με ένα ή δύο βασικούς παραλλήλους.
- Για τις περιοχές μέσων γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$), σε όλες τις αξιολογηθείσες κωνικές απεικονίσεις (σύμμορφες, ισοδύναμες και ισαπέχουσες με ένα ή δύο βασικούς παραλλήλους), τα μεν δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου απεικονίζονται με γραμμή, η οποία με πολύ μεγάλη προσέγγιση έχει τη μορφή της ευθείας, τα δε δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου απεικονίζονται με καμπύλη με τα κοίλα στραμμένα προς τον πλησιέστερο πόλο, όπως η πραγματική μορφή των δρομολογίων αυτών στην επιφάνεια της σφαίρας ή του ΕΕΠ (Σχ. 1.1, κεφ. 1).

Από την ανάλυση και συγκριτική μελέτη των χαρτών Γ-7 έως Γ-12, στους οποίους απεικονίζονται γεωγραφικές περιοχές μεγαλύτερου εύρους γεωγραφικών πλατών, από τον ισημερινό μέχρι τις πολικές περιοχές ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$), διαπιστώνονται τα εξής:

- Σε αντίθεση με τους χάρτες των σχημάτων Γ-1 έως Γ-6, οι οποίοι απεικονίζουν περιοχές μικρότερου εύρους γεωγραφικού πλάτους, στους χάρτες των σχημάτων Γ-7 έως Γ-12 παρατηρούνται ορισμένες οπτικά εντοπίσιμες διαφορές στη μορφή των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών (ελλείψεις παραμόρφωσης) και των επιλεγμένων δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου, κυρίως μεταξύ των σύμμορφων και των ισοδύναμων κωνικών απεικονίσεων σε γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα των 60° .
- Στους χάρτες της ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους (σχήμα Γ-8) δεν εμφανίζονται εύκολα εντοπίσιμες επιφανειακές και γωνιακές παραμορφώσεις (οι ελλείψεις παραμόρφωσης έχουν περίπου τη μορφή κύκλων ίσης ακτίνας).
- Σε όλους τους χάρτες του παραρτήματος Γ τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου απεικονίζονται με καμπύλη με τα κοίλα στραμμένα προς τον ισημερινό, όπως η πραγματική μορφή των δρομολογίων αυτών στην επιφάνεια της σφαίρας ή του ΕΕΠ (Σχ. 1.1, κεφ. 1).

Από την ανάλυση και συγκριτική μελέτη των χαρτών των σχημάτων Γ-13 έως Γ-15, στους οποίους απεικονίζονται γεωγραφικές περιοχές του βορείου και του νοτίου ημισφαιρίου με μεγαλύτερη κάλυψη στο βόρειο ημισφαίριο ($-60^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$), διαπιστώνονται τα εξής:

⁷ Στην περίπτωση αυτή οι τύποι των κωνικών απεικονίσεων μετασχηματίζονται στους τύπους αντίστοιχων ισημερινών κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικούς παραλλήλους ($\varphi_1 = -\varphi_2 \neq 0^\circ$).

- Στους χάρτες των σχημάτων Γ-13 έως Γ-15 η εικόνα των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου διαφέρει σημαντικά από την εικόνα των ιδίων δρομολογίων στις κωνικές απεικονίσεις των σχημάτων Γ-1 έως Γ-6, τα οποία απεικονίζουν γεωγραφικές περιοχές μέσω των γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$).
- Η εικόνα των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου στους χάρτες των σχημάτων Γ-13 έως Γ-15 προσεγγίζει την εικόνα των ιδίων δρομολογίων στις κυλινδρικές απεικονίσεις.

Σύμφωνα με τις παραπάνω διαπιστώσεις, και αφού ελήφθησαν υπόψη και τα συμπεράσματα της συγκριτικής μελέτης των κυλινδρικών απεικονίσεων, σύμφωνα με τα οποία: για την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μικρών γεωγραφικών πλατών οι κυλινδρικές απεικονίσεις εμφανίζουν μικρές επιφανειακές και γωνιακές παραμορφώσεις, επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτική αξιολόγηση⁸ οι παρακάτω κωνικές απεικονίσεις:

- σύμμορφη κωνική με ένα ή δύο βασικούς παραλλήλους,
- ισοδύναμη κωνική με ένα ή δύο βασικούς παραλλήλους και
- ισαπέχουσα κωνική με ένα ή δύο βασικούς παραλλήλους.

4.4.3 Επιλογή καταλληλότερων αζιμουθιακών απεικονίσεων

Κατ' αναλογία με τη μέθοδο που τηρήθηκε για τις κυλινδρικές και τις κωνικές απεικονίσεις, για την υποβοήθηση της επιλογής των αζιμουθιακών απεικονίσεων, εκπονήθηκαν οι 15 ειδικοί χάρτες του παραρτήματος Δ, στους οποίους απεικονίζονται για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου και ελλείψεις παραμόρφωσης. Πιο συγκεκριμένα οι χάρτες των εξεταζόμενων αζιμουθιακών απεικονίσεων του παραρτήματος Δ είναι:

- Για την πολική γνωμονική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-1.
- Για την πολική στερεογραφική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-2.
- Για την πολική ορθογραφική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-3.
- Για την πολική αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-4.
- Για την πολική αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-5.
- Για την ισημερινή γνωμονική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-6.
- Για την ισημερινή στερεογραφική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-7.
- Για την ισημερινή ορθογραφική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-8.
- Για την ισημερινή αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-9.
- Για την ισημερινή αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-10.
- Για την πλάγια γνωμονική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-11.
- Για την πλάγια στερεογραφική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-12.
- Για την πλάγια ορθογραφική απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-13.
- Για την πλάγια αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-14.
- Για την πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση, ο χάρτης του σχήματος Δ-15.

⁸ Η αξιολόγηση αυτή παρουσιάζεται στα κεφάλαια 5 και 6.

Από την ανάλυση και συγκριτική μελέτη των παραπάνω χαρτών διαπιστώνονται τα εξής:

- Επαληθεύονται οι γενικοί κανόνες του πίνακα 4.1 για τη χρήση των αζιμουθιακών απεικονίσεων.
- Οι διαφορές της εικόνας των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών και δρομολογίων πλου μεταξύ των αζιμουθιακών απεικονίσεων είναι εμφανέστερες σε μεγαλύτερες αποστάσεις από το κεντρικό σημείο (σημείο, στο οποίο μηδενίζονται οι παραμορφώσεις).
- Σε όλες τις εξετασθείσες αζιμουθιακές απεικονίσεις, τουλάχιστον για περιοχές εκτάσεως ενός ημισφαιρίου, τα μεν δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου απεικονίζονται με γραμμή μικρότερου μήκους από τη γραμμή που απεικονίζει τα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου.
- Η γνωμονική απεικόνιση έχει το πλεονέκτημα ότι απεικονίζει τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου ως ευθείες γραμμές και το μειονέκτημα ότι παρουσιάζει μεγάλες γωνιακές κυρίως, αλλά και επιφανειακές παραμορφώσεις (ελλείψεις παραμόρφωσης των χαρτών των σχημάτων Δ-1, Δ-6 και Δ-11).
- Η στερεογραφική απεικόνιση έχει τα πλεονεκτήματα ότι διατηρεί αναλοιώτη τη μορφή/ σχήμα των απεικονιζόμενων περιοχών (μηδενικές γωνιακές παραμορφώσεις) και το μειονέκτημα ότι παρουσιάζει σημαντικές επιφανειακές παραμορφώσεις.
- Η ορθογραφική απεικόνιση έχει το πλεονέκτημα ότι αποδίδει καλύτερα τη σφαιρικότητα της γης και παρέχει την εικόνα της επιφανείας της γης, η οποία φαίνεται από ένα σημείο στο διάστημα.
- Η αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση δεν παρουσιάζει σημαντικές γωνιακές παραμορφώσεις.
- Η αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση περιορίζει σημαντικά τόσο τις μεγάλες επιφανειακές παραμορφώσεις της στερεογραφικής (σύμμορφης αζιμουθιακής) απεικόνισης, όσο και τις σημαντικές γωνιακές παραμορφώσεις της ισοδύναμης αζιμουθιακής απεικόνισης.

Σύμφωνα με τις παραπάνω διαπιστώσεις, επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτική αξιολόγηση⁹ οι παρακάτω κωνικές απεικονίσεις:

- στερεογραφική (πολική, πλάγια, ισημερινή),
- γνωμονική (πολική, πλάγια, ισημερινή),
- ορθογραφική (πολική, πλάγια, ισημερινή),
- αζιμουθιακή ισοδύναμη (πολική, πλάγια, ισημερινή) και
- αζιμουθιακή ισαπέχουσα (πολική, πλάγια, ισημερινή).

4.4.4 Επιλογή καταλληλότερων ψευδοκυλινδρικών κωνικών απεικονίσεων

Οι ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις καλύπτουν εν μέρει την απαίτηση για τη μορφή του πλέγματος των μεσημβρινών και παραλλήλων με την απεικόνιση μόνο των παραλλήλων πλάτους ως παραλλήλων ευθειών. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων (σχήματα E-1, E-2 και E-3) είναι:

- Οι παράλληλοι πλάτους απεικονίζονται με παράλληλες ευθείες γραμμές.
- Οι μεσημβρινοί απεικονίζονται συνήθως με καμπύλες γραμμές, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις που είναι ευθείες. Οι γραμμές των μεσημβρινών είναι συμμετρικές ως προς τον κεντρικό μεσημβρινό, ο οποίος απεικονίζεται πάντα ως ευθεία.

⁹ Η αξιολόγηση αυτή παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5.

- Το πλέγμα των μεσημβρινών και παραλλήλων δεν είναι ορθογώνιο, εκτός από τα σημεία, τα οποία βρίσκονται στον ισημερινό και στον κεντρικό μεσημβρινό, στα οποία οι μεσημβρινοί και οι παράλληλοι σχηματίζουν γωνία 90° .
- Στις περισσότερες ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις είναι δυνατό να επαναληφθεί η απεικόνιση των ακραίων ορίων της υδρογείου και στα δύο όρια της απεικόνισης (δυτικό και ανατολικό).
- Το μήκος των γραμμών των παραλλήλων πλάτους ελαττώνεται βαθμιαία από τον ισημερινό μέχρι τους πόλους.
- Σε ορισμένες ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις οι πόλοι απεικονίζονται ως σημεία (πολοσημειακές ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις) και σε άλλες ως ευθείες γραμμές παράλληλες προς τους παραλλήλους πλάτους.
- Ορισμένες πολοσημειακές ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις απεικονίζουν την υδρόγειο με διακοπτόμενο πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων.

Οι περισσότερες ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις είναι ισοδύναμες. Δεν υπάρχουν σύμμορφες ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις, γιατί το πλέγμα των μεσημβρινών και παραλλήλων των απεικονίσεων αυτών δεν είναι ορθογώνιο (εκτός από τα σημεία που βρίσκονται στον ισημερινό και στον κεντρικό μεσημβρινό, στα οποία οι μεσημβρινοί και οι παράλληλοι σχηματίζουν γωνία 90°). Οι ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις που δεν είναι ισοδύναμες, αλλά έχουν δημιουργηθεί για την εξασφάλιση συγκεκριμένων κατά περίπτωση χαρακτηριστικών, είναι σχετικά περιορισμένες. Στο εγχειρίδιο αναφοράς ερευνητικών μεθόδων για θέματα χαρτογραφικών απεικονίσεων των Bugayevskiy and Snyder (1998 77-88) παρουσιάζονται επτά απεικονίσεις της κατηγορίας αυτής. Στο εγχειρίδιο απογραφής των κυριότερων χαρτογραφικών απεικονίσεων των Snyder και Voxland (1989) περιέχονται αρκετές συμβατικές ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις. Από την περίοδο αυτή έχουν δημιουργηθεί και άλλες, όπως οι ισοδύναμες ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις των Grafarend and Syffus (1997).

Από τις συμβατικές ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις επιλέχτηκαν για περαιτέρω αξιολόγηση¹⁰ οι επόμενες δύο:

- η απεικόνιση Robinson και
- η λοξιμουθιακή απεικόνιση.

Η απεικόνιση Robinson επιλέχτηκε για αρχική αξιολόγηση, επειδή αφενός μεν καλύπτει λίαν ικανοποιητικώς την απαίτηση για περιορισμό των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων (Carek 2001), αφετέρου δε παρουσιάζει πολύ καλή οπτική εικόνα απεικόνισης της σωστής μορφής ολόκληρης της υδρογείου και για το λόγο αυτό ονομάζεται ορθοφανής (orthographic).

Η λοξιμουθιακή απεικόνιση επιλέχτηκε για αρχική αξιολόγηση, επειδή αφενός μεν έχει τη βασική για τη ναυσιπλοΐα ιδιότητα να απεικονίζει σωστά τις διευθύνσεις των λοξοδρομικών γραμμών που έχουν αρχικό σημείο το κεντρικό σημείο της λοξιμουθιακής απεικόνισης (Tobler 1962), αφετέρου δε, δεν δημιουργεί μεγάλες τιμές γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων και το πλέγμα των μεσημβρινών και παραλλήλων είναι παρόμοιο με αυτό της απεικόνισης Robinson.

Στα σχήματα E-1 και E-2 του παραρτήματος E φαίνονται δύο περιπτώσεις εφαρμογής της λοξιμουθιακής απεικόνισης, μια με κεντρικό σημείο στον ισημερινό (Σχ. E-1) και μια με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος 30° Βορ. (Σχ. E-2). Η αντίστοιχη απεικόνιση με την απεικόνιση Robinson φαίνεται στο σχήμα E-3.

¹⁰ Η αξιολόγηση αυτή παρουσιάζεται στα κεφάλαια 5 και 6.

Εξετάζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά των παραπάνω δύο ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων σε συσχετισμό και με την επισκόπηση των χαρτών του παραρτήματος Ε, προκύπτει η διαπίστωση ότι οι δύο αυτές ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά και εικόνα απεικόνισης της μορφής των γεωγραφικών περιοχών και των δρομολογίων του λοξοδρομικού και του ορθοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων. Μετά από αυτή τη διαπίστωση, επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτική αξιολόγηση τόσο η απεικόνιση του Robinson, όσο και η λοξιμουθιακή απεικόνιση.

4.4.5 Διαδικασία περαιτέρω αξιολόγησης και επιλογής

Σύμφωνα με την προηγηθείσα ανάλυση, οι χαρτογραφικές απεικονίσεις που επιλέχθηκαν αρχικά για περαιτέρω αξιολόγηση φαίνονται στον πίνακα 4.4. Η περαιτέρω αξιολόγηση των απεικονίσεων αυτών για την επιλογή της κατά περίπτωση καταλληλότερης, υλοποιήθηκε σύμφωνα με τη διαδικασία που συνοψίζεται στο σχήμα 4.3 και περιγράφεται αναλυτικότερα τόσο στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου όσο και στα επόμενα κεφάλαια 5 και 6.

Πίνακας 4.4
Χαρτογραφικές απεικονίσεις που επιλέχθηκαν για περαιτέρω αξιολόγηση

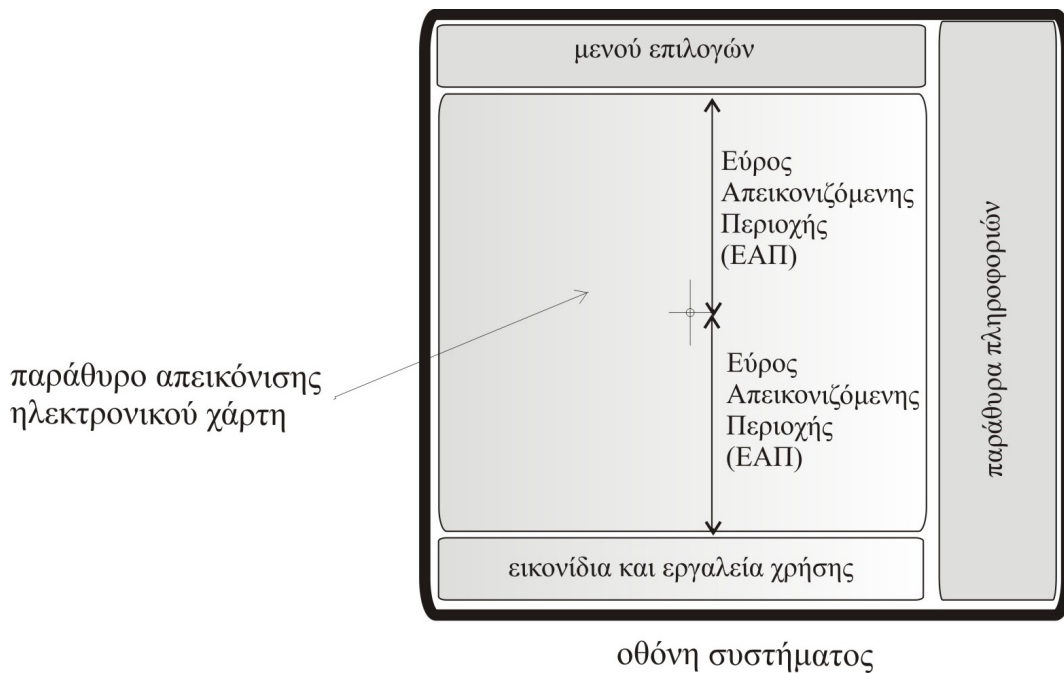
<p>α. Κυλινδρικές απεικονίσεις</p> <ul style="list-style-type: none"> – Σύμμορφη (μερκατορική) – Κυλινδρική ισαπέχουσα – Συμβατική κυλινδρική απεικόνιση του Miller – Στερεογραφική κυλινδρική (δύο περιπτώσεις) σε $\varphi_0=30^\circ$ και $\varphi_0=45^\circ$
<p>β. Κωνικές απεικονίσεις</p> <ul style="list-style-type: none"> – Σύμμορφη – Ισοδύναμη – Ισαπέχουσα
<p>γ. Αξιμουθιακές απεικονίσεις</p> <ul style="list-style-type: none"> – Σύμμορφη (στερεογραφική) – Ισοδύναμη – Ισαπέχουσα – Γνωμονική – Ορθογραφική
<p>δ. Ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις ελάχιστης παραμόρφωσης</p> <ul style="list-style-type: none"> – Λοξιμουθιακή απεικόνιση – Απεικόνιση Robinson

4.5 Καθορισμός «κλίμακων απεικόνισης» και γεωγραφικών περιοχών για συγκριτική αξιολόγηση

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού για τα συστήματα ECDIS [IMO 2006]:

- «Η αλλαγή της κλίμακας απεικόνισης ενός ηλεκτρονικού ναυτιλιακού χάρτη στην οθόνη του συστήματος πρέπει να εκτελείται με απλά βήματα, όπως π.χ. με την επιλογή της κλίμακας του χάρτη, ή με την επιλογή της απόστασης απεικόνισης».
[IMO 2006: ECDIS performance standards].
- «Το τμήμα της οθόνης που θα απεικονίζεται ο ηλεκτρονικός χάρτης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ένα τετράγωνο 270mm x 270mm»
[IMO 2006: ECDIS performance standards].

Ο πιο εύχρηστος τρόπος αλλαγής της κλίμακας του απεικονιζόμενου στην οθόνη ηλεκτρονικού χάρτη είναι με την επιλογή του εύρους της απεικονιζόμενης περιοχής (ΕΑΠ) σε ναυτικά μίλια κατά τρόπο αντίστοιχο με την τυποποιημένη αλλαγή κλίμακας στην οθόνη του ραντάρ. Το εύρος της απεικονιζόμενης περιοχής ΕΑΠ αντιστοιχεί στην απόσταση του κέντρου της απεικονιζόμενης περιοχής από το άνω και κάτω όριο του παραθύρου της οθόνης που απεικονίζεται ο ηλεκτρονικός χάρτης (Σχ. 4.4).



Σχ. 4.4: Εύρος απεικονιζόμενης περιοχής στην οθόνη συστήματος H/N χάρτη

Οι τυπικές οθόνες ενός σύγχρονου συστήματος ECDIS είναι τύπου TFT, τετραγωνικού περίπου σχήματος [5:4] και διαστάσεων 17", 19", ή 23" με τάση επικράτησης της διάστασης 23". Επίσης ορισμένοι κατασκευαστές προσφέρουν και οθόνες [16:10] 20", 26" και 27" για την ταυτόχρονη απεικόνιση πληροφοριών από περισσότερα ναυτιλιακά συστήματα, π.χ., ECDIS, AIS, RADAR/ARPA. Σε κάθε περίπτωση η απεικόνιση του ηλεκτρονικού χάρτη στην οθόνη του ECDIS, σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές του IMO (2006), πρέπει να καταλαμβάνει κατ' ελάχιστο τετραγωνική επιφάνεια 270x270mm. Στον πίνακα 4.5 φαίνονται ενδεικτικά τα χαρακτηριστικά επιλεγμένων οθονών συστημάτων ECDIS, και στον πίνακα 4.6 η κατακόρυφη διάσταση των οθονών 17", 19", ή 23" [5:4].

Πίνακας 4.5
Τυπικές Οθόνες Ναυτιλιακών ΣΓΠ

α/α	Εμπορικό μοντέλο	Διαστάσεις Οθόνης
1.	NAVMASTER ECDIS	20.1" LCD and 23.1" larger displays available
2.	Kongsberg ECDIS	19" TFT drop in kit 23" TFT mounted or drop in kit
3.	JRC JAN 3598	21.3" LCD monitor
4.	VisionMaster FT ECDIS Northop Grumman (Spery Marine)	23.1" TFT
5.	K-Bridge ECDIS system [Kongsberg]	23" TFT
6.	CONRAC LCD	17"/19"/23" wide ECDIS® series: 20, 26 and 27" wide screen displays in 16:10 format

Η αλλαγή της κλίμακας με την επιλογή του εύρους της απεικονιζόμενης περιοχής αντί της αριθμητικής τιμής (του κλάσματος) της κλίμακας 1:κ, έχει το πλεονέκτημα ότι παρέχει στο χρήστη άμεση αντίληψη της έκτασης της γεωγραφικής περιοχής που θα απεικονιστεί στην οθόνη με κάθε αλλαγή κλίμακας. Στα περισσότερα εμπορικά συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη παρέχεται η δυνατότητα αλλαγής της κλίμακας με την επιλογή του εύρους της απεικονιζόμενης περιοχής. Εν τούτοις η επιλεγόμενη στα συστήματα αυτά εμβέλεια απεικόνισης δεν αντιστοιχεί ακριβώς στην πραγματικά απεικονιζόμενη επί της οθόνης απόσταση, αλλά σε κάποια παραπλήσια τιμή της ανάλογα με την κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης της κατά περίπτωση χρησιμοποιούμενης χαρτογραφικής απεικόνισης.

Πίνακας 4.6
Διαστάσεις οθονών [5:4] ναυτιλιακών ΣΓΠ

Οθόνη	Διαστάσεις Οθόνης	
	κατακόρυφη	οριζόντια
17"	270 mm	337 mm
19"	300 mm	379 mm
21"	333 mm	417 mm
23"	365 mm	456 mm

Στον πίνακα 4.7 φαίνονται τα εύρη της απεικονιζόμενης περιοχής που χρησιμοποιούνται σε σημαντικό αριθμό εμπορικών συστημάτων ηλεκτρονικού χάρτη (ECDIS και ECS). Στον πίνακα αυτό οι τιμές της αριθμητικής κλίμακας αντιπροσωπεύουν ενδεικτικές στρογγυλοποιημένες τιμές, οι οποίες έχουν υπολογιστεί για την απεικόνιση των ηλεκτρονικών χαρτών σε τετραγωνικό παράθυρο οθόνης πλευράς 300mm. Οι πραγματικές αντιστοιχίες «εύρους απεικονιζόμενης περιοχής» και «αριθμητικής κλίμακας» εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως οι διαστάσεις της οθόνης και η παραμετροποίηση της κατά περίπτωση χρησιμοποιούμενης χαρτογραφικής απεικόνισης (γεωγραφικό πλάτος του κεντρικού σημείου της απεικονιζόμενης περιοχής). Εν τούτοις, παρά τις χαλαρές αντιστοιχίες «εύρους απεικονιζόμενης περιοχής» και «αριθμητικής κλίμακας» του πίνακα 4.7, η επιλογή της εμβέλειας απεικόνισης αποτελεί τον πιο εύχρηστο τρόπο αλλαγής κλίμακας του ηλεκτρονικού χάρτη στα ΣΗΝΧ.

Πίνακας 4.7

Αντιστοιχία «Εύρους Απεικονιζόμενης Περιοχής» και «Κλίμακας Απεικόνισης» στην οθόνη ΣΗΝΧ

Εύρος απεικόνισης (σε ν. μίλια)	Αριθμητική κλίμακα (προσεγγιστικές τιμές για τετραγωνικό παράθυρο οθόνης πλευράς 300mm)	Διαφορά γεωγρ. πλάτους ($\Delta\phi = \phi_{\text{βορ}} - \phi_{\text{νοτ}}$)
0,25	1:3.000	<1°
0,5	1:6.000	
0,75	1:9.250	
1	1:12.500	
1,5	1:18.500	
2	1:25.000	
3	1:37.000	
5	1:61.000	
6	1:75.000	
8	1:100.000	
10	1:125.000	
12	1:150.000	
18	1:225.000	
24	1:300.000	
32	1:395.000	1,1°
48	1:600.000	1,6°
100	1:1.250.000	3,5°
200	1:2.500.000	7°
500	1:6.000.000	17°
1000	1:12.500.000	33°
1500	1:18.500.000	50°
2000	1:25.000.000	67°

Για την επιλογή των κλιμάκων απεικόνισης, στις οποίες θα εκτελεστούν οι δοκιμές συγκριτικής αξιολόγησης των χαρτογραφικών απεικονίσεων που επιλέχθηκαν για το σκοπό αυτό (§ 4.4), και αφού ελήφθησαν υπόψη:

- οι καθοριζόμενες από τις τεχνικές προδιαγραφές των ηλεκτρονικών ναυτιλιακών χαρτών κλίμακες ανά κατηγορία ναυτιλιακής χρήσης (IHO 2001) του πίνακα 1. 2 (§ 1.4.2),
- οι αντιστοιχίες κλίμακας και τα εύρη απεικονιζόμενης περιοχής του πίνακα 4.7 και
- ότι, τουλάχιστον για κλίμακες μεγαλύτερες από 1:1.000.000, οι απεικονίσεις διαφορετικών χαρτογραφικών απεικονίσεων στις συνηθισμένου μεγέθους τετραγωνικές οθόνες ταυτίζονται (§ 4.2.2),

καθορίστηκαν οι κλίμακες και τα εύρη της απεικονιζόμενης περιοχής του πίνακα 4.8 ως αρχικός οδηγός για την εκτέλεση των δοκιμών συγκριτικής αξιολόγησης. Στον πίνακα 4.8, τα εύρη της απεικονιζόμενης περιοχής αντιστοιχούν σε απεικόνιση των ηλεκτρονικών χαρτών σε τετραγωνικό παράθυρο οθόνης πλευράς 300 mm.

Πίνακας 4.8

Κλίμακες δοκιμών αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ

α/α	Κατηγορία κλιμάκων	κλίμακα εκτέλεσης δοκιμών και εύρος απεικόνισης (προσεγγιστικές τιμές για τετραγωνικό παράθυρο οθόνης πλευράς 300mm)		
		αριθμητική κλίμακα (προσεγγιστική)	εύρος απεικόνισης σε ναυτικά μίλια (range scale)	διαφορά γεωγραφικού πλάτους ($\Delta\varphi = \varphi_{\text{βορ}} - \varphi_{\text{νοτ}}$)
1	Μεσαίες κλίμακες (ναυτιλία ανοικτής θάλασσας)	1: 1.250.000	100 ν.μ.	3,5°
2	Μικρές κλίμακες (σχεδίαση – επισκόπηση πλου ωκεανοπλοΐας)	1: 6.000.000	500 ν.μ.	17°
3	Μικρές κλίμακες (σχεδίαση – επισκόπηση πλου ωκεανοπλοΐας)	1:12.500.000	1.000 ν.μ.	33°
4	Πολύ μικρές κλίμακες παγκόσμιας κάλυψης	1: 30.000.000	2.000 ν.μ.	67°

Για την εκτέλεση των δοκιμών συγκριτικής αξιολόγησης και αφού ελήφθησαν υπόψη:

- ο συσχετισμός της κλίμακας απεικόνισης με την έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής,
- τα αποτελέσματα της αρχικής αποτύπωσης των παραμορφώσεων των χαρτογραφικών απεικονίσεων που εξετάστηκαν στην § 4.4 και αποτυπώνονται στους 46 ειδικούς χάρτες των παραρτημάτων Β έως Ε ,

καθορίστηκαν οι γεωγραφικές περιοχές του πίνακα 4.9, στις οποίες θα εκτελεστεί η συγκριτική αξιολόγηση των χαρτογραφικών απεικονίσεων σε συνδυασμό με τις κλίμακες απεικόνισης του πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.9

Γεωγραφικές περιοχές δοκιμών αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ

α/α	Θέση γεωγραφικής περιοχής	Έκταση γεωγραφικής περιοχής
1	Περιοχές μικρών γεωγραφικών πλατών	$\varphi < 30^\circ$
2	Περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών	$30^\circ \leq \varphi < 60^\circ$
3	Περιοχές μεγάλων γεωγραφικών πλατών	$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
4	Περιοχές κάλυψης ημισφαιρίου	$90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$, $\Delta\lambda = 180^\circ$
5	Περιοχές παγκόσμιας κάλυψης	$90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$, $\Delta\lambda = 360^\circ$

4.6 Καθορισμός παραμέτρων αξιολόγησης και μέγιστων επιτρεπόμενων αποκλίσεων

Η διαδικασία υλοποίησης και τα αποτελέσματα των αναλυτικών δοκιμών συγκριτικής αξιολόγησης των χαρτογραφικών απεικονίσεων του πίνακα 4.4 παρουσιάζονται στα κεφάλαια 5 και 6.

4.6.1 Παράμετροι υπολογισμού παραμορφώσεων και πιστότητας οπτικοποίησης

Η συγκριτική αξιολόγηση των παραμορφώσεων (γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών) και της πιστότητας οπτικοποίησης των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου, στις απεικονίσεις του πίνακα 4.4 που επιλέχθηκαν για περαιτέρω αξιολόγηση, υλοποιήθηκε με υπολογισμό των παρακάτω παραμέτρων:

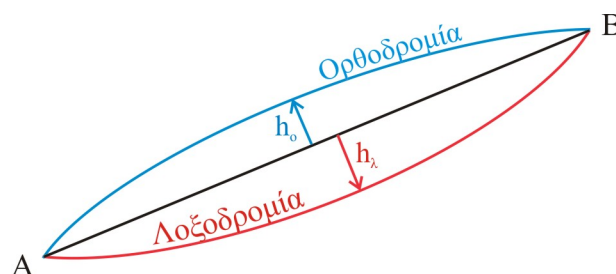
- συντελεστές h , k , a , b , p και ω για τον υπολογισμό των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων (§ 4.2),
- συντελεστής χαρακτηρισμού Q (“Distortion Characterization Q ”), $π$ χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση απεικονίσεων όλης της υδρογείου και ορίζεται ως το επί τοις εκατό ποσοστό του τμήματος της υδρογείου, στο οποίο εμφανίζονται τιμές παραμορφώσεων μικρότερες από αυτές που έχουν καθοριστεί σαν μέγιστες επιτρεπόμενες (Capek 2001),
- συντελεστές ορθοδρομικότητας ξ_0 , λοξοδρομικότητας ξ_λ και συμμορφίας (ci), οι οποίοι καθορίστηκαν ειδικά για το σκοπό της εκτελεσθείσας έρευνας, όπως επεξηγούνται στη συνέχεια.

Οι συντελεστές ορθοδρομικότητας ξ_0 και λοξοδρομικότητας ξ_λ δίνονται από τις σχέσεις (4.6.1) και (4.6.2), στις οποίες:

- h_0 είναι η μέγιστη απόσταση της γραμμής που απεικονίζει το δρομολόγιο του ορθοδρομικού πλου από το ευθύγραμμο τμήμα, το οποίο συνδέει το σημείο αναχώρησης A και το σημείο προορισμού B στο επίπεδο απεικόνισης (Σχ. 4.5).
- h_λ είναι η μέγιστη απόσταση της γραμμής που απεικονίζει το δρομολόγιο του λοξοδρομικού πλου από το ευθύγραμμο τμήμα, το οποίο συνδέει το σημείο αναχώρησης A και το σημείο προορισμού B στο επίπεδο απεικόνισης (Σχ. 4.5).
- L είναι το μήκος του ευθυγράμμου τμήματος, το οποίο συνδέει το σημείο αναχώρησης A και το σημείο προορισμού B στο επίπεδο απεικόνισης (Σχ. 4.5).

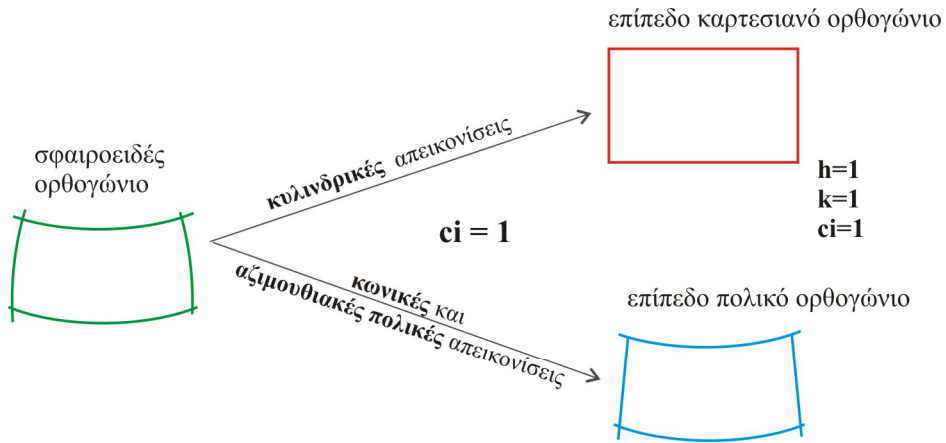
$$\xi_0 = \left| \frac{h_0}{L} \right| \quad (4.6.1)$$

$$\xi_\lambda = \left| \frac{h_\lambda}{L} \right| \quad (4.6.2)$$

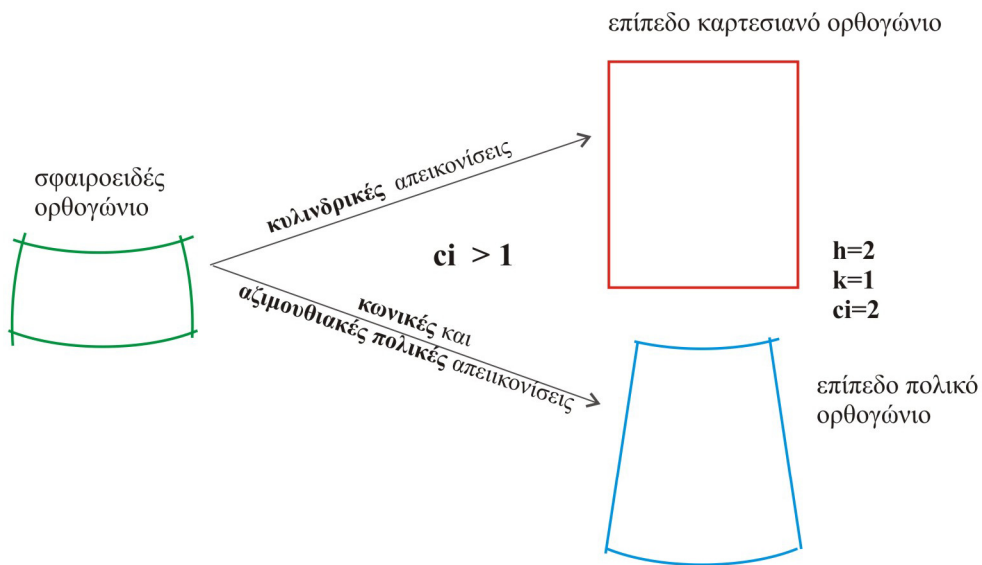


Σχ. 4.5: Παράμετροι ορισμού συντελεστών ορθοδρομικότητας και λοξοδρομικότητας

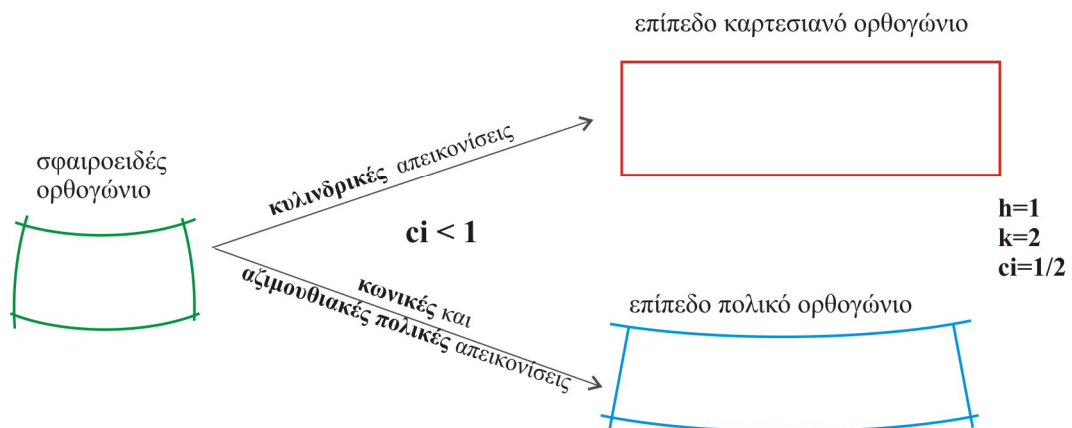
Οι συντελεστές ορθοδρομικότητας και λοξοδρομικότητας (ξ_0 και ξ_λ) χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αντιπροσωπευτικότερης απεικόνισης των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων ως εξής:



α. $ci = 1$ [εξασφάλιση ομοιότητας σχημάτων (συμμορφίας)]



β. $ci > 1$ απώλεια συμμορφίας και δημιουργία επιμήκυνσης στη διεύθυνση του μεσημβρινού



γ. $ci < 1$ απώλεια συμμορφίας και δημιουργία επιμήκυνσης στη διεύθυνση του παραλλήλου

Σχ. 4.6: Χρήση του δείκτη συμμορφίας για αξιολόγηση της ομοιότητας των σχημάτων

Πρώτος κανόνας:

Μία χαρτογραφική απεικόνιση απεικονίζει ικανοποιητικά τα δρομολόγια πλου, όταν ισχύει η σχέση $\xi_0 < \xi_\lambda$. Η συνθήκη αυτή εξασφαλίζει ότι τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου απεικονίζονται με γραμμές μικρότερης καμπυλότητας (μικρότερου μήκους) ως προς τις γραμμές που απεικονίζουν τα αντίστοιχα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου.

Δεύτερος κανόνας:

Μεταξύ δύο απεικονίσεων, οι οποίες δεν καλύπτουν την συνθήκη $\xi_0 < \xi_\lambda$ του πρώτου κανόνα, όπως π.χ. οι κυλινδρικές, στις οποίες η λοξοδρομία απεικονίζεται ως ευθεία, αν λόγω ειδικών απαιτήσεων πρέπει να χρησιμοποιηθεί απεικόνιση αυτής της κατηγορίας, π.χ. λόγω της μορφής του πλέγματος των μεσημβρινών και παραλλήλων, τότε ως καταλληλότερη θεωρείται η απεικόνιση, στην οποία ο συντελεστής ορθοδρομικότητας ξ_0 έχει την μικρότερη τιμή (επειδή για $\xi_0 = 0$, η γραμμή που απεικονίζει το δρομολόγιο του ορθοδρομικού πλου είναι ευθεία).

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της εκτελεσθείσας συγκριτικής μελέτης των κυλινδρικών, κωνικών και αζιμουθιακών απεικονίσεων (§ 4.4), ιδιαίτερα δε της μορφής των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου που απεικονίζονται στους χάρτες των παραρτημάτων Β, Γ, Δ, και Ε, προκύπτουν τα εξής:

- Ο πρώτος κανόνας χρησιμοποίησης των συντελεστών ορθοδρομικότητας ξ_0 και λοξοδρομικότητας ξ_λ συνιστάται ιδιαίτερα για την περαιτέρω αξιολόγηση των κωνικών και αζιμουθιακών απεικονίσεων του πίνακα 4.4, στις οποίες οι μεσημβρινοί συγκλίνουν στον πόλο και τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου απεικονίζονται με γραμμές μικρής καμπυλότητας που προσεγγίζουν την μορφή της ευθείας (χάρτες παραρτημάτων Γ και Δ).
- Ο δεύτερος κανόνας χρησιμοποίησης των συντελεστών ορθοδρομικότητας ξ_0 και λοξοδρομικότητας ξ_λ συνιστάται για την περαιτέρω αξιολόγηση των κυλινδρικών απεικονίσεων.

Ο δείκτης συμμορφίας (c_i) ορίζεται ως η τιμή του κλάσματος του συντελεστή γραμμικής κλίμακας στη διεύθυνση του μεσημβρινού h προς το συντελεστή γραμμικής κλίμακας στη διεύθυνση του παραλλήλου k [σχέση (4.6.3)] και χρησιμοποιείται μόνο για τις χαρτογραφικές απεικονίσεις που έχουν ορθογώνιο πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων πλάτους. Στην κατηγορία των απεικονίσεων με ορθογώνιο πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων ανήκουν οι απεικονίσεις που επιλέχθηκαν για λεπτομερέστερη ανάλυση (πίνακας 4.4), εκτός από τις πλάγιες και τις ισημερινές αζιμουθιακές απεικονίσεις, καθώς και τις ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις.

$$c_i = \frac{h}{k} \quad (4.6.3)$$

Η χρησιμότητα του δείκτη συμμορφίας c_i για τη συγκριτική αξιολόγηση των απεικονίσεων με ορθογώνιο πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων στηρίζεται στις εξής αρχές:

- Στις χαρτογραφικές απεικονίσεις με ορθογώνιο πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων, όπως οι εξεταζόμενες κυλινδρικές, κωνικές και αζιμουθιακές, η επιφάνεια ενός σφαιροειδούς ορθογωνίου στην επιφάνεια του ΕΕΠ ή της σφαίρας, το οποίο ορίζεται από δύο παραλλήλους πλάτους και δύο μεσημβρινούς, απεικονίζεται στο επίπεδο απεικόνισης ως στοιχειώδες καρτεσιανό ορθογώνιο (κυλινδρικές απεικονίσεις), ή ως στοιχειώδες πολικό ορθογώνιο (κωνικές και αζιμουθιακές απεικονίσεις) [Σχ. 4.6].
- Για τον έλεγχο της συμμορφίας μιας χαρτογραφικής απεικόνισης απαιτείται να ελεγχθεί ότι διατηρούνται αναλλοίωτα τα αζιμούθια οποιασδήποτε γραμμής του ΕΕΠ μετά την απεικόνισή της στο επίπεδο.
- Επειδή σε οποιαδήποτε στοιχειώδη γραμμή του ΕΕΠ αντιστοιχεί ένα σφαιροειδές ορθογώνιο, το οποίο έχει διαγώνιο τη γραμμή αυτή, για τον έλεγχο της συμμορφίας αρκεί να ελεγ-

χθεί αν διατηρείται αναλλοίωτο το αζιμούθιο της διαγωνίου μετά την απεικόνιση του φατνίου στο επίπεδο.

- Το αζιμούθιο της διαγωνίου διατηρείται αναλλοίωτο όταν ο συντελεστής γραμμικής κλίμακας στη διεύθυνση του μεσημβρινού ισούται με το συντελεστή γραμμικής κλίμακας στη διεύθυνση του παραλλήλου ($h=k$). Στην περίπτωση αυτή η τιμή του συντελεστή c_i είναι ίση με τη μονάδα (Σχ. 4.6α).
- Όταν η τιμή του συντελεστή c_i είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα, δημιουργείται απώλεια της συμμορφίας και επιμήκυνση του σχήματος/μορφής του απεικονιζόμενου φατνίου προς τη διεύθυνση του μεσημβρινού (Σχ. 4.6β).
- Όταν η τιμή του συντελεστή c_i είναι μικρότερη από τη μονάδα, δημιουργείται απώλεια της συμμορφίας και επιμήκυνση του σχήματος/μορφής του απεικονιζόμενου φατνίου προς τη διεύθυνση του παραλλήλου πλάτους (Σχ. 4.6γ).

Η χρήση του συντελεστή συμμορφίας c_i για την αξιολόγηση της ορθοφάνειας έναντι της χρήσης των τιμών της γωνιακής παραμόρφωσης έχει το πλεονέκτημα ότι παρέχει άμεση ένδειξη, όχι μόνο για την ύπαρξη απόκλισης από τη συμμορφία, αλλά και για το είδος της απόκλισης αυτής, π.χ. επιμήκυνση του σχήματος/μορφής της απεικονιζόμενης περιοχής στη διεύθυνση των μεσημβρινών ($c_i > 1$) ή στη διεύθυνση των παραλλήλων ($c_i < 1$).

4.6.2 Μέγιστες επιτρεπόμενες αποκλίσεις παραμέτρων αξιολόγησης

Στις περιπτώσεις, στις οποίες οι χαρτογραφικές απεικονίσεις χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μετρήσεις επί χάρτου, η τιμή ορισμένων κατηγοριών παραμορφώσεων, ανεξάρτητα από το μέγεθός τους, ενδέχεται να μην αποτελεί σημαντικό παράγοντα αξιολόγησης, γιατί δίνεται προτεραιότητα στον περιορισμό, ή στην εξάλειψη άλλης κατηγορίας παραμορφώσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση της μερκατορικής απεικόνισης στην παραδοσιακή ναυσιπλοΐα. Στην περίπτωση αυτή δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στο μηδενισμό των γωνιακών παραμορφώσεων¹¹, ενώ αγνοούνται οι υπερβολικά μεγάλες επιφανειακές παραμορφώσεις, οι οποίες σε γεωγραφικό πλάτος 60° είναι της τάξεως του 400%.

Στις περιπτώσεις, στις οποίες δεν εκτελούνται μετρήσεις επί χάρτου, η επιλογή της κατάλληλης χαρτογραφικής απεικόνισης δεν στηρίζεται στο μηδενισμό, ή στον περιορισμό μιας συγκεκριμένης κατηγορίας παραμορφώσεων, αλλά στον περιορισμό όλων των παραμορφώσεων σε αποδεκτά όρια, προκειμένου να μην εμφανίζονται οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες παραμορφώσεις. Τα όρια αυτά, τα οποία αντιστοιχούν στις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων, δεν είναι δυνατό να καθοριστούν με ακρίβεια, γιατί εξαρτώνται από την εμπειρία και το επίπεδο οπτικής αντίληψης κάθε χρήστη. Το εύρος των τιμών αυτών για έμπειρο και μη έμπειρο χρήστη φαίνονται στον πίνακα 4.10 (Bugayevskiy and Snyder 1998).

Ο καθορισμός των μέγιστων επιτρεπόμενων ανοχών των παραμορφώσεων κατά τη διαδικασία επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων υπακούει σε κανόνες απλής λογικής και όχι σε πολύπλοκες διαδικασίες (Maling 1973, 176)¹². Ως παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση επιλογής των καταλληλότερων χαρτογραφικών απεικονίσεων για την απεικόνιση περιοχών πολύ μεγάλης γεωγραφικής έκτασης, όπως για παράδειγμα η περιοχή του Ατλαντικού ωκεανού. Στην περίπτωση αυτή, αφενός μεν δεν είναι δυνατό να τεθεί ταυτόχρονα πολύ μικρό όριο επιτρεπόμενων ανοχών των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων, π.χ. μικρότερες από $\pm 1\%$ και $\pm 1^\circ$ αντιστοίχως, γιατί δεν υπάρχουν απεικονίσεις με αυτά τα χαρακτηριστικά, αφ' ετέρου δε, αν τεθούν πολύ μεγάλα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια, π.χ. της τάξεως του $\pm 40\%$ ή $\pm 40^\circ$, θα προκύψει πολύ μεγάλος αριθμός απεικονίσεων με τα χαρακτηριστικά αυτά και συνεπώς δεν θα υποστηριχθεί (διευκολυνθεί) η διαδικασία επιλογής των καταλληλότερων.

¹¹ σε συνδυασμό με τη βασική και χρησιμότητα για τη ναυσιπλοΐα ιδιότητα της μερκατορικής απεικόνισης να απεικονίζει τους μεσημβρινούς και παραλλήλους πλάτους με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες.

¹² ... there is nothing magical about the choice of these numerical values

Πίνακας 4.10

Όρια οπτικού εντοπισμού γραμμικών επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων

Είδος παραμόρφωσης	μη οπτικά εντοπίσιμες παραμορφώσεις	μη έντονες οπτικές παραμορφώσεις
γραμμικές και επιφανειακές παραμορφώσεις	μέχρι $\pm(6-8)\%$	μέχρι $\pm(8-10)\%$
γωνιακές παραμορφώσεις	μέχρι $6^\circ - 8^\circ$	μέχρι $10^\circ - 12^\circ$

Ένας γενικός κανόνας καθορισμού της τιμής των μέγιστων παραμορφώσεων για την αξιολόγηση χαρτογραφικών απεικονίσεων είναι ότι για μεγαλύτερες εκτάσεις της απεικονιζόμενης περιοχής (μικρότερες κλίμακες απεικόνισης), χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες τιμές των μέγιστων επιτρεπόμενων παραμορφώσεων. Η πρακτική αυτή τηρείται, γιατί κατά τις απεικονίσεις περιοχών πολύ μεγάλης γεωγραφικής έκτασης, ιδιαίτερα δε ολόκληρης της υδρογείου, δημιουργούνται αναπόφευκτα μεγαλύτερες παραμορφώσεις σε όλες τις χαρτογραφικές απεικονίσεις, και είναι αδύνατο να εξαλειφθούν, ή να περιοριστούν ταυτόχρονα σε πολύ χαμηλές τιμές για όλη την έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής, τόσο οι γωνιακές, όσο και οι επιφανειακές παραμορφώσεις.

Κατά τη συγκριτική αξιολόγηση χαρτογραφικών απεικονίσεων που προορίζονται για την απεικόνιση ολόκληρης της υδρογείου, οι καθορισθείσες τιμές της μέγιστης παραμόρφωσης (γωνιακής, επιφανειακής κλπ) εξετάζονται σε συσχετισμό με το ποσοστό της απεικονιζόμενης επιφάνειας, στην οποία ισχύει ο περιορισμός αυτός. Ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αναφέρεται η αναφερόμενη για την απεικόνιση Robinson τιμή της επιφανειακής παραμόρφωσης σε επίπεδο κάτω του 20% για το 75% της απεικονιζόμενης περιοχής (Robinson et al. 1995).

Σε αρκετές μελέτες συγκριτικής αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων που χρησιμοποιούνται σε χάρτες παγκοσμίου καλύψεως, έχει χρησιμοποιηθεί ο «**συντελεστής χαρακτηρισμού Q**» (“**Distortion Characterization Q**”), ο οποίος αποτελεί το επί τοις εκατό ποσοστό του τμήματος της υδρογείου, στο οποίο εμφανίζονται τιμές παραμορφώσεων μικρότερες από αυτές που έχουν καθοριστεί σαν μέγιστες επιτρεπόμενες (Capek 2001, Irbuker 2004). Κατά την εκτελεσθείσα από τον Capek (2001) συγκριτική αξιολόγηση 100 χαρτογραφικών απεικονίσεων με τη χρήση του «συντελεστή χαρακτηρισμού Q», είχαν τεθεί ως μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές παραμορφώσεων, για μεν τις γωνιακές παραμορφώσεις 40° , για δε τις επιφανειακές $\pm 50\%$ ως προς την τιμή της ελάχιστης επιφανειακής παραμόρφωσης κάθε αξιολογούμενης απεικόνισης και θεωρήθηκαν ως κατάλληλες χαρτογραφικές απεικονίσεις για χρήση σε χάρτες παγκοσμίου καλύψεως, όσες έχουν τιμή του συντελεστή Q μεγαλύτερη από 80%. Στο παράδειγμα αυτό οι τιμές των μέγιστων επιτρεπόμενων παραμορφώσεων τέθηκαν χωρίς κάποια ειδική μεθοδολογία αλλά, όπως γίνεται συνήθως, με ‘αυθαίρετη’ απλή λογική λαμβάνοντας υπόψη την έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής και τη χρήση για την οποία προορίζονται οι απεικονίσεις που αξιολογούνται (Maling 1973 176).

Όσον αφορά τη χρήση του συντελεστή συμμορφίας c_i (§ 4.6.1), ελήφθη υπόψη ότι σύμφωνα με την συνηθισμένη οπτική αντίληψη τόσο του ναυτίλου όσο και του μέσου χρήστη χαρτών γενικής χρήσης, είναι ευκολότερα αποδεκτή η γραμμική παραμόρφωση στη διεύθυνση του παραλλήλου, παρά στη διεύθυνση του μεσημβρινού.

Για το σκοπό της εκτελεσθείσας έρευνας και αφού λήφθηκαν υπόψη τα όρια εντοπισμού οπτικών παραμορφώσεων (πίνακας 4.10) και η χρήση, για την οποία προορίζονται οι χαρτογραφικές απεικονίσεις που θα επιλεγούν (ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ), καθορίστηκαν οι μέγιστες επιθυμητές αποκλίσεις των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων αξιολόγησης στις τιμές του πίνακα 4.11.

Κατά τον καθορισμό των μέγιστων επιτρεπόμενων παραμορφώσεων του πίνακα 4.11, λόγω της ειδικής χρήσης, για την οποία προορίζονται οι χαρτογραφικές απεικονίσεις που θα επιλεγούν, δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στον περιορισμό των γωνιακών παραμορφώσεων και την αντιπροσωπευτικότερη απεικόνιση της μορφής των απεικονιζόμενων περιοχών, παρά στον περιορισμό των επιφανειακών παραμορφώσεων.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες αποκλίσεις του συντελεστή συμμορφίας c_i καθορίστηκαν σε όρια ανάλογα των τιμών της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης. Για απεικονίσεις που καλύπτουν πολύ μεγάλες εκτάσεις και πλησιάζουν την κάλυψη ενός ημισφαιρίου, χρησιμοποιήθηκε ο 'συντελεστής χαρακτηρισμού Q ', ο οποίος θα πρέπει να έχει, όπου αυτό είναι δυνατό με τιμή μεγαλύτερη από 80%.

Πίνακας 4.11

Μέγιστες επιθυμητές αποκλίσεις παραμέτρων αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΓΠ

I. ΕΑΠ δοκιμών 100 ν.μ.	
παραμόρφωση	μέγιστη επιθυμητή απόκλιση
γραμμική παραμόρφωση	$\leq 6\%$
επιφανειακή παραμόρφωση p	$\leq 8\%$
μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση ω	$\leq 6^\circ$
συντελεστής συμμορφίας c_i	
II. ΕΑΠ δοκιμών 500 ν.μ.	
παραμόρφωση	μέγιστη επιθυμητή απόκλιση
γραμμική παραμόρφωση	$\leq 8\%$
επιφανειακή παραμόρφωση p	$\leq 15\%$
μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση ω	$\leq 8^\circ$
συντελεστής συμμορφίας c_i	[0,76 1,33]
III. ΕΑΠ δοκιμών 1.000 ν.μ.	
παραμόρφωση	μέγιστη επιθυμητή απόκλιση
γραμμική παραμόρφωση	$\leq 10\%$
επιφανειακή παραμόρφωση p	$p \leq \pm 20\%, Q \geq 80\%$
μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση ω	μέχρι 10°
συντελεστής συμμορφίας c_i	[0,7 1,5]
IV. ΕΑΠ δοκιμών 2.000 ν.μ.	
παραμόρφωση	μέγιστη επιθυμητή απόκλιση
γραμμική παραμόρφωση	$\leq 20\%$
επιφανειακής παραμόρφωσης p	η μικρότερη δυνατή
μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση ω	$\leq 10^\circ$
συντελεστής συμμορφίας c_i	[0,7 1,5]

4.7 Σύνοψη συμπερασμάτων και προτάσεων κεφαλαίου 4

Στο παρόν κεφάλαιο καθορίστηκαν οι διαδικασίες και τα κριτήρια επιλογής και αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων για χρήση σε ΣΗΝΧ σύμφωνα με τις επόμενες αρχές:

- Στα ΣΗΝΧ δεν είναι υποχρεωτική η χρήση συγκεκριμένων χαρτογραφικών απεικονίσεων όπως στην περίπτωση της κλασικής ναυτιλίας.
- Καταλληλότερες χαρτογραφικές απεικονίσεις θεωρούνται αυτές, στις οποίες καλύπτονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, τόσο οι ειδικές απαιτήσεις και προτιμήσεις της ναυσιπλοΐας, όσο και ο περιορισμός των παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλοιώσεις της μορφής των απεικονιζόμενων γεωγραφικών περιοχών.

Με βάση τις ανωτέρω βασικές αρχές και αφού λήφθηκαν υπόψη:

- οι γενικές αρχές και τα κριτήρια επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων της αναλυτικής χαρτογραφίας,
- ότι σύμφωνα με τις λειτουργικές προδιαγραφές των ΣΗΝΧ του ΙΜΟ, οι Ηλεκτρονικοί Ναυτικοί Χάρτες πρέπει να απεικονίζονται σε τετραγωνικό παράθυρο της οθόνης του συστήματος διαστάσεων τουλάχιστον 270 mm x 270 mm,
- ότι οι ειδικές απαιτήσεις ή προτιμήσεις για τη ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ συνοψίζονται στο συγκεκριμένο δύο σημαντικών αλλά ασύμβατων μεταξύ τους ιδιοτήτων που αφορούν την εξασφάλιση:
 - μορφής πλέγματος μεσημβρινών και παραλλήλων που θα παρέχει τη δυνατότητα άμεσου οπτικού προσδιορισμού της σχετικής θέσης οποιωνδήποτε σημείων της απεικονιζόμενης περιοχής, ακόμη και όταν δεν απεικονίζονται οι μεσημβρινοί και οι παράλληλοι πλάτους,
 - απεικόνισης των δρομολογίων του ορθοδρομικού και του λοξοδρομικού πλου πολύ μεγάλων αποστάσεων χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις της πραγματικής τους μορφής και της αναλογίας των πραγματικών τους αποστάσεων στην επιφάνεια της γης,

καθορίστηκαν:

- Οι ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων και οι χαρτογραφικές απεικονίσεις κάθε ομάδας που θα αξιολογηθούν αναλυτικότερα σε επόμενα στάδια. Για την υποβοήθηση της αρχικής αυτής επιλογής εκπονήθηκαν 46 ειδικοί χάρτες, στους οποίους απεικονίζονται επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου καθώς και ελλείψεις παραμόρφωσης. Οι χάρτες αυτοί παρουσιάζονται στα παραρτήματα Β, Γ, Δ και Ε.
- Οι κλίμακες εκτέλεσης δοκιμών συγκριτικής αξιολόγησης. Οι κλίμακες αυτές καθορίστηκαν με τη μορφή του εύρους της απεικονιζόμενης στην οθόνη του συστήματος γεωγραφικής περιοχής.
- Οι γεωγραφικές περιοχές εκτέλεσης δοκιμών συγκριτικής αξιολόγησης.
- Οι παράμετροι υπολογισμού παραμορφώσεων και πιστότητας οπτικοποίησης και οι μέγιστες επιτρεπόμενες αποκλίσεις. Οι παράμετροι αυτές αξιοποιούνται:
 - Για την εφαρμογή των κλασικών κριτηρίων αξιολόγησης και επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων, όπως: το κριτήριο «ελάχιστης - μέγιστης τιμής» των τιμών της γραμμικής και της επιφανειακής παραμόρφωσης (minmax criterion) και το κριτήριο της «ελάχιστης απόκλισης» (variation) των τιμών της γραμμικής παραμόρφωσης του Chebyshev.
 - Για την εξέταση των ειδικών απαιτήσεων ή προτιμήσεων της ναυσιπλοΐας, κυρίως με τη χρήση των ειδικά θεσπισθέντων για το σκοπό της εκτελεσθείσας έρευνας συντελεστών ορθοδρομικότητας ξ_0 και λοξοδρομικότητας ξ_λ .

Οι χαρτογραφικές απεικονίσεις που επιλέχτηκαν για αναλυτικότερη αξιολόγηση φαίνονται στον πίνακα 4.4, οι κλίμακες εκτέλεσης δοκιμών συγκριτικής αξιολόγησης στον πίνακα 4.8, οι γεωγραφικές περιοχές εκτέλεσης δοκιμών στον πίνακα 4.9 και οι μέγιστες επιθυμητές αποκλίσεις των παραμέτρων υπολογισμού παραμορφώσεων και πιστότητας οπτικοποίησης στον πίνακα 4.11.

Η υλοποίηση της καθορισθείσας διαδικασίας και των κριτηρίων επιλογής και αξιολόγησης χαρτογραφικών απεικονίσεων για χρήση σε ΣΗΝΧ παρουσιάζεται στα επόμενα κεφάλαια 5 και 6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

5.1 Υπολογισμοί παραμορφώσεων κυλινδρικών απεικονίσεων

Οι κυλινδρικές απεικονίσεις που έχουν επιλεγεί στο προηγούμενο κεφάλαιο για αναλυτικότερη αξιολόγηση (§ 4.4.1, πίνακας 4.4), είναι:

- η μερκατορική απεικόνιση,
- η κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση,
- η κυλινδρική απεικόνιση του Miller¹ και
- η στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση² (κυλινδρική απεικόνιση Gall, κυλινδρική απεικόνιση του Σοβιετικού άτλαντα BASM κλπ.).

Η ανάλυση της κατανομής των παραμορφώσεων και της πιστότητας οπτικοποίησης των αξιολογούμενων κυλινδρικών απεικονίσεων πραγματοποιήθηκε ως εξής:

- ✓ Υπολογίστηκαν οι τιμές των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων καθώς και του συντελεστή συμμορφίας c_i για τιμές γεωδαιτικού πλάτους ανά 1° (από 0° μέχρι 90°) και για βασικούς παραλλήλους³ σε πλάτη 0° , 15° , 30° , 45° και 60° που εκτελέστηκαν με τους τύπους υπολογισμού των παραμορφώσεων των εξεταζόμενων κυλινδρικών απεικονίσεων στη σφαίρα⁴ και στο ΕΕΠ⁵, και εκπονήθηκαν διαγράμματα κατανομής των παραμορφώσεων αυτών με το γεωγραφικό πλάτος για κάθε μια από τις αξιολογούμενες κυλινδρικές απεικονίσεις.
- ✓ Εκπονήθηκαν χάρτες, στους οποίους απεικονίζονται οι ισარიθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων. Οι χάρτες αυτοί κατασκευάστηκαν με το λογισμικό Matlab/Mapping μετά από σχετικό έλεγχο της ακρίβειας και αξιοπιστίας του και διόρθωση των σφαλμάτων που εντοπίστηκαν⁶.

¹ Βλ. υποσημείωση υπ. αριθμ. 3 κεφαλαίου 4 (§ 4.4.1).

² Βλ. υποσημείωση υπ. αριθμ. 4 κεφαλαίου 4 (§ 4.4.1).

³ Η επιλογή των βασικών αυτών παραλλήλων έγινε για τη διευκόλυνση της αξιολόγησης κατά γεωγραφική περιοχή και κλίμακα σύμφωνα με τον πίνακα 4.11. Η αξιολόγηση αυτή παρουσιάζεται στην ενότητα 6.2.

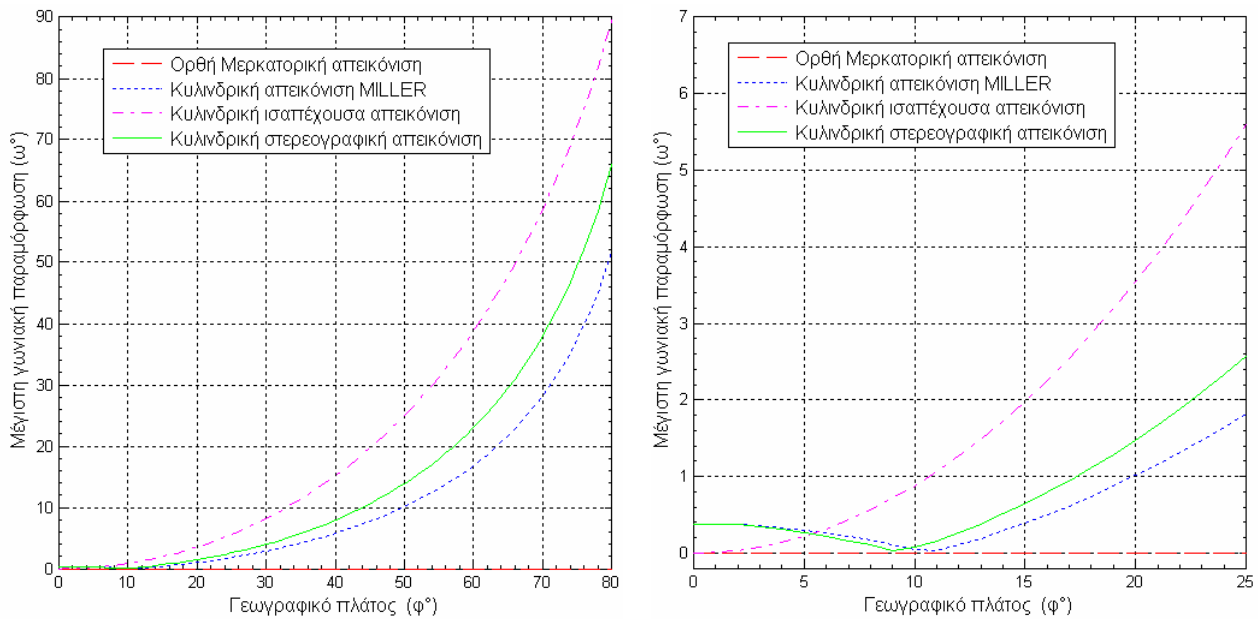
⁴ Οι τύποι υπολογισμού των παραμορφώσεων της μερκατορικής απεικόνισης, της κυλινδρικής απεικόνισης Miller και της ισαπέχουσας κυλινδρικής απεικόνισης στη σφαίρα παρέχονται σε όλα τα βασικά εγχειρίδια της αναλυτικής χαρτογραφίας. Οι τύποι για την κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση (κυλινδρική απεικόνιση Gall, απεικόνιση BASM κλπ.) παρέχονται από τους Snyder και Bugayevskiy and Snyder (1998 59).

⁵ Οι τύποι υπολογισμού των παραμορφώσεων της μερκατορικής απεικόνισης στο ΕΕΠ παρέχονται σε όλα τα βασικά συγγράμματα της αναλυτικής χαρτογραφίας. Οι τύποι υπολογισμού των παραμορφώσεων της κυλινδρικής απεικόνισης Miller, της ισαπέχουσας κυλινδρικής απεικόνισης και της κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης στο ΕΕΠ δεν παρέχονται άμεσα στην κλασική βιβλιογραφία, αλλά, όπως ισχύει για όλες τις κυλινδρικές απεικονίσεις, προκύπτουν εύκολα από τους αντίστοιχους τύπους της σφαίρας (Snyder 1978), από τις σχέσεις:

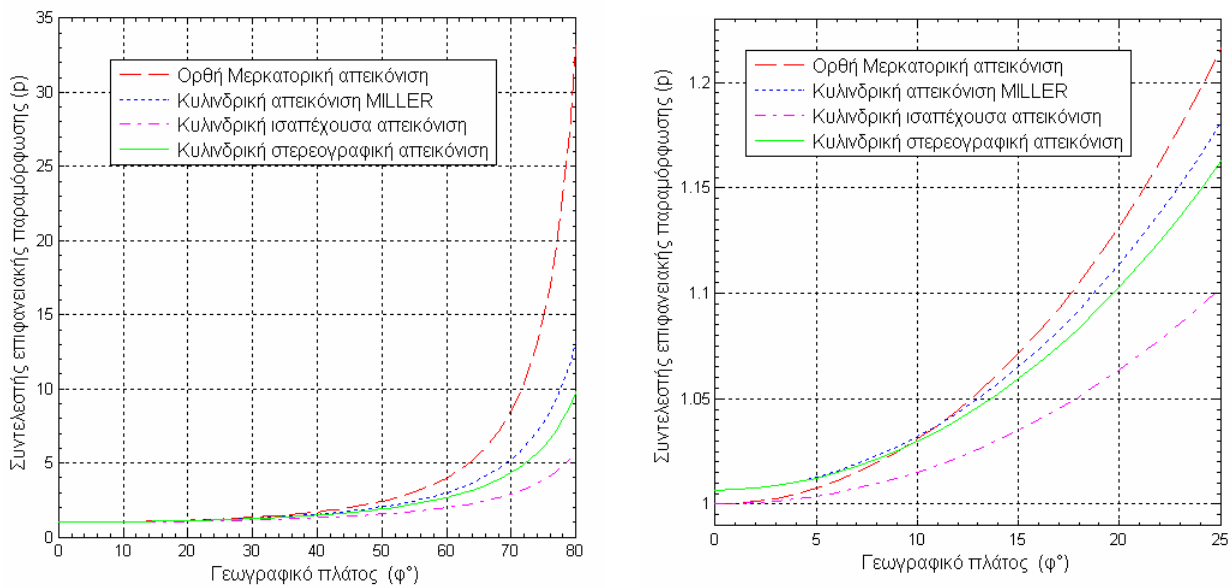
$$h_e = \frac{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}{a(1 - e^2)} h \quad k_e = \frac{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}{a \cos \varphi} k$$

όπου: h , k , είναι οι γραμμικές παραμορφώσεις στις διευθύνσεις του μεσημβρινού και του παραλλήλου για τη σφαίρα και h_e , k_e οι αντίστοιχες τιμές για το ΕΕΠ.

⁶ Για το σκοπό αυτό έγινε σύγκριση των παραμορφώσεων που υπολογίστηκαν με το λογισμικό αυτό, με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των τύπων υπολογισμού των παραμορφώσεων των εξεταζόμενων κυλινδρικών απεικονίσεων στη σφαίρα και στο ΕΕΠ. Για την κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση οι τιμές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων που υπολογίζονται με το λογισμικό Matlab/Mapping παρουσίαζαν σημαντικότερα



Σχ. 5.1: Γωνιακές παραμορφώσεις ισημερινών κυλινδρικών απεικονίσεων

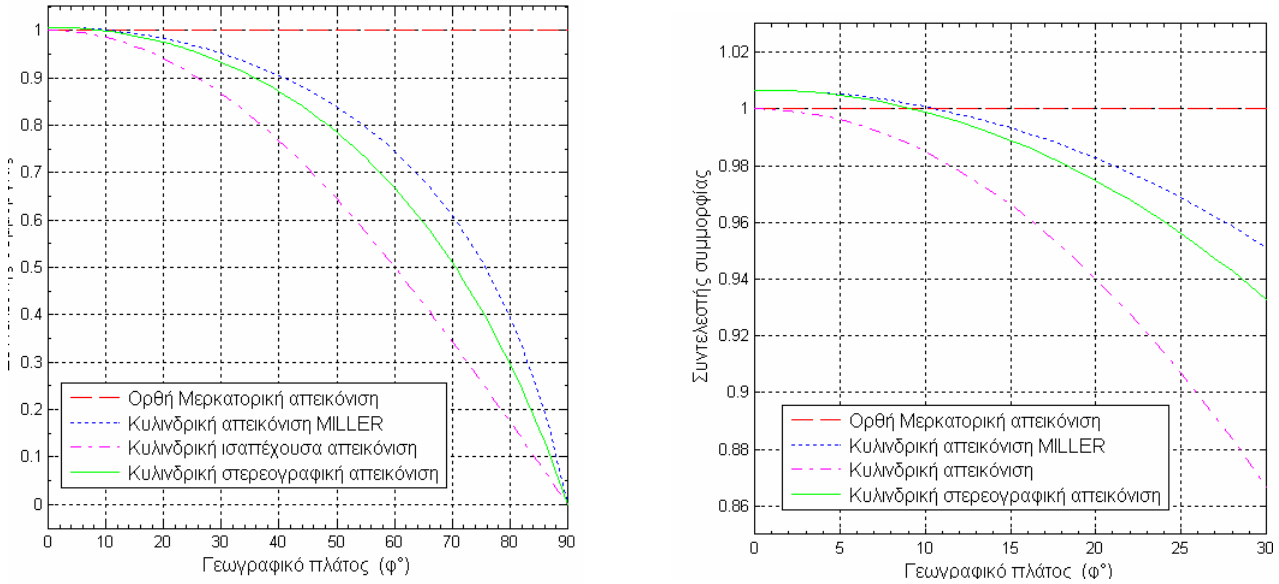


Σχ. 5.2: Επιφανειακές παραμορφώσεις ισημερινών κυλινδρικών απεικονίσεων

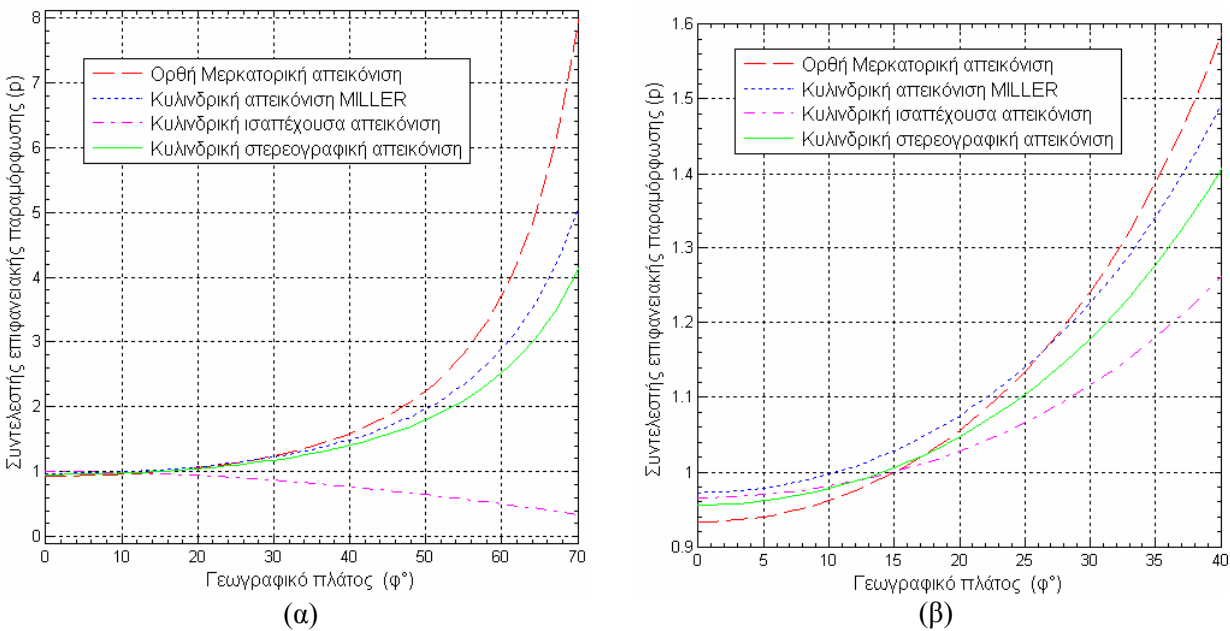
Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων, καθώς και του συντελεστή συμμορφίας c_i των εξεταζόμενων κυλινδρικών απεικονίσεων παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 5.1 καθώς και στα παρακάτω διαγράμματα:

τες διαφορές (της τάξεως των 9° για τις γωνιακές παραμορφώσεις και του 17 % για τις επιφανειακές) από τα αποτελέσματα των υπολογισμών που εκτελούνται με τους τύπους της αναλυτικής χαρτογραφίας. Οι διαφορές αυτές οφείλονταν στο ότι η τιμή της γραμμικής παραμόρφωσης στη διεύθυνση του παραλλήλου, από την οποία εξαρτώνται οι επιφανειακές και γωνιακές παραμορφώσεις, υπολογιζόταν χωρίς την απαιτούμενη αναγωγή στο γεωγραφικό πλάτος του επιλεγόμενου βασικού παραλλήλου. Το πρόβλημα αναφέρθηκε στη εταιρεία Mathworks, η οποία προέβη στην έκδοση σχετικής διόρθωσης του λογισμικού Matlab/Mapping.

- Για τις ισημερινές κυλινδρικές απεικονίσεις στα διαγράμματα των σχημάτων 5.1, 5.2 και 5.3.
- Για τις κυλινδρικές απεικονίσεις με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=15^\circ$ στα διαγράμματα των σχημάτων 5.4, 5.5 και 5.6.
- Για τις κυλινδρικές απεικονίσεις με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=30^\circ$ στα διαγράμματα των σχημάτων 5.7, 5.8 και 5.9.
- Για τις κυλινδρικές απεικονίσεις με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=45^\circ$ στα διαγράμματα των σχημάτων 5.10, 5.11 και 5.12.
- Για τις κυλινδρικές απεικονίσεις με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=60^\circ$ στα διαγράμματα των σχημάτων 5.13, 5.14 και 5.15.



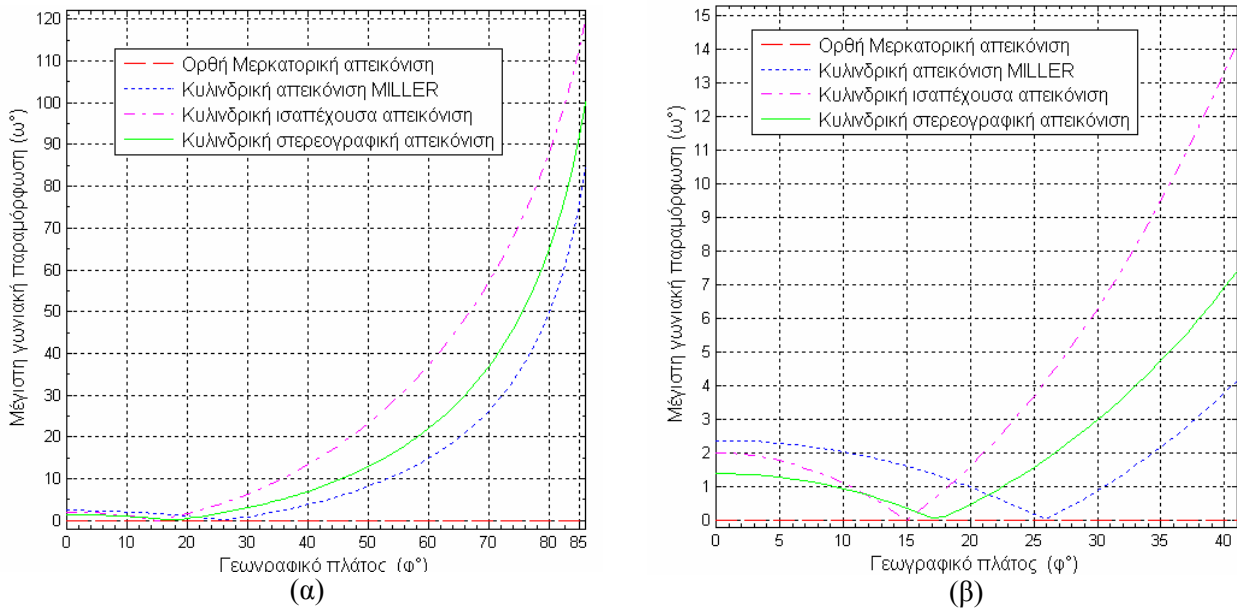
Σχ. 5.3: Συντελεστές συμμορφίας ισημερινών κυλινδρικών απεικονίσεων



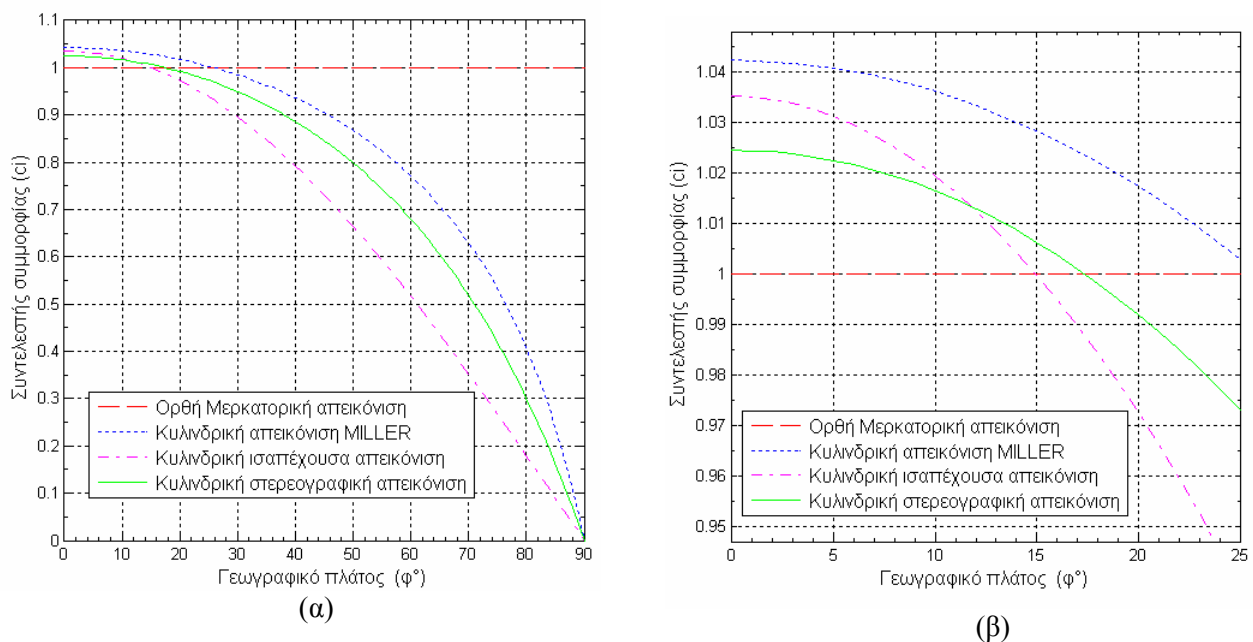
Σχ. 5.4: Επιφανειακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=15^\circ$

Οι ισ αριθμικές καμπύλες⁷ των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων για τις εξεταζόμενες τέσσερις κυλινδρικές απεικονίσεις με βασικό παράλληλο στον ισημερινό φαίνονται στους παρακάτω χάρτες του παραρτήματος ΣΤ:

- στο χάρτη του σχήματος ΣΤ-1 για τη μερκατορική ισημερινή απεικόνιση,
- στους χάρτες των σχημάτων ΣΤ-2 και ΣΤ-3 για την κυλινδρική ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση,
- στους χάρτες των σχημάτων ΣΤ-4 και ΣΤ-5 για την κυλινδρική ισημερινή απεικόνιση του Miller και
- στους χάρτες των σχημάτων ΣΤ-6 και ΣΤ-7 για την κυλινδρική ισημερινή στερεογραφική απεικόνιση.



Σχ. 5.5: Γωνιακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=15^\circ$



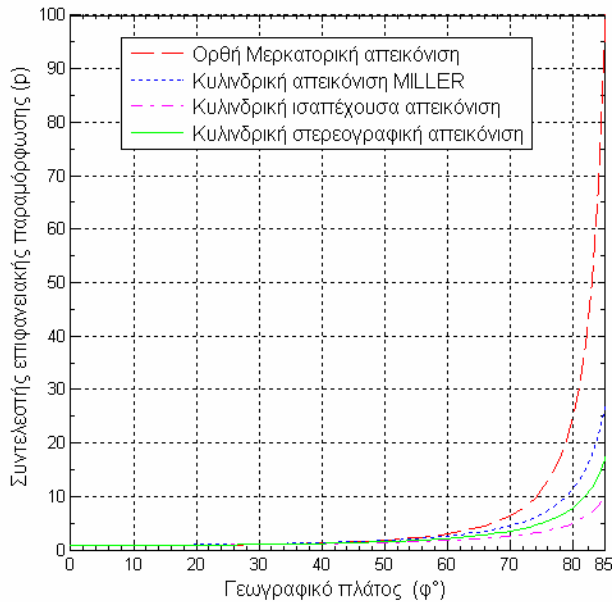
Σχ. 5.6: Συντελεστές συμμορφίας κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0 = 15^\circ$

⁷ Οι τιμές των ισ αριθμικών αυτών καμπυλών αντιστοιχούν σε διαφορές επί τοις εκατό ως προς την τιμή στο βασικό παράλληλο.

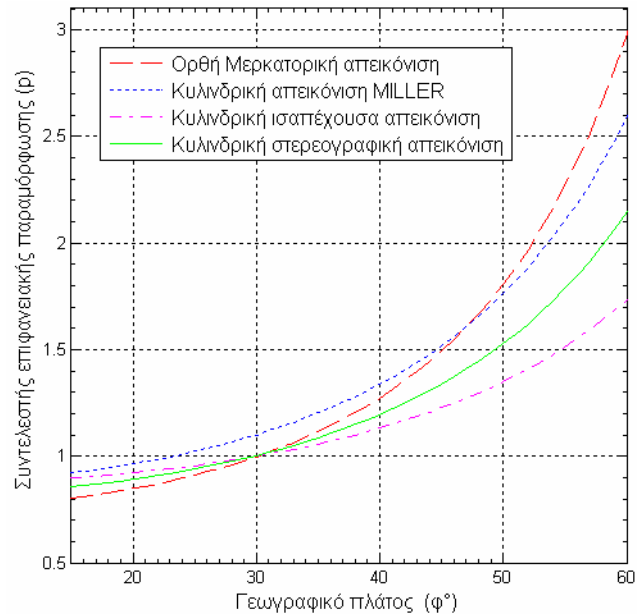
Πίνακας 5.1
Παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων (WGS-84)

φ°	Μερκατορική			Miller			Ισαπέχουσα			Στερεογραφική		
	ρ	ω°	ci	ρ	ω°	ci	ρ	ω°	ci	ρ	ω°	ci
Ισημερινές (βασικός παράλληλος σε φ ₀ =0°)												
0	1.0000	0	1	1.0067	0.38	1.0067	1.0000	0	1.0000	1.0067	0.38	1.0067
15	1.0713	0	1	1.0651	0.39	0.9933	1.0350	1.97	0.9661	1.0594	0.64	0.9888
30	1.3311	0	1	1.2704	2.87	0.9512	1.1537	8.19	0.8668	1.2418	3.98	0.9329
45	1.9933	0	1	1.7540	7.71	0.8740	1.4118	19.66	0.7083	1.6569	10.58	0.8312
60	3.9799	0	1	2.9940	16.83	0.7447	1.9950	38.81	0.5013	2.6577	22.98	0.6678
75	14.8350	0	1	7.7309	37.38	0.5146	3.8516	72.00	0.2596	6.1030	49.30	0.4114
80	32.9481	0	1	13.1394	51.58	0.3936	5.7400	89.38	0.1742	9.7517	65.81	0.2960
85	130.7715	0	1	30.6303	77.30	0.2311	11.4355	114.11	0.0874	20.9686	92.71	0.1603
βασικός παράλληλος σε φ ₀ =15°												
0	0.9330	0	1	0.9724	2.37	1.0423	0.9659	1.99	1.0353	0.9559	1.39	1.0245
15	1	0	1	1.0288	1.60	1.0283	1.0002	0.01	0.9998	1.0058	0.36	1.0063
30	1.2419	0	1	1.2271	0.88	0.9847	1.1163	6.30	0.8958	1.1790	2.98	0.9493
45	1.8598	0	1	1.6942	5.72	0.9049	1.3683	17.89	0.7308	1.5731	9.58	0.8459
60	3.7133	0	1	2.8920	14.86	0.7710	1.9367	37.20	0.5163	2.5235	22.00	0.6796
75	13.8412	0	1	7.4675	35.49	0.5328	3.7438	70.68	0.2671	5.7946	48.38	0.4187
80	30.7410	0	1	12.6917	49.79	0.4075	5.5807	88.23	0.1792	9.2590	64.97	0.3012
85	122.0115	0	1	29.5866	75.74	0.2393	11.1198	113.23	0.0899	19.9090	92.02	0.1632
βασικός παράλληλος σε φ ₀ =30°												
0	0.7500	0	1	0.8719	8.62	1.1625	0.8660	8.23	1.1547	0.8135	4.65	1.0846
15	0.8035	0	1	0.9224	7.85	1.1469	0.8968	6.24	1.1151	0.8560	3.63	1.0653
30	0.9983	0	1	1.1002	5.37	1.0983	1.0008	0.05	0.9992	1.0034	0.29	1.0051
45	1.4950	0	1	1.5190	0.53	1.0093	1.2268	11.69	0.8151	1.3388	6.32	0.8955
60	2.9849	0	1	2.5929	8.64	0.8600	1.7364	31.22	0.5759	2.1475	18.78	0.8955
75	11.1262	0	1	6.6952	29.49	0.5943	3.3566	65.49	0.2979	4.9313	45.39	0.7194
80	24.7111	0	1	11.3791	44.05	0.4545	5.0035	83.65	0.1999	7.8795	62.19	0.4432
85	98.0786	0	1	26.5266	70.72	0.2669	9.9697	109.71	0.1003	16.9429	89.72	0.3189
βασικός παράλληλος σε φ ₀ =45°												
0	0.5000	0	1	0.7119	20.14	1.4237	0.7071	19.76	1.4142	0.6076	11.15	1.2152
15	0.5357	0	1	0.7531	19.38	1.4047	0.7322	17.79	1.3657	0.6394	10.13	1.1936
30	0.6656	0	1	0.8983	16.93	1.3452	0.8172	11.55	1.2237	0.7495	6.80	1.1261
45	0.9967	0	1	1.2402	12.12	1.2361	1.0017	0.10	0.9983	1.0000	0.19	1.0034
60	1.9900	0	1	2.1171	2.97	1.0532	1.4178	19.90	0.7053	1.6041	12.33	0.8061
75	7.4175	0	1	5.4666	18.13	0.7278	2.7406	55.46	0.3649	3.6835	39.31	0.4966
80	16.4741	0	1	9.2910	33.09	0.5567	4.0853	74.70	0.2448	5.8857	56.53	0.3573
85	65.3858	0	1	21.6589	60.97	0.3269	8.1402	102.74	0.1228	12.6557	85.01	0.1936
βασικός παράλληλος σε φ ₀ =60°												
0	0.2500	0	1	0.5034	39.31	2.0135	0.5000	38.94	2.0000	0.1888	16.05	0.7551
15	0.2678	0	1	0.5325	38.58	1.9865	0.5178	37.05	1.9314	0.1986	17.06	0.7416
30	0.3328	0	1	0.6352	36.23	1.9024	0.5778	31.04	1.7306	0.2328	20.35	0.6997
45	0.4983	0	1	0.8770	31.59	1.7481	0.7083	19.66	1.4118	0.3107	26.83	0.6234
60	0.9950	0	1	1.4970	22.68	1.4895	1.0025	0.14	0.9975	0.4983	38.85	0.5008
75	3.7087	0	1	3.8654	1.65	1.0293	1.9379	37.23	0.5160	1.1443	63.80	0.3085
80	8.2370	0	1	6.5697	13.67	0.7873	2.8888	58.12	0.3462	1.8284	79.09	0.2220
85	32.6929	0	1	15.3151	43.15	0.4623	5.7560	89.49	0.1737	3.9316	103.50	0.1203

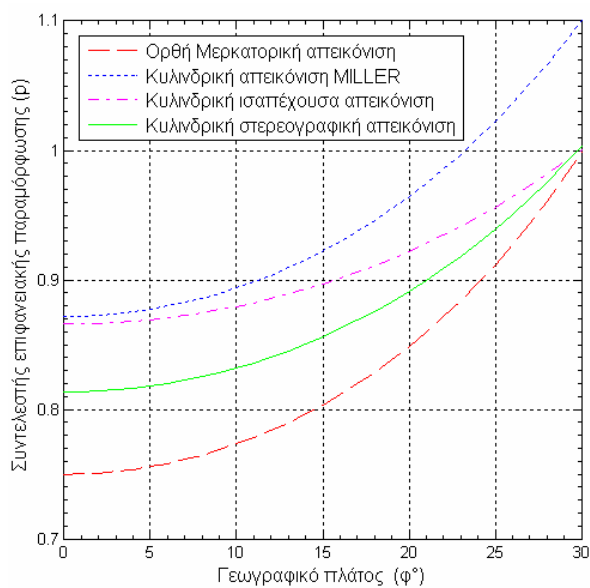
Χάρτες με τις ισarithμικές καμπύλες που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς βασικούς παραλλήλους, παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο 6, κατά την τελική αξιολόγηση των εξεταζόμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων.



(α)



(β)



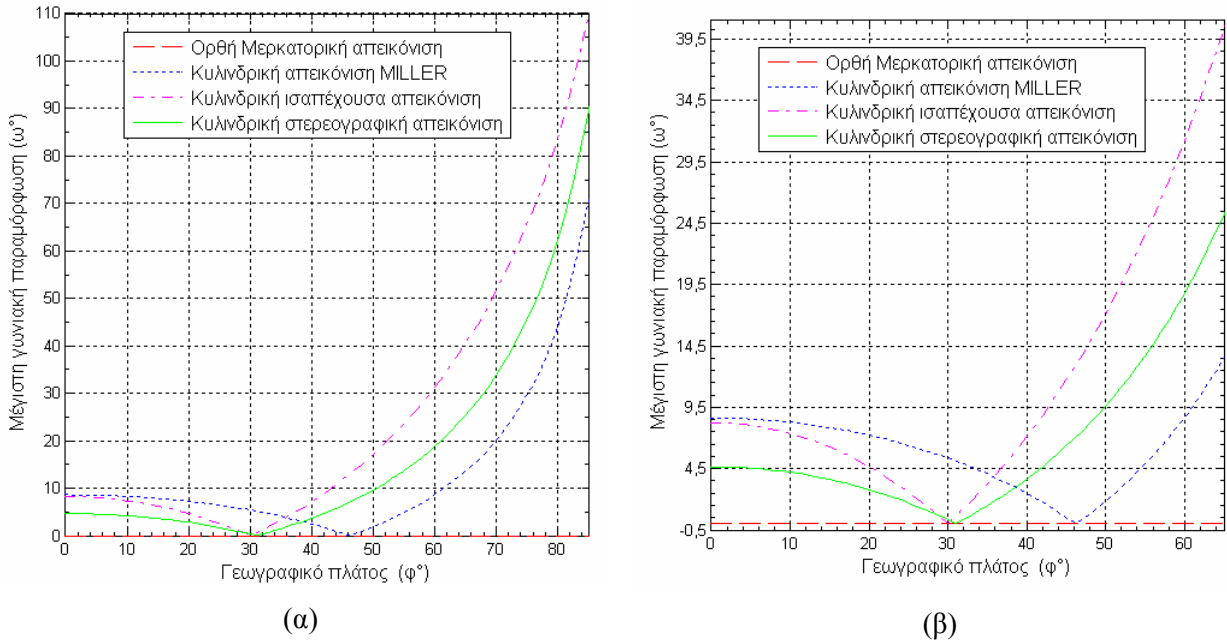
(γ)

Σχ. 5.7: Επιφανειακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0 = 30^\circ$

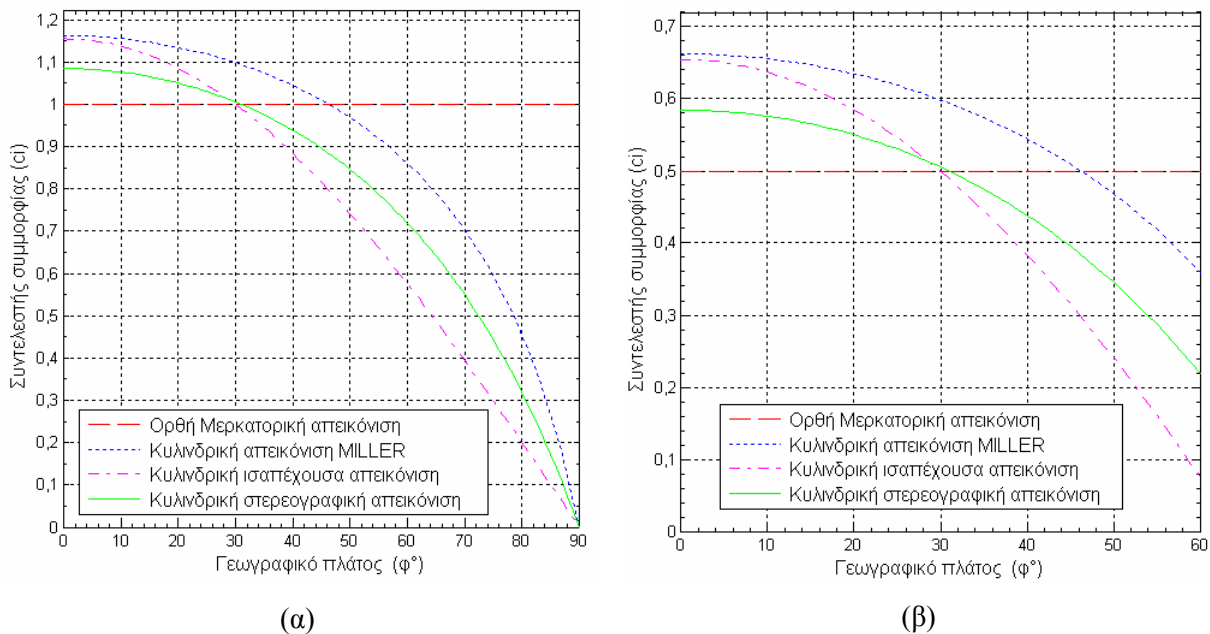
Οι χάρτες με την απεικόνιση των ισarithμικών καμπυλών των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων παρέχουν μία άμεση εποπτική εικόνα για την κατανομή των παραμορφώσεων αυτών σε μια γεωγραφική περιοχή, ή σε όλη την έκταση της υδρογείου. Στις κυλινδρικές απεικονίσεις, στις οποίες η κατανομή των παραμορφώσεων δεν εξαρτάται από το γεωγραφικό μήκος, αλλά μόνο

από το γεωγραφικό πλάτος, τα διαγράμματα κατανομής των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος, όπως αυτά που παρουσιάζονται στα σχήματα 5.1 και 5.2, παρέχουν τις ίδιες, ή και λεπτομερέστερες πληροφορίες από τους χάρτες με τις αντίστοιχες ισarithμικές καμπύλες.

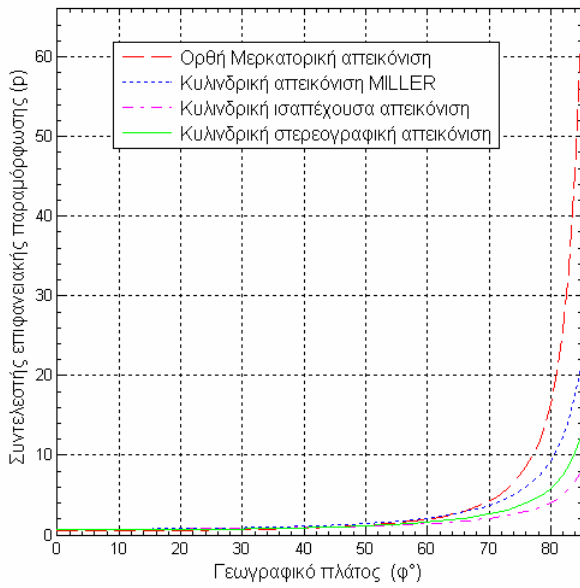
Οι διαπιστώσεις και τα συμπεράσματα από την ανάλυση των παραμορφώσεων των κυλινδρικών απεικονίσεων παρουσιάζονται στην ενότητα 5.5.



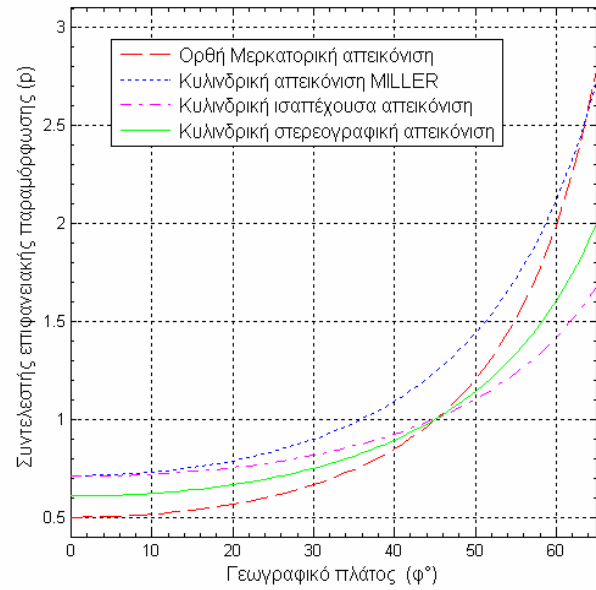
Σχ. 5.8: Γωνιακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0 = 30^\circ$



Σχ. 5.9: Συντελεστές συμμορφίας κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0 = 30^\circ$

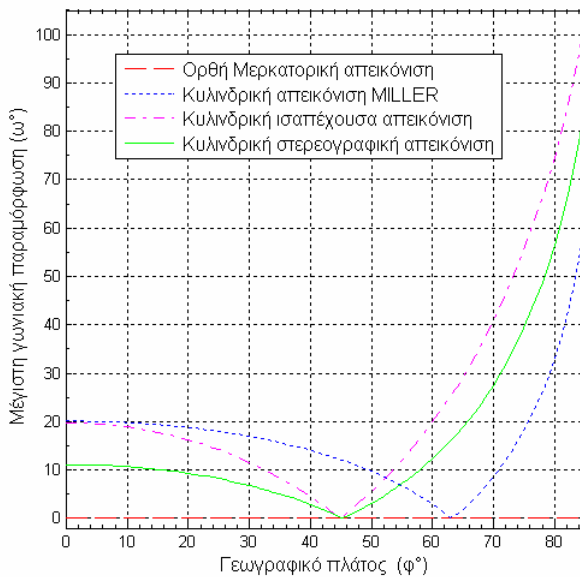


(α)

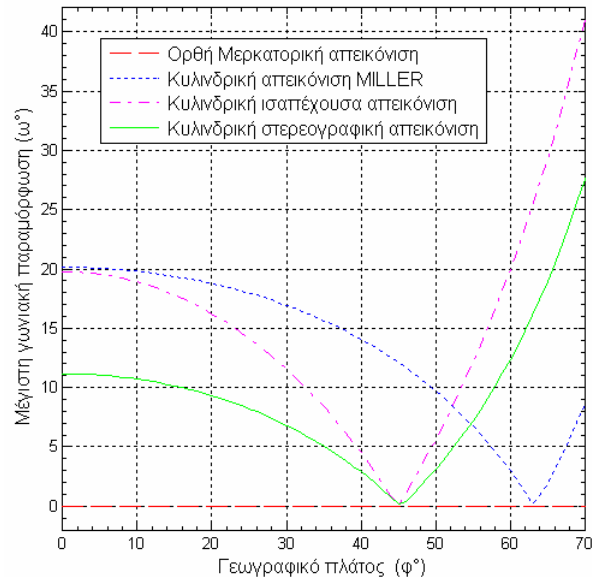


(β)

Σχ. 5.10: Επιφανειακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0 = 45^\circ$

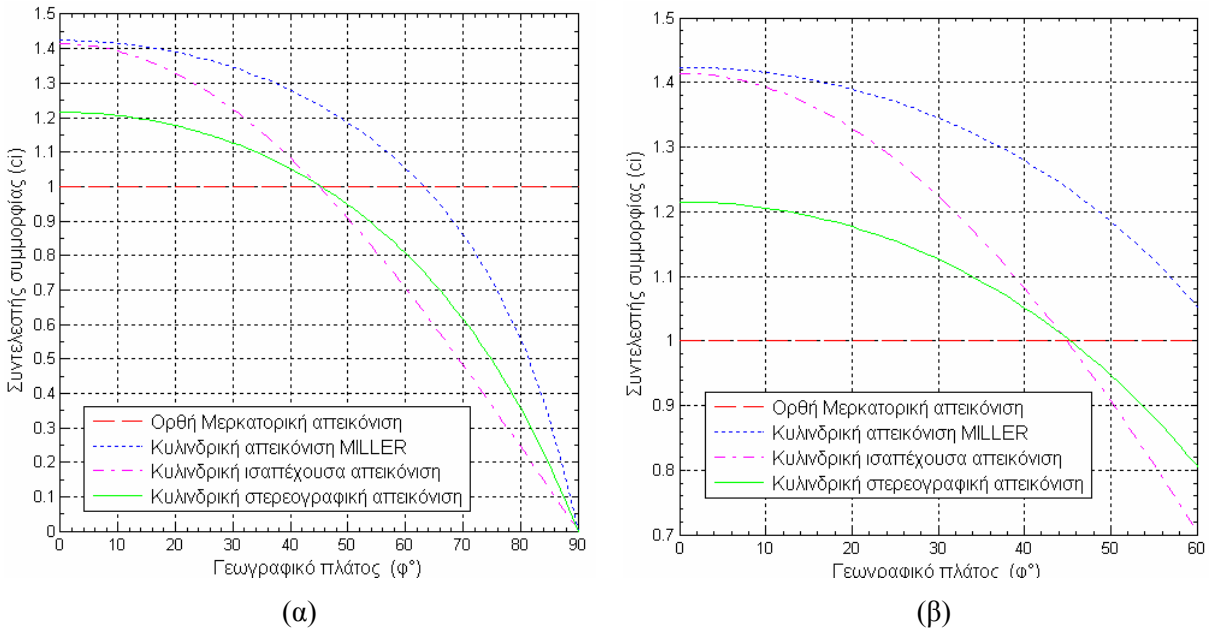


(α)

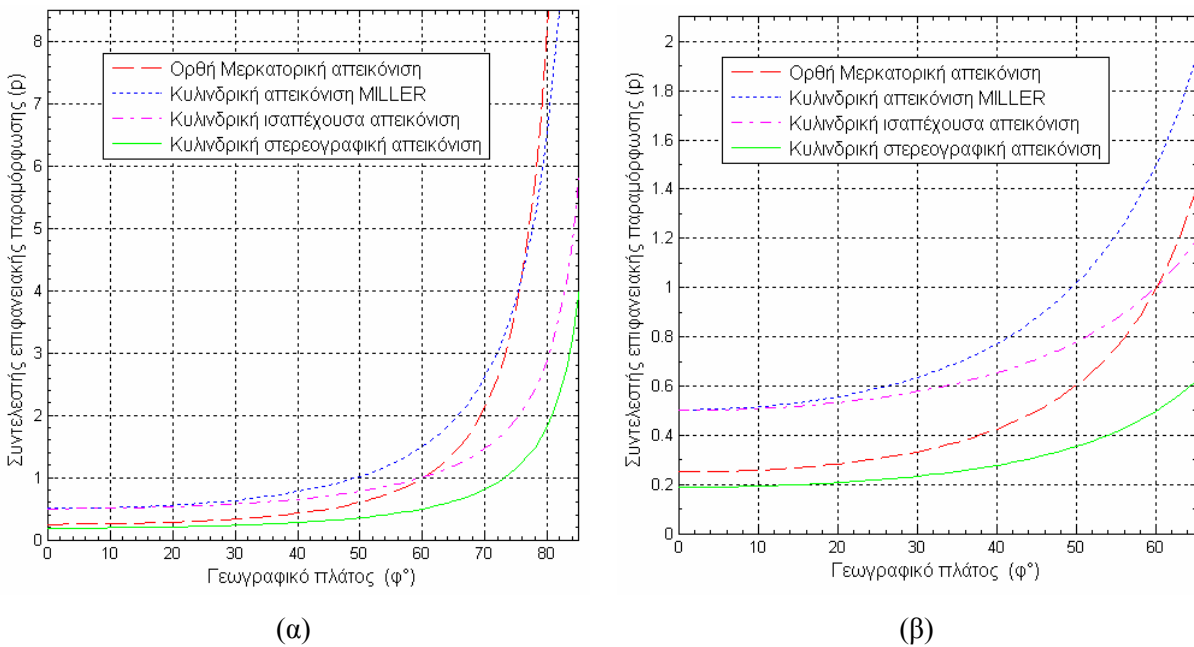


(β)

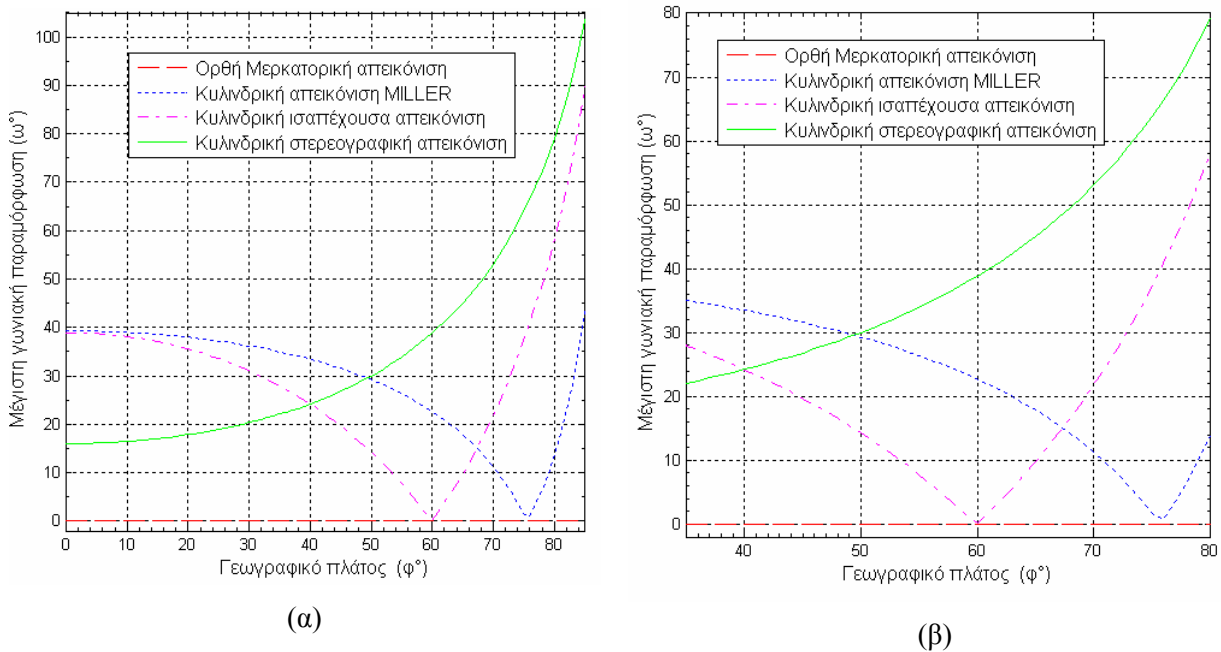
Σχ. 5.11: Γωνιακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0 = 45^\circ$



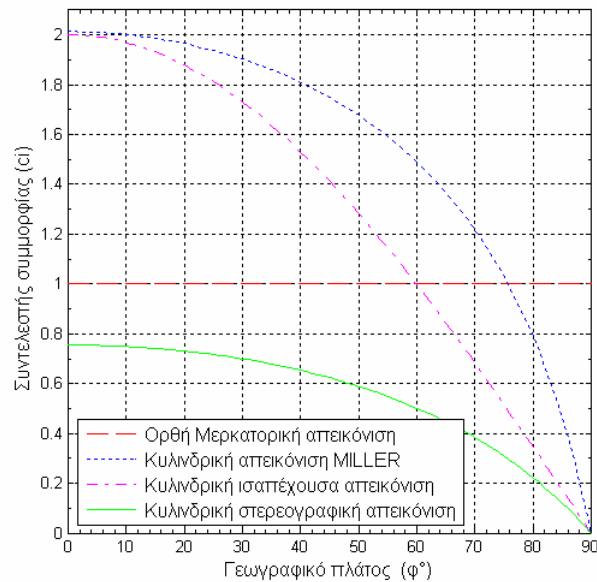
Σχ. 5.12: Συντελεστές συμμορφίας κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0 = 45^\circ$



Σχ. 5.13: Επιφανειακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0 = 60^\circ$



Σχ. 5.14: Γωνιακές παραμορφώσεις κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0 = 60^\circ$



Σχ. 5.15: Συντελεστής συμμορφίας κυλινδρικών απεικονίσεων με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0 = 60^\circ$

5.2 Υπολογισμοί παραμορφώσεων κωνικών απεικονίσεων

Σύμφωνα με την αρχική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (§ 5.4.2) επιλέχθηκαν για λεπτομερέστερη αξιολόγηση οι παρακάτω κωνικές απεικονίσεις:

- σύμμορφη κωνική απεικόνιση,
- ισοδύναμη κωνική απεικόνιση και
- ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση.

Για τον υπολογισμό και την ανάλυση των παραμορφώσεων των παραπάνω κωνικών απεικονίσεων πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων, καθώς και του συντελεστή συμμορφίας c_i για τιμές γεωδαιτικού πλάτους ανά 1° , και και στη συνέχεια εκπονήθηκαν χάρτες, στους οποίους απεικονίζονται οι αντίστοιχες ισαριθμικές καμπύλες⁸ για κάθε μια από τις αξιολογούμενες κωνικές απεικονίσεις με τους παρακάτω βασικούς παραλλήλους:

- ένας βασικός παράλληλος σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 45^\circ$,
- δύο βασικοί παράλληλοι σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1 = 36^\circ$, $\varphi_2 = 54^\circ$ και
- δύο βασικοί παράλληλοι σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1 = 40^\circ$, $\varphi_2 = 80^\circ$.

Η επιλογή των παραπάνω βασικών παραλλήλων πραγματοποιήθηκε ως εξής:

- ✓ Ο ένας βασικός παράλληλος σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 45^\circ$ επιλέχθηκε στο μέσο γεωγραφικό πλάτος των γεωγραφικών περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq |\varphi| \leq 60^\circ$) στις οποίες συνήθως χρησιμοποιούνται οι κωνικές απεικονίσεις.
- ✓ Οι δύο βασικοί παράλληλοι σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1 = 36^\circ$, $\varphi_2 = 54^\circ$ επιλέχθηκαν με την εφαρμογή του γενικού κανόνα επιλογής των βασικών παραλλήλων των κωνικών απεικονίσεων σύμφωνα με τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 (§ 4.4.2) για την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq |\varphi| \leq 60^\circ$).
- ✓ Οι δύο βασικοί παράλληλοι σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1 = 40^\circ$, $\varphi_2 = 80^\circ$ επιλέχθηκαν με την εκτέλεση πολλαπλών δοκιμαστικών υπολογισμών της κατανομής των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων για διαφορετικούς συνδυασμούς βασικών παραλλήλων με στόχο την κάλυψη γεωγραφικών περιοχών μεγαλύτερου εύρους γεωγραφικού πλάτους.

Εκτός από τους βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικά πλάτη: ($\varphi_1 = 36^\circ$, $\varphi_2 = 54^\circ$) και ($\varphi_1 = 40^\circ$, $\varphi_2 = 80^\circ$), πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί των παραμορφώσεων και για άλλες επιλογές βασικών παραλλήλων, από την ανάλυση των οποίων διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη κατανομή των παραμορφώσεων για τις καθορισθείσες για τη ναυσιπλοΐα ανοχές, παρέχεται από την ισοδύναμη και σύμμορφη κωνική απεικόνιση με βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικά πλάτη, τα οποία δεν συμπίπτουν με αυτά, τα οποία προκύπτουν από τους γενικούς κανόνες επιλογής σύμφωνα με τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 (§ 4.4.2). Το θέμα αυτό παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην ενότητα 5.5.2.

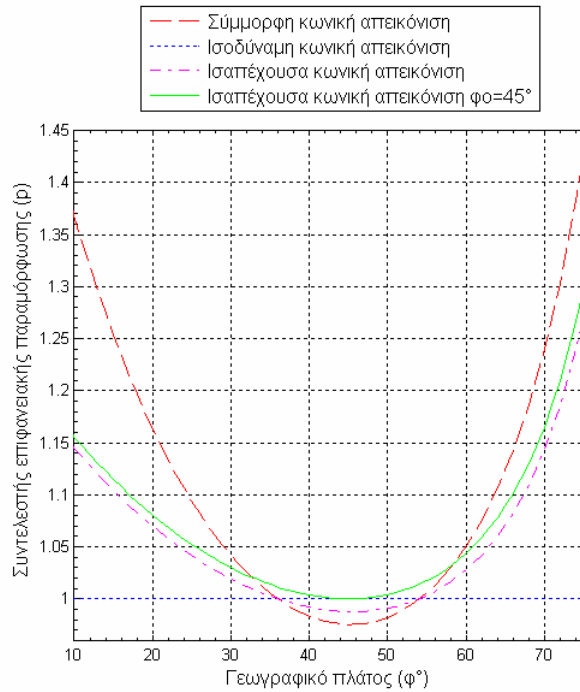
Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των παραμορφώσεων και οι χάρτες με τις ισαριθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων των αξιολογούμενων κωνικών απεικονίσεων παρουσιάζονται:

- στον πίνακα 5.2,
- στα διαγράμματα των σχημάτων 5.16 (επιφανειακές παραμορφώσεις), 5.17 (γωνιακές παραμορφώσεις) και 5.18 (συντελεστής συμμορφίας) και

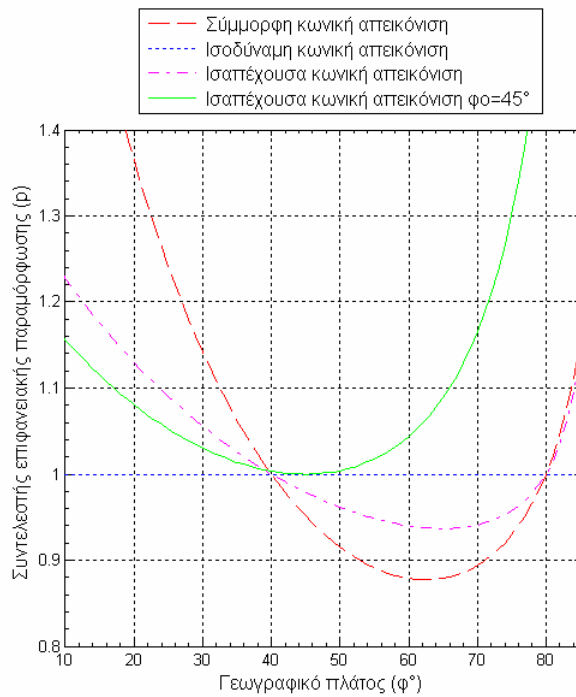
⁸ Οι χάρτες αυτοί κατασκευάστηκαν με το λογισμικό Matlab/Mapping μετά από σχετικό έλεγχο της ακρίβειας και αξιοπιστίας του. Η αξιολόγηση αυτή εκτελέστηκε με σύγκριση των αριθμητικών τιμών των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων των εξεταζόμενων κωνικών απεικονίσεων για τη σφαίρα και για διάφορα ΕΕΠ που παρουσιάζονται από τον Snyder (1987) και τους Bugayevskiy and Snyder (1998) με τις τιμές που υπολογίζονται με το λογισμικό Matlab/Mapping. Από την έρευνα αυτή διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα αυτά ταυτίζονται και συνεπώς το λογισμικό Matlab/Mapping παρέχει πολύ ικανοποιητική ακρίβεια στον υπολογισμό των παραμορφώσεων των εξεταζόμενων κωνικών απεικονίσεων.

- στους χάρτες των σχημάτων του παραρτήματος Z, στους οποίους απεικονίζονται ισαριθμικές καμπύλες της σύμμορφης, της ισοδύναμης και της ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με έναν και δύο βασικούς παράλληλους.

(α)
 Δύο βασικοί παράλληλοι σε $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$
 και ένας βασικός παράλληλος σε $\varphi_0=45^\circ$



(β)
 Δύο βασικοί παράλληλοι σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$
 και ένας βασικός παράλληλος σε $\varphi_0=45^\circ$



Σχ. 5.16: Επιφανειακές παραμορφώσεις κωνικών απεικονίσεων με διαφορετικούς βασικούς παράλληλους

Οι ισარიθμικές καμπύλες των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων για τις εξεταζόμενες κωνικές απεικονίσεις, φαίνονται στους χάρτες των παρακάτω σχημάτων του παραρτήματος Z:

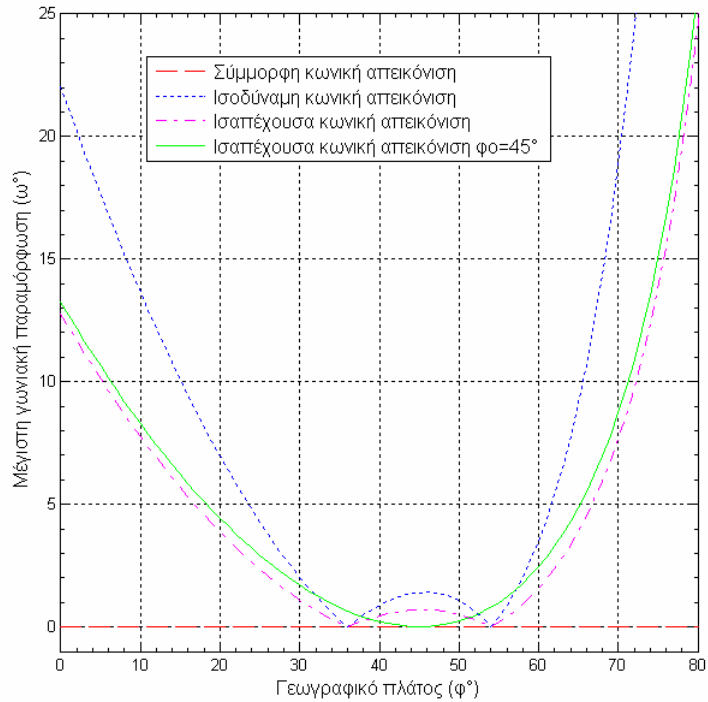
στους χάρτες των σχημάτων Z-1 έως Z-3 για τη σύμμορφη κωνική απεικόνιση,

στους χάρτες των σχημάτων Z-4 έως Z-6 για την ισοδύναμη κωνική απεικόνιση και

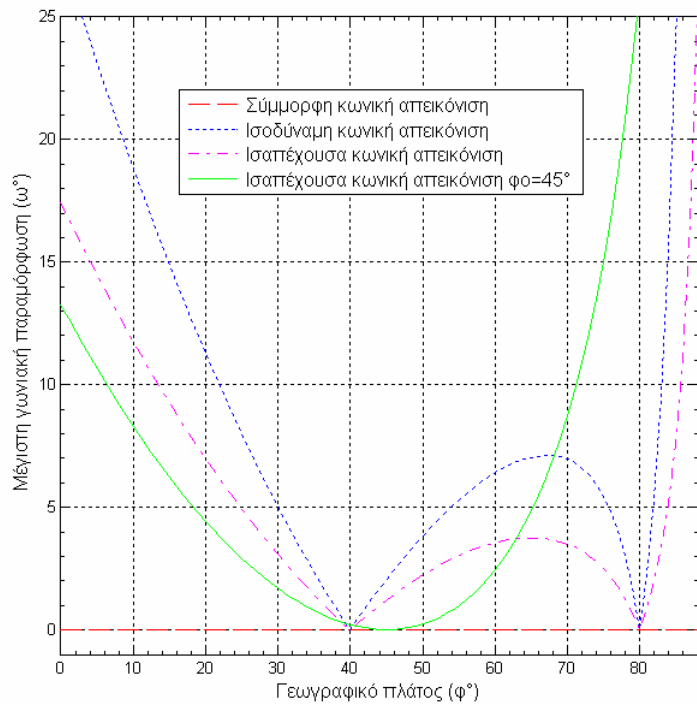
στο χάρτη του σχήματος Z-7 έως Z-12 για την ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση.

Οι διαπιστώσεις και τα συμπεράσματα από την ανάλυση των παραμορφώσεων των κωνικών απεικονίσεων παρουσιάζονται στην ενότητα 5.5.2.

(α)
 Δύο βασικοί παράλληλοι σε
 $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$
 και ένας βασικός παράλληλος
 σε $\varphi_0=45^\circ$



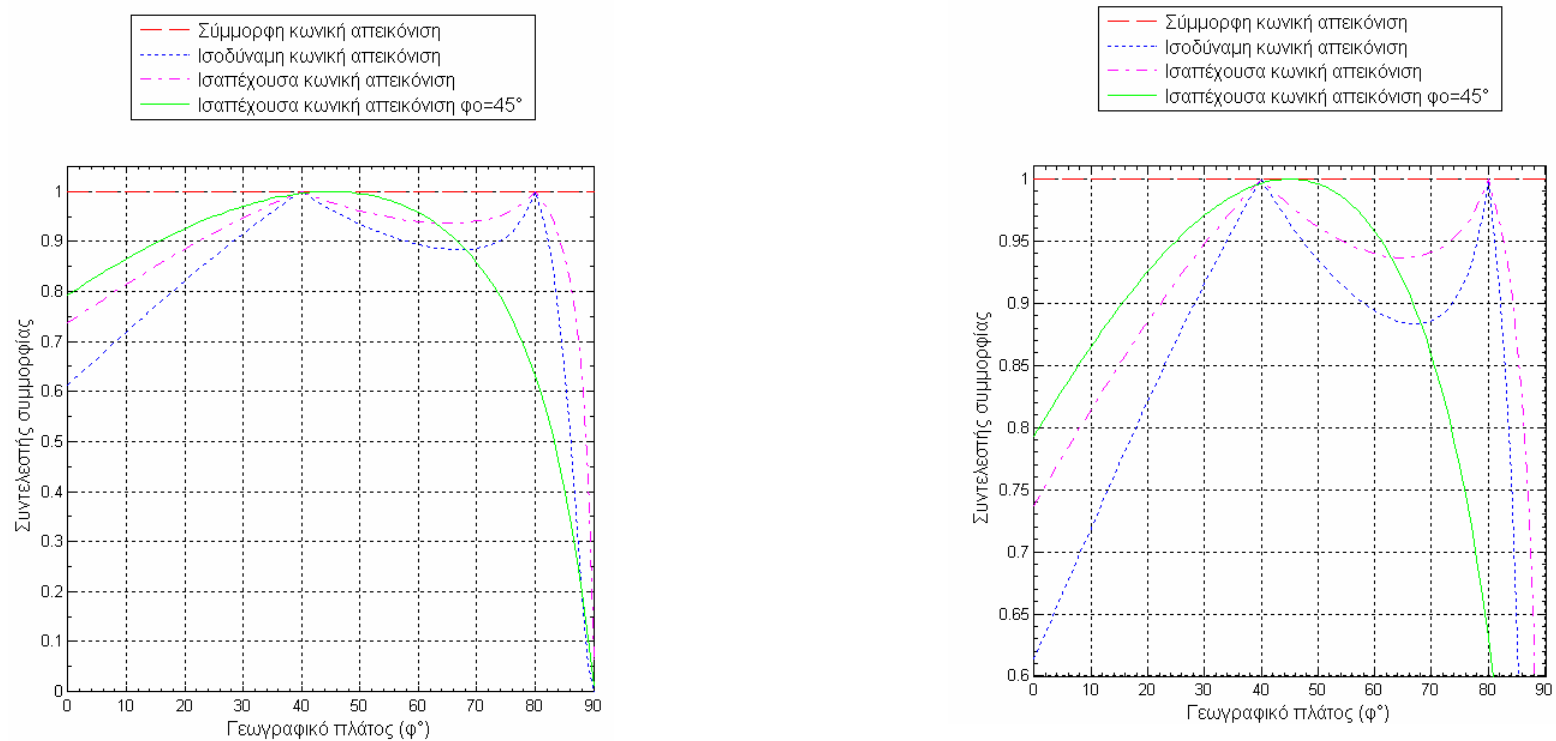
(β)
 Δύο βασικοί παράλληλοι σε
 $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$
 και ένας βασικός παράλληλος
 σε $\varphi_0=45^\circ$



Σχ. 5.17: Γωνιακές παραμορφώσεις κωνικών απεικονίσεων με διαφορετικούς βασικούς παραλλήλους

Πίνακας 5.2
Παραμορφώσεις αξιολογούμενων κωνικών απεικονίσεων (WGS-84)

φ	ένας βασικός παράλληλος φ ₀ =45°			δύο βασικοί παράλληλοι φ ₁ =36°, φ ₂ =54°			δύο βασικοί παράλληλοι φ ₁ =40°, φ ₂ =80°		
	ρ	ω (°)	ci	ρ	ω (°)	ci	ρ	ω	ci
Σύμμορφη κωνική απεικόνιση									
20°	1.1887	0	1	1.1633	0	1.0000	1.3649	0	1
30°	1.0660	0	1	1.0420	0	1.0000	1.1423	0	1
40°	1.0074	0	1	0.9835	0	1.0000	1.0000	0	1
45°	0.9999	0	1	0.9755	0	1.0000	0.9513	0	1
50°	1.0078	0	1	0.9824	0	1.0000	0.9153	0	1
60°	1.0800	0	1	1.0509	0	1.0000	0.8787	0	1
70°	1.2770	0	1	1.2394	0	1.0000	0.8938	0	1
80°	1.8383	0	1	1.7768	0	1.0000	1.0000	0	1
85°	2.7306	0	1	2.6283	0	1.0000	1.1566	0	1
Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση									
20°	1.0000	8.0°	0.8694	1.0000	7.0	0.8855	1.0000	11.3	0.8210
30°	1.0000	3.3°	0.9461	1.0000	2.0	0.9652	1.0000	5.0	0.9158
40°	1.0000	0.4°	0.9930	1.0000	0.9	0.9845	1.0000	0	1.0000
45°	1.0000	0.00°	1.0000	1.0000	1.4	0.9758	1.0000	2.1	0.9644
50°	1.0000	0.5°	0.9917	1.0000	1.1	0.9816	1.0000	3.9	0.9349
60°	1.0000	5.5°	0.9085	1.0000	3.5	0.9405	1.0000	6.4	0.8941
70°	1.0000	21,6°	0.6844	1.0000	18.7	0.7184	1.0000	7.0	0.8857
80°	1.0000	68,2°	0.2816	1.0000	64.8	0.3022	1.0000	0	1.0000
85°	1.0000	115,5°	0.0835	1.0000	113	0.0906	1.0000	24.1	0.6540
Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση									
20°	1.0804	4.4	0.9256	1.0699	3.9	0.9347	1.1299	6.7	0.8851
30°	1.0301	1.7	0.9708	1.0192	1.1	0.9811	1.0554	3.0	0.9476
40°	1.0036	0.2	0.9964	1.0000	0.5	0.9920	1.0000	0	1.0000
45°	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	0.7	0.9878	1.0000	1.2	0.9787
50°	1.0041	0.2	0.9959	1.0000	0.5	0.9910	1.0000	2.2	0.9615
60°	1.0439	0.5	0.9580	1.0280	1.6	0.9728	1.0000	3.6	0.9398
70°	1.1650	8.7	0.8584	1.1433	7.7	0.8747	1.0000	3.5	0.9408
80°	1.5837	26.1	0.6314	1.5438	24.7	0.6478	1.0000	0	1.0000
85°	2.4472	49.7	0.4086	2.3706	48	0.4218	1.1426	7.6	0.8752



Δύο βασικοί παράλληλοι σε $\phi_1=40^\circ$, $\phi_2=80^\circ$ και ένας βασικός παράλληλος σε $\phi_0=45^\circ$

Σχ. 5.18: Συντελεστής συμμορφίας κωνικών απεικονίσεων με διαφορετικούς βασικούς παράλληλους

5.3 Υπολογισμοί παραμορφώσεων αζιμουθιακών απεικονίσεων

Σύμφωνα με την προκαταρκτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (§ 4.4.3, πίνακας 4.4) οι αζιμουθιακές απεικονίσεις που επιλέχθηκαν για αναλυτικότερη αξιολόγηση είναι:

- η στερεογραφική αζιμουθιακή απεικόνιση,
- η αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση,
- η αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση,
- η γνωμονική απεικόνιση και
- η ορθογραφική απεικόνιση.

Για την αξιολόγηση των παραπάνω αζιμουθιακών απεικονίσεων ελήφθησαν υπόψη τα εξής:

- Οι αζιμουθιακές απεικονίσεις υποστηρίζονται μόνο για την απεικόνιση της σφαίρας.
- Για τη μελέτη και ανάλυση των παραμορφώσεων των αζιμουθιακών απεικονίσεων αρκεί να χρησιμοποιηθούν οι τιμές των παραμορφώσεων για την απεικόνιση της σφαίρας, δεδομένου ότι οι τιμές των παραμορφώσεων στη σφαίρα και στο ΕΕΠ δεν παρουσιάζουν καμία ουσιαστική απόκλιση (Snyder 1987 27), γεγονός που επαληθεύτηκε με σχετικούς υπολογισμούς.
- Η απεικόνιση του ΕΕΠ στο επίπεδο μπορεί να εκτελεστεί με το μετασχηματισμό του ΕΕΠ σε σφαίρα (§ 3.3) και στη συνέχεια με την απεικόνιση των σημείων της βοηθητικής αυτής σφαίρας στο επίπεδο με τις συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού της σφαίρας.

Για τον υπολογισμό και την ανάλυση των παραμορφώσεων των παραπάνω αζιμουθιακών απεικονίσεων έγινε:

- ✓ Υπολογισμός των τιμών των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων για τιμές της γωνιακής απόστασης από το σημείο επαφής ανά 1° (από 0° μέχρι 90°), για κάθε μια από τις αξιολογούμενες αζιμουθιακές απεικονίσεις και γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων με τη σχεδίαση των αντίστοιχων διαγραμμάτων.
- ✓ Εκπόνηση χαρτών, στους οποίους απεικονίζονται οι ισαριθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων για τις εξεταζόμενες ισημερινές αζιμουθιακές απεικονίσεις. Οι χάρτες αυτοί κατασκευάστηκαν με το λογισμικό Matlab/Mapping μετά από σχετικό έλεγχο της ακρίβειας και αξιοπιστίας του και διόρθωση των σφαλμάτων που εντοπίστηκαν, όπως αναφέρθηκε και στην § 3.2.4.

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των γωνιακών και των επιφανειακών παραμορφώσεων για τις εξεταζόμενες ισημερινές αζιμουθιακές απεικονίσεις παρουσιάζονται στα διαγράμματα των σχημάτων 5.19 (επιφανειακές παραμορφώσεις) και 5.20 (γωνιακές παραμορφώσεις). Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται συνοπτικά οι τιμές των παραμορφώσεων των αξιολογούμενων αζιμουθιακών απεικονίσεων για τιμές γωνιακής απόστασης ανά 5° .

Οι ισαριθμικές καμπύλες των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων για τις εξεταζόμενες τέσσερις αζιμουθιακές απεικονίσεις, φαίνονται στους χάρτες των παρακάτω σχημάτων του παραρτήματος Η:

- στους χάρτες των σχημάτων Η-1 και Η-2 για την ορθογραφική απεικόνιση,
- στους χάρτες των σχημάτων Η-3 και Η-4 για την αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση,
- στο χάρτη του σχήματος Η-5 για τη στερεογραφική απεικόνιση και
- στο χάρτη του σχήματος Η-6 για την αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση.

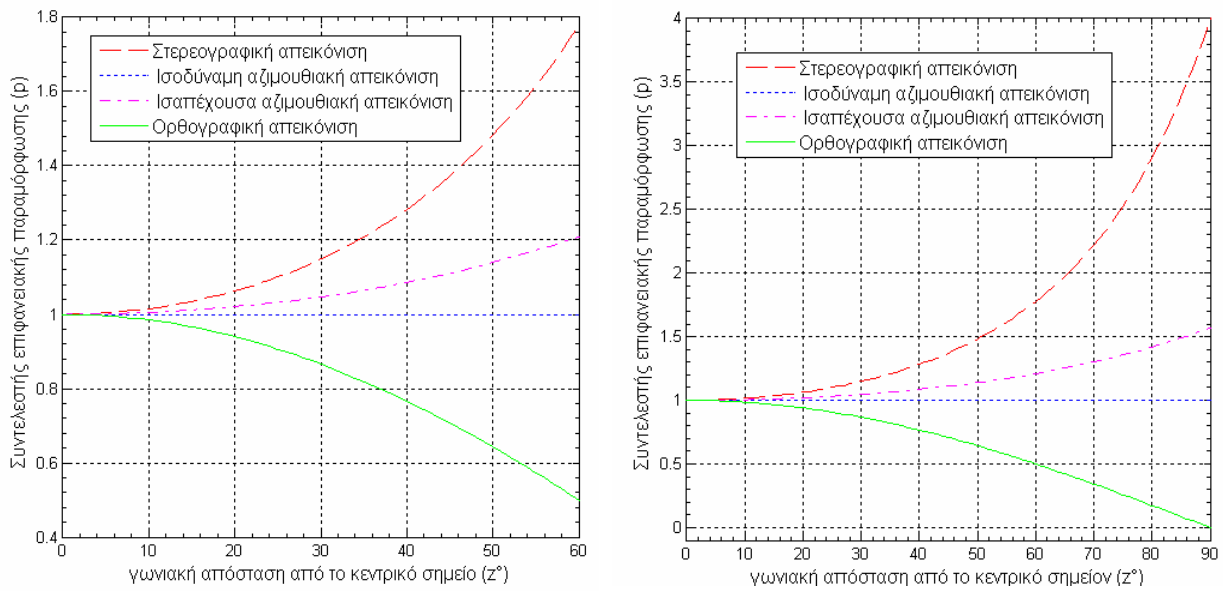
Λόγω της συμμετρίας των αξιμουθιακών απεικονίσεων ως προς το κεντρικό σημείο της απεικόνισης τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων των ισημερινών αξιμουθιακών απεικονίσεων, μπορούν να επεκταθούν και για τις πλάγιες και τις πολικές αξιμουθιακές χαρτογραφικές απεικονίσεις.

Οι διαπιστώσεις και τα συμπεράσματα από την ανάλυση των παραμορφώσεων των αξιμουθιακών απεικονίσεων παρουσιάζονται στην ενότητα 5.5.3.

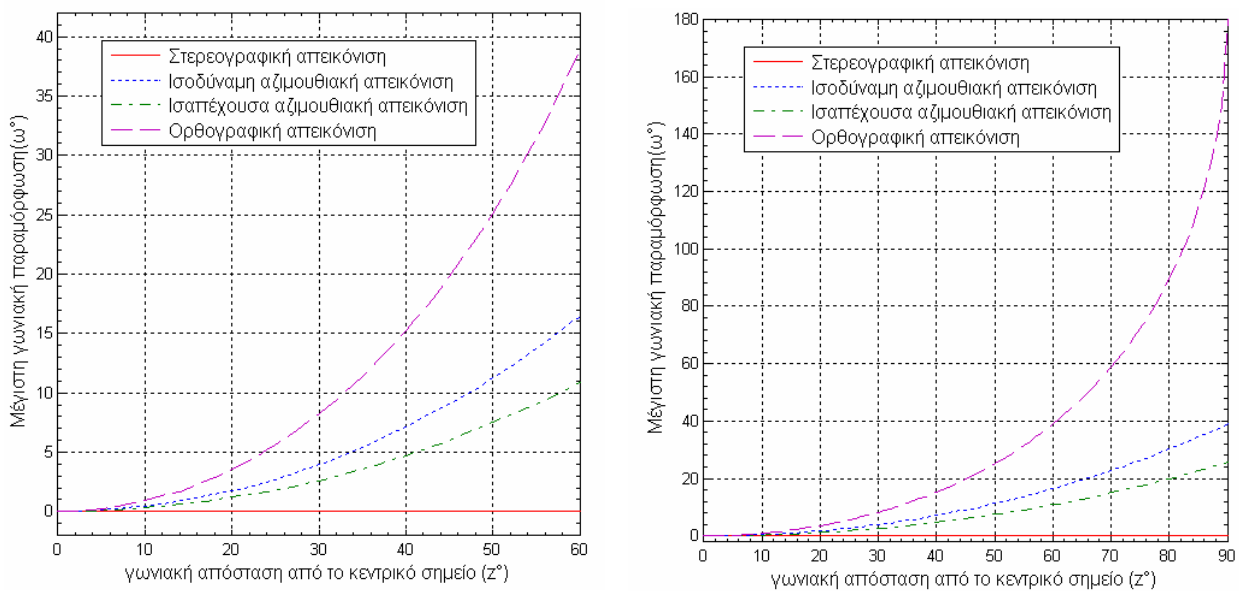
Πίνακας 5.3

Παραμορφώσεις αξιμουθιακών απεικονίσεων

z°	Στερεογραφική		Ορθογραφική		Ισοδύναμη		Ισαπέχουσα	
	p	ω°	p	ω°	p	ω°	p	ω°
0	1,0000	0	1,0000	0,0	1	0,0	1	1
5	1,0038	0	0,9962	-0,2	1	0,1	1,0013	0,1
10	1,0154	0	0,9848	-0,9	1	0,4	1,0051	0,3
15	1,0350	0	0,9659	-2,0	1	1,0	1,0115	0,7
20	1,0631	0	0,9397	-3,6	1	1,8	1,0206	1,2
25	1,1007	0	0,9063	-5,6	1	2,7	1,0325	1,8
30	1,1487	0	0,8660	-8,2	1	4,0	1,0472	2,6
35	1,2087	0	0,8192	-11,4	1	5,4	1,0650	3,6
40	1,2825	0	0,7660	-15,2	1	7,1	1,0861	4,7
45	1,3726	0	0,7071	-19,8	1	9,1	1,1107	6,0
50	1,4822	0	0,6428	-25,1	1	11,3	1,1392	7,5
55	1,6154	0	0,5736	-31,4	1	13,7	1,1719	9,1
60	1,7778	0	0,5000	-38,9	1	16,4	1,2092	10,9
65	1,9764	0	0,4226	-47,9	1	19,4	1,2517	12,8
70	2,2210	0	0,3420	-58,7	1	22,7	1,3001	15,0
75	2,5243	0	0,2588	-72,1	1	26,3	1,3552	17,3
80	2,9039	0	0,1736	-89,5	1	30,2	1,4178	19,9
85	3,3844	0	0,0872	-114,2	1	34,4	1,4892	22,7
90	4,0000	0	0,0000	-180,0	1	38,9	1,5708	25,7



Σχ. 5.19: Επιφανειακές παραμορφώσεις αζιμουθιακών απεικονίσεων



Σχ. 5.20: Γωνιακές παραμορφώσεις αζιμουθιακών απεικονίσεων στον κεντρικό μεσημβρινό

5.4 Υπολογισμοί παραμορφώσεων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων

Σύμφωνα με την προκαταρκτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο οι ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις που επιλέχθηκαν για αναλυτικότερη αξιολόγηση (§ 4.4.4, πίνακας 4.4) είναι:

- η απεικόνιση Robinson και
- η λοξιμουθιακή απεικόνιση.

Στις ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις οι τιμές των επιφανειακών παραμορφώσεων εξαρτώνται μόνο από το γεωγραφικό πλάτος (όπως και στις κυλινδρικές και κωνικές απεικονίσεις) και για το λόγο αυτό η ανάλυση των επιφανειακών παραμορφώσεων των εξεταζόμενων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων εκτελέστηκε τόσο με την κατασκευή διαγραμμάτων κατανομής των παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος, όσο και με την εκπόνηση χαρτών με τις αντίστοιχες ισαριθμικές καμπύλες.

Σε αντίθεση με τις επιφανειακές παραμορφώσεις, οι γωνιακές παραμορφώσεις των ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων μεταβάλλονται τόσο με το γεωγραφικό πλάτος, όσο και με το γεωγραφικό μήκος. Στην περίπτωση αυτή η κατασκευή διαγραμμάτων κατανομής των παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος, απαιτεί εκπόνηση διαφορετικών διαγραμμάτων για συγκεκριμένες τιμές γεωγραφικού μήκους και η μέθοδος αυτή δεν είναι ευχερής. Στην εκτελεσθείσα έρευνα η ανάλυση των γωνιακών παραμορφώσεων των αξιολογούμενων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων (απεικόνιση Robinson και λοξιμουθιακή απεικόνιση) υλοποιήθηκε κυρίως με την κατασκευή χαρτών με την απεικόνιση των αντίστοιχων ισαριθμικών καμπυλών.

Η απεικόνιση Robinson έχει την ιδιαιτερότητα ότι ο ευθύς και ο αντίστροφος χαρτογραφικός μετασχηματισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων (φ , λ) σε ορθογώνιες (x , y) δεν ορίζεται από σχέσεις της μορφής 3.1.1 έως 3.1.4 (§ 3.1.1), αλλά από πινακοποιημένες τιμές των ορθογώνιων συντεταγμένων (x , y) που παρουσιάστηκαν από το δημιουργό της απεικόνισης καθηγητή Robinson κατά το έτος 1974 (Pearson 1990 273-276). Εν τούτοις από την επεξεργασία των πινακοποιημένων τιμών της απεικόνισης Robinson έχουν αναπτυχθεί αναλυτικές σχέσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού καθώς και σχέσεις υπολογισμού των γραμμικών, επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων. Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με διάφορες μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης για παρεμβολή στις πινακοποιημένες τιμές. Μία επισκόπηση και συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται στις σχέσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού της απεικόνισης Robinson παρουσιάζονται από τον Irbucker (2004).

Η λοξιμουθιακή απεικόνιση ορίζεται με ακριβείς σχέσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού, από τις οποίες προκύπτουν αντίστοιχες σχέσεις υπολογισμού των παραμορφώσεων.

Οι πινακοποιημένες τιμές της απεικόνισης Robinson αντιστοιχούν σε δύο βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi = \pm 38^\circ$, ενώ οι συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού της λοξιμουθιακής απεικόνισης επιτρέπουν τον καθορισμό του αρχικού σημείου της απεικόνισης σε οποιονδήποτε παράλληλο πλάτους.

Ο υπολογισμός και η ανάλυση των παραμορφώσεων των δύο αξιολογούμενων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων (απεικόνιση Robinson και λοξιμουθιακή απεικόνιση) έγινε με το λογισμικό Matlab/Mapping μετά από σχετική αξιολόγηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας του που πραγματοποιήθηκε με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του λογισμικού Flex Projector (Jenny et al. 2008). Από τη σύγκριση αυτή και λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες της εκτελούμενης έρευνας (επιλογή καταλληλότερης ψευδοκυλινδρικής απεικόνισης για την απεικόνιση ολόκληρης της υδρογείου στην οθόνη των ΣΗΝΧ, διαπιστώθηκαν τα εξής:

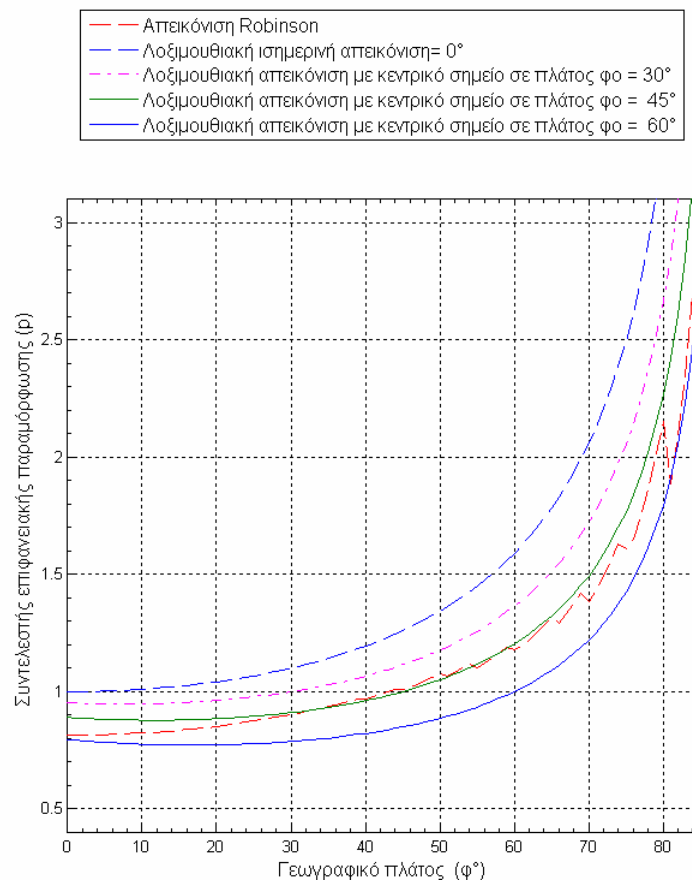
- Το λογισμικό Matlab/ Mapping παρέχει την δυνατότητα σχεδίασης των ισαριθμικών καμπυλών για όποιες τιμές επιλεγούν για το σκοπό αυτό (π.χ. 2° , 5° , 10° , 20° κλπ.), ενώ με το

Flexprojector σχεδιάζονται ισαριθμικές που αντιστοιχούν σε καθοριζόμενο σταθερό βήμα τιμών (π.χ. 5°, 10°, 15°, 20° κλπ.).

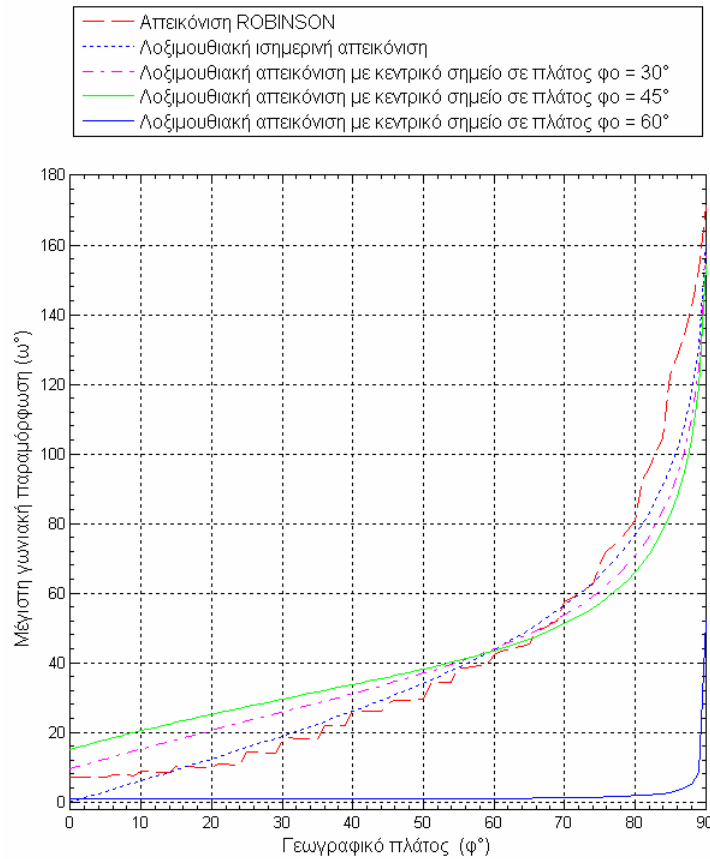
- Οι τιμές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων και η σχεδίαση των αντίστοιχων ισαριθμικών καμπυλών για τη λοξιμουθιακή απεικόνιση με το λογισμικό Matlab/ Mapping πρακτικά ταυτίζονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του λογισμικού Flex Projector.
- Για την απεικόνιση Robinson οι τιμές των επιφανειακών παραμορφώσεων που προσδιορίζονται από τα δύο λογισμικά πρακτικά ταυτίζονται.
- Για τις γωνιακές παραμορφώσεις το λογισμικό Flex Projector παρέχει πιο ομαλοποιημένες ισαριθμικές καμπύλες.
- Παρά τη διαπιστωθείσα μικρή απόκλιση των ισαριθμικών καμπυλών της γωνιακής παραμόρφωσης που σχεδιάζονται με το Matlab/Mapping από την αναμενόμενη ομαλοποιημένη μορφή, για τις ανάγκες της εκτελούμενης έρευνας η παρεχόμενη ακρίβεια του λογισμικού αυτού είναι ικανοποιητική.

Για την ανάλυση της κατανομής των παραμορφώσεων των αξιολογούμενων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων κατασκευάστηκαν:

- Διαγράμματα κατανομής των επιφανειακών παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος (Σχ. 5.21).
- Διαγράμματα κατανομής των γωνιακών παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος για τον κεντρικό μεσημβρινό (Σχ. 5.22).
- Χάρτες στους οποίους απεικονίζονται οι ισαριθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (Σχήματα Θ-1 έως Θ-12 του παραρτήματος Θ).



Σχ. 5.21: Επιφανειακές παραμορφώσεις ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων



Σχ. 5.22: Γωνιακές παραμορφώσεις ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων στον κεντρικό μεσημβρινό

Οι χάρτες με την απεικόνιση των ισαριθμικών καμπυλών γωνιακής και επιφανειακής παραμόρφωσης παρουσιάζονται:

- Για τη απεικόνιση Robinson στα σχήματα Θ-1 και Θ-2.
- Για την ισημερινή λοξιμουθιακή απεικόνιση στα σχήματα Θ-3 και Θ-4.
- Για τη λοξιμουθιακή απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=15^\circ$, στα σχήματα Θ-5 και Θ-6.
- Για τη λοξιμουθιακή απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=30^\circ$, στα σχήματα Θ-7 και Θ-8.
- Για τη λοξιμουθιακή απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=45^\circ$, στα σχήματα Θ-9 και Θ-10.
- Για τη λοξιμουθιακή απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε $\phi_0=60^\circ$, στα σχήματα Θ.11 και Θ.12.

Οι διαπιστώσεις και τα συμπεράσματα από την ανάλυση των παραμορφώσεων των ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων παρουσιάζονται στην ενότητα 5.5.4.

5.5 Ανάλυση παραμορφώσεων αξιολογούμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων

Από τη μελέτη και ανάλυση των διαγραμμάτων μεταβολής των παραμορφώσεων και των χαρτών με τις αντίστοιχες ισαριθμικές καμπύλες που κατασκευάστηκαν για τις εξετασθείσες τέσσερις ομάδες χαρτογραφικών απεικονίσεων (§ 5.1, § 5.2, § 5.3 και § 5.4) προκύπτουν σαφείς κανόνες για την επιλογή της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης κάθε ομάδας, σύμφωνα με τις καθορισθείσες για τα ΣΗΝΧ ανοχές των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων. Τα βασικά συμπεράσματα από την εκτελεσθείσα ανάλυση των παραμορφώσεων κατά κατηγορία χαρτογραφικών απεικονίσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

5.5.1 Ανάλυση παραμορφώσεων κυλινδρικών απεικονίσεων

Από την εκτελεσθείσα ανάλυση των παραμορφώσεων και των βασικών χαρακτηριστικών των τεσσάρων αξιολογούμενων κυλινδρικών απεικονίσεων (§ 5.1) και λαμβάνοντας υπόψη τις ανοχές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων στα ΣΗΝΧ (Πίνακας 4.10), προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις για τις εξεταζόμενες τέσσερις κυλινδρικές απεικονίσεις:

α. Ορθή Μερκατορική απεικόνιση

Η ορθή Μερκατορική απεικόνιση είναι σύμμορφη και συνεπώς δεν εμφανίζει γωνιακές παραμορφώσεις ($c_1 = 1, \omega = 0$). Ο συντελεστής κλίμακας στη διεύθυνση των παραλλήλων πλάτους (k) ισούται με το συντελεστή κλίμακας στη διεύθυνση του μεσημβρινού (h) [$h = k = \sec\varphi$]. Ο συντελεστής επιφανειακής παραμόρφωσης p αυξάνεται σημαντικά με το γεωγραφικό πλάτος ($p = \sec^2\varphi$). Για τη συνηθισμένη ισημερινή μορφή σε γεωγραφικό πλάτος 60° δημιουργείται επιφανειακή παραμόρφωση 400% περίπου (ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο ΕΕΠ).

Από την ανάλυση των διαγραμμάτων μεταβολής των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων και των χαρτών με τις ισαριθμικές καμπύλες του παραρτήματος ΣΤ, προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις για τις επιφανειακές παραμορφώσεις της Μερκατορικής απεικόνισης.

- Για την ισημερινή μορφή (με ένα βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 0^\circ$): Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από -19° έως 19° περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 15^\circ$: Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από -24° έως 24° περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 30^\circ$: Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 12° έως 35° περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 45^\circ$: Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 41° έως 48° περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 60^\circ$: Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 58° έως 61.5° περίπου.

β. Κυλινδρική απεικόνιση Miller

Για τη συνηθισμένη ισημερινή μορφή, η κυλινδρική απεικόνιση Miller έχει τα επόμενα βασικά χαρακτηριστικά:

- Δεν είναι ούτε σύμμορφη ούτε ισοδύναμη.
- Είναι ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς.
- Ο συντελεστής κλίμακας στη διεύθυνση των παραλλήλων πλάτους αυξάνει με το γεωγραφικό πλάτος, αλλά λιγότερο από ότι στη μερκατορική απεικόνιση.
- Οι συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού παρέχουν τη δυνατότητα απεικόνισης πολικών περιοχών με τους δύο πόλους να απεικονίζονται με γραμμές παράλληλες προς τον ισημερινό.

Από την αναλυτική μελέτη των διαγραμμάτων μεταβολής των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων και των χαρτών με τις ισαριθμικές καμπύλες του παραρτήματος ΣΤ, προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις για την κατανομή των παραμορφώσεων της κυλινδρικής απεικόνισης Miller.

- Για την ισημερινή μορφή (με ένα βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 0^\circ$):
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 53^\circ$ περίπου. Οι επιφανειακές παραμορφώσεις της κυλινδρικής απεικόνισης Miller για αυτό το εύρος γεωγραφικών πλάτους [$0^\circ \pm 53^\circ$] κυμαίνονται από $-0,7$

- % (σε πλάτος 0°) έως 125,6 % (σε πλάτος 53°). Για την ορθή μερκατορική απεικόνιση η επιφανειακή παραμόρφωση σε πλάτος 53° είναι 175% περίπου.
- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 20,5^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι η επιφανειακή παραμόρφωση για την ισημερινή Μερκατορική απεικόνιση στο πλάτος $20,5^\circ$ είναι 13,9% .
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 20,5^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$:
- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 56^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=15^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση στο πλάτος 56° είναι 143,95% για την απεικόνιση Miller και 197,3% για τη μερκατορική απεικόνιση.
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 23,5^\circ$ περίπου. Η επιφανειακή παραμόρφωση της μερκατορικής απεικόνισης με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=15^\circ$ στο πλάτος $23,5^\circ$ είναι 10,9% περίπου.
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 23,5^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=30^\circ$:
- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 63,5^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=30^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση για την απεικόνιση Miller είναι -12,8% στον ισημερινό και 307,5% στο πλάτος $63,5^\circ$. Για τη μερκατορική με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι -25 % στον ισημερινό και 274,7% στο πλάτος $63,5^\circ$.
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 4° έως 31° περίπου. Επισημαίνεται ότι για γεωγραφικά πλάτη από 0° έως 4° , η απόκλιση των επιφανειακών παραμορφώσεων είναι της τάξεως του 13%, δηλαδή μόνο 1% επιπλέον από την επιθυμητή τιμή.
 - Από τις παραπάνω διαπιστώσεις προκύπτει ότι πρακτικά η κυλινδρική απεικόνιση Miller καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 31^\circ$ περίπου (μόνο με επιφανειακή παραμόρφωση 1% περίπου επιπλέον από την επιθυμητή τιμή, δηλαδή 13 % αντί 12 %).
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0 = 45^\circ$:
- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 45° έως 72° περίπου. Οι επιφανειακές παραμορφώσεις σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη (45° και 72°) είναι 24% και 327,3% αντιστοίχως. Για τη μερκατορική απεικόνιση με τον ίδιο βασικό παράλληλο οι επιφανειακές παραμορφώσεις είναι -0,3 % σε πλάτος 45° και 420,4% σε πλάτος 72° .
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από $28,5^\circ$ έως 41° περίπου.
 - Δεν καλύπτει ταυτόχρονα και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως).

- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=60^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από $69,5^\circ$ έως $79,5^\circ$ περίπου. Οι επιφανειακές παραμορφώσεις σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη ($69,5^\circ$ και $79,5^\circ$) είναι 152,9 % και 517,2% αντιστοίχως. Για την μερκατορική απεικόνιση με τον ίδιο βασικό παράλληλο οι επιφανειακές παραμορφώσεις είναι 102.6 % σε πλάτος $69,5^\circ$ και 647,9 % σε πλάτος $79,5^\circ$.
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 45° έως 53° περίπου.
 - Δεν καλύπτει ταυτόχρονα και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως).

γ. Κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση

Η κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση έχει τα επόμενα βασικά χαρακτηριστικά:

- Η απεικόνιση είναι γεωμετρική.
- Δεν είναι ούτε σύμμορφη ούτε ισοδύναμη
- Οι συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού παρέχουν τη δυνατότητα απεικόνισης πολικών περιοχών με τους δύο πόλους να απεικονίζονται με γραμμές παράλληλες προς τον ισημερινό.

Από την αναλυτική μελέτη των διαγραμμάτων μεταβολής των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων και των χαρτών με τις ισარიθμικές καμπύλες του παραρτήματος ΣΤ, προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις για την κατανομή των παραμορφώσεων της κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης.

- Για την ισημερινή μορφή (με ένα βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=0^\circ$):
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 47,5^\circ$ περίπου. Οι επιφανειακές παραμορφώσεις της ισημερινής κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης για αυτό το εύρος γεωγραφικού πλάτους [$0^\circ \pm 47,5^\circ$] κυμαίνονται από 0,67% (σε πλάτος 0°) έως 76,6 % (σε πλάτος $47,5^\circ$). Για την ορθή μερκατορική απεικόνιση η επιφανειακή παραμόρφωση σε πλάτος $47,5^\circ$ είναι 118,3 % περίπου.
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 21,5^\circ$ περίπου. Για την ορθή μερκατορική απεικόνιση η επιφανειακή παραμόρφωση σε πλάτος $21,5^\circ$ είναι 15,4 % περίπου.
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 21,5^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 48,5^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=15^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση της κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης είναι -4,4 % στον ισημερινό και 72,2 % στο πλάτος $48,5^\circ$. Για τη μερκατορική με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι -6,7% στον ισημερινό και 111,7 % στο πλάτος $48,5^\circ$.
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από -26° έως 26° περίπου.
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 26^\circ$ περίπου.

- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=30^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 53^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=30^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση της κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης είναι $-18,9\%$ στον ισημερινό και $67,3\%$ στο πλάτος 53° . Για τη μερκατορική απεικόνιση με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι -25% στον ισημερινό και $106,2\%$ στο πλάτος 53° .
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 18° έως $36,5^\circ$ περίπου.
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 18° έως $36,5^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=45^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 59,5^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=45^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση της κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης είναι $-39,2\%$ στον ισημερινό και 57% στο πλάτος $59,5^\circ$. Για τη μερκατορική με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι -50% στον ισημερινό και $93,1\%$ στο πλάτος $59,5^\circ$.
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 39° έως $49,5^\circ$ περίπου.
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από $39,5^\circ$ έως $49,5^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=60^\circ$:
 - Δεν καλύπτει τις ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°).
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από $71,5^\circ$ έως $74,5^\circ$ περίπου.

δ. Κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση

Η κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση⁹ έχει τις απλούστερες σχέσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού ($x=\lambda\cos\varphi$, $y=\varphi$) και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται εύκολα σε διάφορες εφαρμογές απόδοσης στατιστικών δεδομένων σε περιβάλλον ΣΓΠ.

Από την αναλυτική μελέτη των διαγραμμάτων μεταβολής των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων και των χαρτών με τις ισαριθμικές καμπύλες του παραρτήματος ΣΤ, προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις για την κατανομή των παραμορφώσεων της κυλινδρικής ισαπέχουσας απεικόνισης:

- Για την ισημερινή μορφή (με ένα βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=0^\circ$):
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από -0° έως $\pm 36^\circ$ περίπου. Οι επιφανειακές παραμορφώσεις της ισημερινής ισαπέχουσας κυλινδρικής απεικόνισης για αυτό το εύρος γεωγραφικού πλάτους [$0^\circ \pm 36^\circ$] κυμαίνονται από 0% (σε πλάτος 0°) έως $23,5\%$ (σε πλάτος 36°). Για την ισημερινή μερκατορική απεικόνιση η επιφανειακή παραμόρφωση σε πλάτος 36° είναι $52,4\%$ περίπου.

⁹ Η κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση είναι γνωστή και με τις ονομασίες: «τετραγωνική απεικόνιση» (plate carré), για την ισημερινή μορφή, στην οποία το δίκτυο των μεσημβρινών και παραλλήλων σχηματίζει τετράγωνα και «ορθογώνια παραλληλόγραμμη απεικόνιση» για άλλους βασικούς παραλλήλους, οπότε το δίκτυο των μεσημβρινών και παραλλήλων σχηματίζει ορθογώνια παραλληλόγραμμα.

- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από -0° έως $\pm 27^\circ$ περίπου.
- Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από -0° έως $\pm 27^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 38,5^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=15^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση της ισαπέχουσας κυλινδρικής απεικόνισης είναι $-3,4\%$ στον ισημερινό και $23,6\%$ στο πλάτος $38,5^\circ$. Για τη μερκατορική με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι περίπου $-6,7\%$ στον ισημερινό και 52% στο πλάτος $38,5^\circ$.
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 20,5^\circ$ περίπου.
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από -0° έως $\pm 30,5^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=30^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 45^\circ$ περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=30^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση της ισαπέχουσας κυλινδρικής απεικόνισης είναι $-13,4\%$ στον ισημερινό και $22,7\%$ στο πλάτος 45° . Για τη μερκατορική με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι -25% στον ισημερινό και $49,5\%$ στο πλάτος 45° .
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 10° έως 39° περίπου. Επισημαίνεται ότι για τα γεωγραφικά πλάτη μικρότερα από 10° η απόκλιση των επιφανειακών παραμορφώσεων λαμβάνει τη μέγιστη τιμή $-13,4\%$ στον ισημερινό.
 - Από τις διαπιστώσεις αυτές προκύπτει ότι πρακτικά η κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 39^\circ$ περίπου (μόνο με επιφανειακή παραμόρφωση $1,4\%$ περίπου επιπλέον από την επιθυμητή μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του 12%).
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=45^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 29° έως 55° περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=45^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση της ισαπέχουσας κυλινδρικής απεικόνισης είναι $-19,1\%$ στο πλάτος 29° και $23,6\%$ στο πλάτος 55° . Για τη μερκατορική με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι $-34,7\%$ στο πλάτος 29° και $51,3\%$ στο πλάτος 55° .
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 36° έως $50,5^\circ$ περίπου.
 - Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 36° έως $50,5^\circ$ περίπου.
- Για βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=60^\circ$:
 - Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γεωγραφικά πλάτη από 52° έως 66° περίπου. Επισημαίνεται ότι με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=60^\circ$ η επιφανειακή παραμόρφωση της ισαπέχουσας κυλινδρικής απεικόνισης είναι $-18,6\%$ στο πλάτος 52° και

23,3 % στο πλάτος 66°. Για τη μερκατορική με τον ίδιο βασικό παράλληλο η επιφανειακή παραμόρφωση είναι -34,3 % στο πλάτος 52° και 50,3 % στο πλάτος 66°.

- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γεωγραφικά πλάτη από 55,5° έως 63,5° περίπου.
- Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γεωγραφικά πλάτη από 55,5° έως 63,5° περίπου.

5.5.2 Ανάλυση παραμορφώσεων κωνικών απεικονίσεων

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 5.2, για την αξιολόγηση των κωνικών απεικονίσεων εκτελέστηκαν πολλαπλές δοκιμές επιλογής διαφορετικών βασικών παραλλήλων και ανάλυση των αντίστοιχων παραμορφώσεων σε συνδυασμό με τις καθορισθείσες μέγιστες επιτρεπόμενες ανοχές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων στα ΣΗΝΧ (12° και 12% αντιστοίχως).

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την επιλογή των καταλληλότερων βασικών παραλλήλων των κωνικών απεικονίσεων προέκυψαν οι παρακάτω διαπιστώσεις.

Ο γενικός κανόνας για την καλύτερη επιλογή των βασικών παραλλήλων των κωνικών απεικονίσεων σύμφωνα με τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 (κεφ. 4) δεν ισχύει για τις χρησιμοποιούμενες στην εκτελεσθείσα έρευνα ανοχές των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων (10° και 12% αντιστοίχως). Η διαπίστωση αυτή προκύπτει από τα επόμενα αριθμητικά παραδείγματα.

Η καλύτερη κατανομή των παραμορφώσεων για τις καθορισθείσες για τη ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ ανοχές, παρέχεται από την ισοδύναμη και σύμμορφη κωνική απεικόνιση με βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$, τα οποία δεν συμπίπτουν με αυτά, τα οποία προκύπτουν από τους γενικούς κανόνες επιλογής σύμφωνα με τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 (§ 4.4.2).

Για τη σύμμορφη κωνική απεικόνιση η βέλτιστη κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων επιτυγχάνεται με την επιλογή δύο βασικών παραλλήλων για την κάλυψη γεωγραφικών περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq |\varphi| \leq 60^\circ$) σύμφωνα με τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 με τιμή του συντελεστή k της σχέσης 4.4.3 ίση με 1/5 που χρησιμοποιείται συνήθως για τις σύμμορφες κωνικές απεικονίσεις (Bugayevskiy and Snyder 1998). Με τον τρόπο αυτό η επιλογή των δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$ παρέχει περιορισμό των επιφανειακών παραμορφώσεων της σύμμορφης κωνικής απεικόνισης σε επίπεδα μικρότερα του 12% για γεωγραφικές περιοχές με εύρος γεωγραφικού πλάτους από 23° έως 64°.

Για τη σύμμορφη κωνική απεικόνιση επιτυγχάνεται ικανοποιητική κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη με την επιλογή δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$. Οι βασικοί αυτοί παράλληλοι είναι διαφορετικοί από αυτούς που προκύπτουν από τις σχέσεις 4.4.1 έως 5.4.3 με τιμή του συντελεστή k της σχέσης 4.4.3 ίση με 1/6, που χρησιμοποιείται συνήθως για τις ισοδύναμες κωνικές απεικονίσεις (Snyder 1987). Με αυτή την επιλογή των δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$ περιορίζονται οι επιφανειακές παραμορφώσεις της σύμμορφης κωνικής απεικόνισης σε επίπεδα μικρότερα του 12° για γεωγραφικές περιοχές με εύρος γεωγραφικού πλάτους από 39° έως 83°.

Για την ισοδύναμη κωνική απεικόνιση η βέλτιστη κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων επετεύχθη με την επιλογή δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$. Οι βασικοί αυτοί παράλληλοι είναι διαφορετικοί από αυτούς που προκύπτουν από τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 με τιμή του συντελεστή k της σχέσης 4.4.3 ίση με 1/6, που χρησιμοποιείται συνήθως για τις ισοδύναμες κωνικές απεικονίσεις (Snyder 1987). Με αυτή την επιλογή των δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$ περιορίζονται οι γωνιακές παραμορφώσεις της ισοδύναμης κωνικής απεικόνισης σε επίπεδα μικρότερα του 12° για γεωγραφικές περιοχές με εύρος γεωγραφικού πλάτους από 19° έως 83°.

Για την ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση η βέλτιστη κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων επετεύχθη με την επιλογή δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$. Οι βασικοί αυτοί παράλληλοι είναι διαφορετικοί από αυτούς που προκύπτουν από τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 με τιμή του συντελεστή k της σχέσης 4.4.3 ίση με $1/4$, που χρησιμοποιείται συνήθως για τις ισοδύναμες κωνικές απεικονίσεις (Maling 1973). Με αυτή την επιλογή των δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$ περιορίζονται οι γωνιακές παραμορφώσεις της ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης σε επίπεδα μικρότερα του 12° για γεωγραφικές περιοχές με εύρος γεωγραφικού πλάτους από 22° έως 84° .

Στην εκτελεσθείσα έρευνα η επιλογή των βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$ για τον περιορισμό των παραμορφώσεων εντός των ορίων των καθορισθέντων ανοχών (12° και 12% αντιστοίχως) σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση πραγματοποιήθηκε εμπειρικά με την εκτέλεση πολλαπλών δοκιμών επιλογής διαφορετικών βασικών παραλλήλων και την ανάλυση των αντίστοιχων παραμορφώσεων για επίτευξη ακρίβειας της τάξεως $\pm 1^\circ$ και $\pm 2\%$. Για εφαρμογές που απαιτούν εργασίες χαρτομετρίας είναι δυνατή η επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας με τη χρησιμοποίηση αναλυτικών μεθόδων. Στην παρούσα έρευνα ο περιορισμός των παραμορφώσεων αποσκοπεί στην αποφυγή οπτικά εντοπίσιμων, ή έντονων αλλοιώσεων της πραγματικότητας και για το σκοπό αυτό η ακρίβεια της τάξεως $\pm 1^\circ$ για τις γωνιακές παραμορφώσεις και $\pm 2\%$ για τις επιφανειακές είναι επαρκής.

Η επιλογή των βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$ για τον περιορισμό των παραμορφώσεων εντός των ορίων των καθορισθέντων για τα ΣΗΝΧ ανοχών, αφορά την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους, σε μικρές κλίμακες απεικόνισης. Για μεγαλύτερες κλίμακες και ανάλογα με τη γεωγραφική θέση της απεικονιζόμενης περιοχής είναι δυνατό να επιλεγούν βασικοί παράλληλοι, οι οποίοι για συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές περιορίζουν τις γωνιακές και τις επιφανειακές παραμορφώσεις σε τιμές μικρότερες από τις καθορισθείσες για τη ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ ανοχές (12° και 12% αντιστοίχως). Το πρόβλημα της επιλογής της καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης με την καλύτερη δυνατή ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων κατά γεωγραφική περιοχή και κλίμακα εξετάζεται στο κεφάλαιο 6.

5.5.3 Ανάλυση παραμορφώσεων αζιμουθιακών απεικονίσεων

Οι γωνιακές και επιφανειακές παραμορφώσεις των αζιμουθιακών χαρτογραφικών απεικονίσεων μεταβάλλονται ανάλογα με τη γωνιακή απόσταση από το κεντρικό σημείο της απεικόνισης και συνεπώς στις αζιμουθιακές απεικονίσεις οι ισαριθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων έχουν τη μορφή ομόκεντρων κύκλων με κέντρο το κεντρικό σημείο. Για το λόγο αυτό τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των χαρτών με τις ισαριθμικές καμπύλες των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων των ισημερινών αζιμουθιακών απεικονίσεων, ισχύουν και για τις πλάγιες και τις πολικές αζιμουθιακές χαρτογραφικές απεικονίσεις.

Από την ανάλυση των διαγραμμάτων των σχημάτων 5.19 και 5.20 και των χαρτών με τις ισαριθμικές των σχημάτων του παραρτήματος Θ, σε συνδυασμό με τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων για ΣΗΝΧ (10° και 12% αντιστοίχως), προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις για τις εξεταζόμενες τέσσερις αζιμουθιακές απεικονίσεις:

Αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση:

- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γωνιακή απόσταση 63° περίπου από το κεντρικό σημείο.
- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γωνιακή απόσταση 47° περίπου από το κεντρικό σημείο.

- Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (10° και 12% αντιστοίχως) σε γωνιακή απόσταση 47° περίπου από το κεντρικό σημείο.

Αξιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση: Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γωνιακή απόσταση $51,5^\circ$ περίπου από το κεντρικό σημείο.

Αξιμουθιακή στερεογραφική απεικόνιση: Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γωνιακή απόσταση 27° από το κεντρικό σημείο.

Ορθογραφική απεικόνιση:

- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών παραμορφώσεων (12°) σε γωνιακή απόσταση 36° περίπου από το κεντρικό σημείο.
- Καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) σε γωνιακή απόσταση 28° περίπου από το κεντρικό σημείο.
- Καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) σε γωνιακή απόσταση 28° περίπου από το κεντρικό σημείο.

5.5.4 Ανάλυση παραμορφώσεων ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 5.4, η ανάλυση των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων των ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων πραγματοποιείται κυρίως με τη βοήθεια των χαρτών του παραρτήματος Θ, στους οποίους απεικονίζονται οι αντίστοιχες ισარიθμικές καμπύλες. Από την ανάλυση των χαρτών αυτών και των διαγραμμάτων κατανομής των επιφανειακών παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος (Σχ. 5.21) και των γωνιακών παραμορφώσεων στη διεύθυνση του κεντρικού μεσημβρινού (Σχ. 5.22), σε συνδυασμό με τις μέγιστες επιθυμητές ανοχές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων για ΣΗΝΧ (10° και 12% αντιστοίχως), προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις:

Η κατανομή των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων της απεικόνισης Robinson και της λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο στον ισημερινό είναι παραπλήσιες με μικρή υπεροχή της απεικόνισης Robinson. Εν τούτοις η λοξιμουθιακή απεικόνιση έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα έναντι της απεικόνισης Robinson:

- Η λοξιμουθιακή απεικόνιση ορίζεται με ακριβείς συναρτήσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού αντί των πινακοποιημένων τιμών της απεικόνισης Robinson (§ 6.4), γεγονός που επιτρέπει:
 - την ευχερέστερη υλοποίηση της απεικόνισης σε περιβάλλον ΣΗΝΧ, χωρίς να απαιτείται η χρήση των εξειδικευμένων μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης που απαιτούνται για την υλοποίηση της απεικόνισης Robinson και
 - την ευχερή προσαρμογή της λοξιμουθιακής απεικόνισης σε διαφορετικούς παραλλήλους πλάτους, ώστε σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές να επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή των παραμορφώσεων ως προς τις παραμορφώσεις της απεικόνισης Robinson (σχήματα Θ-1 έως Θ-2 παραρτήματος Θ).
- Η λοξιμουθιακή απεικόνιση έχει τη βασική για τη ναυσιπλοΐα ιδιότητα να απεικονίζει στο κεντρικό της σημείο όλες τις λοξοδρομικές γραμμές στη σωστή διεύθυνση.

Λόγω των ανωτέρω πλεονεκτημάτων της λοξιμουθιακής απεικόνισης και παρά το γεγονός ότι για κεντρικό σημείο στον ισημερινό η απεικόνιση Robinson παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη κατανομή των επιφανειακών και των γωνιακών παραμορφώσεων, η καταλληλότερη ψευδοκυλινδρική απεικόνιση για ΣΗΝΧ κρίνεται η λοξιμουθιακή.

5.6 Σύνοψη συμπερασμάτων, σχόλια και προτάσεις κεφαλαίου 5

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε υπολογισμός και ανάλυση των παραμορφώσεων επιλεγμένων χαρτογραφικών απεικονίσεων, οι οποίες ανήκουν στις επόμενες τέσσερες ομάδες: κυλινδρικές (§ 5.1, § 5.5.1), κωνικές (§ 5.2, § 5.5.2), αζιμουθιακές (§ 5.3, § 5.5.3), και ψευδοκυλινδρικές (§ 5.4, § 5.5.4). Η επιλογή των χαρτογραφικών απεικονίσεων από κάθε ομάδα για πιθανή χρήση σε ΣΗΝΧ έγινε κατά την προκαταρκτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (§ 4.4).

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτελεσθείσα στο παρόν κεφάλαιο ανάλυση των παραμορφώσεων των αξιολογούμενων χαρτογραφικών απεικονίσεων σε συνδυασμό με τις επιθυμητές ανοχές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων για ΣΗΝΧ συνοψίζονται στα εξής:

Για την ομάδα των κυλινδρικών απεικονίσεων:

- Η ορθή Μερκατορική απεικόνιση καλύπτει τις επιθυμητές ανοχές των επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 12\%$) στο μέγιστο δυνατό εύρος γεωγραφικών πλατών, από -24° έως 24° περίπου, όταν χρησιμοποιηθεί βασικός παράλληλος σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$.
- Η κυλινδρική απεικόνιση Miller πρακτικά καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων στο μέγιστο δυνατό εύρος γεωγραφικών πλατών από 0° έως $\pm 31^\circ$ περίπου, όταν χρησιμοποιηθεί βασικός παράλληλος σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=30^\circ$. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται σε περιοχές κοντά στον ισημερινό ($\varphi < 4^\circ$) επιφανειακή παραμόρφωση 1% περίπου επιπλέον από την επιθυμητή τιμή, δηλαδή 13% αντί 12% .
- Η κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις των επιθυμητών μέγιστων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (12° και 12% αντιστοίχως) στο μέγιστο δυνατό εύρος γεωγραφικών πλατών από 0° έως $\pm 26^\circ$ περίπου, όταν χρησιμοποιηθεί βασικός παράλληλος σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$.
- Η κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση καλύπτει πρακτικά και τις δύο απαιτήσεις των μέγιστων επιτρεπόμενων γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων σε γεωγραφικά πλάτη από 0° έως $\pm 39^\circ$ περίπου (μόνο με επιφανειακή παραμόρφωση $1,4\%$ περίπου επιπλέον από την επιθυμητή μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του 12%).

Για την ομάδα των κωνικών απεικονίσεων:

Από τις αξιολογηθείσες τρεις κωνικές απεικονίσεις η ισαπέχουσα παρέχει την καλύτερη κατανομή γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων σε σχέση με την ισοδύναμη και τη σύμμορφη, για οποιαδήποτε επιλογή βασικών παραλλήλων. Για την απεικόνιση αυτή, όπως και για τις άλλες κωνικές απεικονίσεις που αξιολογήθηκαν, η επιλογή δύο βασικών παραλλήλων σε γεωγραφικά πλάτη: $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$ παρέχει καλύτερη κατανομή των παραμορφώσεων σε σχέση με τις καθορισθείσες για τη ναυσιπλοΐα ανοχές (§ 4.6.2), παρά το γεγονός ότι οι παράλληλοι αυτοί δεν αντιστοιχούν σε αυτούς που προκύπτουν από τους γενικούς κανόνες επιλογής σύμφωνα με τις σχέσεις 4.4.1 έως 4.4.3 (§ 4.4.2).

Για την ομάδα των αζιμουθιακών απεικονίσεων:

Από τις αξιολογηθείσες τέσσερις αζιμουθιακές απεικονίσεις (στερεογραφική, ορθογραφική, ισαπέχουσα και ισοδύναμη) η ισαπέχουσα παρέχει την καλύτερη κατανομή γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων. Εκτός από την καλύτερη κατανομή γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων η ισαπέχουσα αζιμουθιακή απεικόνιση έχει το πλεονέκτημα της απεικόνισης περιοχών με έκταση σημαντικά μεγαλύτερη από ένα ημισφαίριο της επιφάνειας της γης.

Για την ομάδα των ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων:

Από τις αξιολογηθείσες δύο απεικονίσεις (απεικόνιση Robinson και λοξιμουθιακή απεικόνιση), η καταλληλότερη για ΣΗΝΧ είναι η λοξιμουθιακή γιατί παρουσιάζει τα επόμενα πλεονεκτήματα:

- ορίζεται με απλές συναρτήσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού αντί των πινακοποιημένων τιμών της απεικόνισης Robinson,
- προσαρμόζεται εύκολα σε διαφορετικούς βασικούς παραλλήλους, ώστε για συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές να επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή των παραμορφώσεων ως προς τις παραμορφώσεις της απεικόνισης Robinson και
- έχει τη βασική για τη ναυσιπλοΐα ιδιότητα να απεικονίζει όλες τις λοξοδρομικές γραμμές στο κεντρικό σημείο στη σωστή διεύθυνση.

Επιλογή χαρτογραφικών απεικονίσεων για τελική αξιολόγηση

Από την εκτελεσθείσα ανάλυση των παραμορφώσεων των τεσσάρων ομάδων χαρτογραφικών απεικονίσεων που εξετάστηκαν στο παρόν κεφάλαιο (§ 5.5), προσδιορίστηκαν οι καταλληλότερες απεικονίσεις κάθε ομάδας, οι οποίες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4

Χαρτογραφικές απεικονίσεις για τελική αξιολόγηση και επιλογή σύμφωνα με τα ειδικά για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ κριτήρια

<ul style="list-style-type: none">– Ορθή Μερκατορική– Συμβατική κυλινδρική του Miller– Κυλινδρική στερεογραφική (δύο περιπτώσεις) με βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=30^\circ$ και σε $\varphi_0=45^\circ$– Κωνική ισαπέχουσα με βασικούς παραλλήλους $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$– Αξιμουθιακή ισαπέχουσα– Λοξιμουθιακή

Για την τελική επιλογή της κατά περίπτωση καταλληλότερης χαρτογραφικής απεικόνισης για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ απαιτείται αναλυτικότερη αξιολόγηση των επτά (7) απεικονίσεων του πίνακα 5.4, σύμφωνα με τα κριτήρια και τις παραμέτρους που καθορίστηκαν στο κεφάλαιο 4 (περιοχή και κλίμακα απεικόνισης, μορφή απεικονιζόμενης περιοχής κλπ.). Η αξιολόγηση αυτή παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο 6.

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΗΝΧ

6.1 Βασικές αρχές και διαδικασία επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ

Η επιλογή των πλέον κατάλληλων χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ υλοποιήθηκε σύμφωνα με τα ειδικά για το σκοπό αυτό κριτήρια επιλογής που καθορίστηκαν στο κεφάλαιο 4 με σκοπό την ικανοποίηση των επόμενων απαιτήσεων:

- Ελαχιστοποίηση των τιμών και έλεγχος της κατανομής των παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλοιώσεις της πραγματικότητας.
- Πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου.
- Δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης, ή ισοδύναμα: απεικόνιση των μεσημβρινών και παραλλήλων με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες.

Η αρχική επιλογή χαρτογραφικών απεικονίσεων για πιθανή χρήση σε ΣΗΝΧ έχει ήδη εκτελεστεί στα προηγούμενα κεφάλαια 4 και 5 σε τρία διαδοχικά στάδια ως εξής:

Στάδιο 1^ο: Επιλογή χαρτογραφικών απεικονίσεων που θα αξιολογηθούν για ενδεχόμενη χρήση σε ΣΗΝΧ (κεφάλαιο 4). Η επιλογή αυτή στηρίχτηκε στη συγκριτική μελέτη των βασικών χαρακτηριστικών (μέγεθος και κατανομή παραμορφώσεων, μορφή των γραμμών της ορθοδρομίας/λοξοδρομίας και των μεσημβρινών/παραλλήλων) του συνόλου των χαρτογραφικών απεικονίσεων που παρουσιάζονται στα κυριότερα συγγράμματα της αναλυτικής χαρτογραφίας (Maling, 1973), (Snyder and Voxland 1989), (Bugayevskiy and Snyder 1998). Με τη συγκριτική αυτή μελέτη επιλέχθηκαν για αξιολόγηση δεκαοκτώ (18) απεικονίσεις.

Στάδιο 2^ο: Αξιολόγηση των δεκαοκτώ (18) απεικονίσεων που επιλέχθηκαν στο 1^ο στάδιο. Για την αξιολόγηση αυτή εκπονήθηκαν σαράντα έξι (46) ειδικοί χάρτες¹, στους οποίους απεικονίζονται ελλείψεις παραμόρφωσης και επιλεγμένα δρομολόγια πλου για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση². Από την αξιολόγηση των δεκαοκτώ (18) αυτών απεικονίσεων επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτικότερη αξιολόγηση δεκαπέντε (15), από τις οποίες πέντε (5) κυλινδρικές, τρεις (3) κωνικές, πέντε αζιμουθιακές (5) και δύο (2) ψευδοκυλινδρικές (§ 4.4).

Στάδιο 3^ο: Λεπτομερέστερη αξιολόγηση των δεκαπέντε (15) απεικονίσεων που επιλέχθηκαν στο 2^ο στάδιο. Η αξιολόγηση αυτή στηρίχτηκε στον υπολογισμό και στην ανάλυση των παραμορφώσεων για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση. Για την υποστήριξη του τρίτου αυτού σταδίου αξιολόγησης εκπονήθηκαν διαγράμματα κατανομής των παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος και χάρτες με τις ισαριθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (κεφάλαιο 5). Από την αξιολόγηση των δεκαπέντε αυτών απεικονίσεων επιλέχθηκαν για περαιτέρω αναλυτικότερη αξιολόγηση, ανάλογα με τη θέση και έκταση της γεωγραφικής περιοχής, επτά (7), από τις οποίες τρεις (3) κυλινδρικές, μία (1) κωνική, μία (1) αζιμουθιακή και μία (1) ψευδοκυλινδρική (κεφάλαιο 5, πίνακας 5.4).

Κατά το εξεταζόμενο στο παρόν κεφάλαιο τελικό (4^ο) στάδιο αξιολόγησης, ελήφθη υπόψη ότι η επιθυμητή για τη ναυσιπλοΐα μορφή του πλέγματος των μεσημβρινών και παραλλήλων με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες, δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί ταυτόχρονα με την επίσης

¹ Οι ειδικοί αυτοί χάρτες παρουσιάζονται: για τις κυλινδρικές απεικονίσεις στο παράρτημα Β, για τις κωνικές στο παράρτημα Γ, για τις αζιμουθιακές στο παράρτημα Δ και για τις ψευδοκυλινδρικές στο παράρτημα Ε.

² Τα δρομολόγια αυτά χρησιμοποιήθηκαν και για την αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης προβλημάτων ναυσιπλοΐας (κεφ. 2 / πίνακες 2.4 και 2.7).

επιθυμητή πιστότερη απεικόνιση των γραμμών της ορθοδρομίας και της λοξοδρομίας. Λόγω της ασυμβατότητας αυτής η τελική αξιολόγηση και επιλογή των πλέον κατάλληλων χαρτογραφικών απεικονίσεων για ναυσιπλοΐα σε ΣΗΝΧ, ανάλογα με τη θέση και την έκταση της απεικονιζόμενης στην οθόνη του συστήματος γεωγραφικής περιοχής, υλοποιήθηκε με τη βοήθεια των τριών επόμενων προσεγγίσεων (Pallikaris and Tsoulos 2010):

1η Προσέγγιση: Στην προσέγγιση αυτή επιλέγονται απεικονίσεις που καλύπτουν την απαίτηση της ελαχιστοποίησης των τιμών και του ελέγχου της κατανομής των παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλοιώσεις της πραγματικότητας (§ 6.2.1).

2η Προσέγγιση: Στην προσέγγιση αυτή, από τις απεικονίσεις που επιλέχθηκαν κατά την πρώτη προσέγγιση, επιλέγονται αυτές που καλύπτουν την απαίτηση της πιστότερης απεικόνισης της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας (§ 6.2.2).

3η Προσέγγιση: Στην προσέγγιση αυτή, από τις απεικονίσεις που επιλέχθηκαν κατά την πρώτη προσέγγιση, επιλέγονται αυτές που καλύπτουν την απαίτηση της δυνατότητας άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης, ή ισοδύναμα με απεικόνιση των μεσημβρινών και παραλλήλων με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες.

Οι προτεινόμενοι κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ (§ 6.6), καθορίστηκαν από τη σύνθεση των συμπερασμάτων των παραπάνω τριών προσεγγίσεων.

6.2 Αξιολόγηση χαρτογραφικών απεικονίσεων ανάλογα με την ελαχιστοποίηση των τιμών και τον έλεγχο της κατανομής των παραμορφώσεων

Για την ελαχιστοποίηση και τον έλεγχο της κατανομής των παραμορφώσεων κατά το παρόν τελικό στάδιο αξιολόγησης και επιλογής, τα όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες, ή έντονες αλλοιώσεις (§ 4.6.2) [Bugayevskiy and Snyder, 1998 295-98], καθορίστηκαν σε 8° για τις γωνιακές παραμορφώσεις και σε ±12% για τις επιφανειακές παραμορφώσεις.

Συσχετίζοντας τις παραπάνω μέγιστες επιθυμητές ανοχές με την κατανομή των παραμορφώσεων των αξιολογούμενων απεικονίσεων με το γεωγραφικό πλάτος³, προκύπτει ότι για την αποτελεσματικότερη αξιολόγηση ανάλογα με τη θέση και την έκταση της απεικονιζόμενης στην οθόνη γεωγραφικής περιοχής, πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι περιοχές του πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1
Γεωγραφικές περιοχές τελικής αξιολόγησης

1.	Γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης [-24° 24°]
2.	Γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης [24° 37°]
3.	Γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης [37° 49°]
4.	Γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους διαφορετικά από τα παραπάνω για κάλυψη μικρότερη του ημισφαιρίου
5.	Γεωγραφικές περιοχές έκτασης ημισφαιρίου
6.	Ολόκληρη η Υδρόγειος

³ Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των κατανομής των παραμορφώσεων των αξιολογούμενων απεικονίσεων παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5.

Οι γεωγραφικές περιοχές του πίνακα 6.1 καλύπτουν ζώνες γεωγραφικού πλάτους με όρια διαφορετικά από τα όρια των 30° και 60° που συνιστώνται από τη βιβλιογραφία της αναλυτικής χαρτογραφίας (Bugayevskiy and Snyder, 1998 / Pearson, 1990/ Maling, 1973) για την αρχική αξιολόγηση των απεικονίσεων σε περιοχές μικρού, μεσαίου και μεγάλου γεωγραφικού πλάτους. Τα όρια των 30° και 60° χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο αξιολόγησης (κεφάλαιο 6). Στο στάδιο της τελικής αξιολόγησης του παρόντος κεφαλαίου χρησιμοποιούνται οι περιοχές αξιολόγησης με τα όρια του πίνακα 6.1 επειδή, για αρκετές από τις αξιολογούμενες απεικονίσεις, τα όρια αυτά αντιστοιχούν στις καθορισθείσες μέγιστες επιτρεπόμενες ανοχές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων ($\pm 8^\circ$ και $\pm 12\%$ αντιστοίχως).

Επισημαίνεται ότι τα διατιθέμενα στο εμπόριο ΣΗΝΧ δεν παρέχουν συνήθως δυνατότητα απεικόνισης των περιοχών υπ. αριθ. 5.) και 6.) του πίνακα 6.1 (κεφάλαιο 1/ § 1.5).

Για την υποστήριξη της αξιολόγησης ανάλογα με τη θέση και την έκταση της απεικονιζόμενης γεωγραφικής περιοχής, εκτός από την αξιοποίηση των γενικών χαρτών με τις ισαριθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων των παρατημάτων Β έως Ε, εκπονήθηκαν και οι παρακάτω συμπληρωματικοί χάρτες:

- ✓ Χάρτης ισαριθμικών καμπυλών επιφανειακής παραμόρφωσης της ορθής μερκατορικής απεικόνισης με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 15° (Σχ. 6.1).
- ✓ Χάρτες ισαριθμικών καμπυλών επιφανειακής και γωνιακής παραμόρφωσης της κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 30° (Σχ. 6.2 και Σχ. 6.3).
- ✓ Χάρτες ισαριθμικών καμπυλών επιφανειακής και γωνιακής παραμόρφωσης της κυλινδρικής στερεογραφικής απεικόνισης με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 45° (Σχ. 6.4 και Σχ. 6.5).
- ✓ Χάρτες ισαριθμικών καμπυλών επιφανειακής και γωνιακής παραμόρφωσης της κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 30° (Σχ. 6.6 και Σχ. 6.7).
- ✓ Χάρτες ισαριθμικών καμπυλών επιφανειακής και γωνιακής παραμόρφωσης της αξιμουθιακής ισαπέχουσας απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος 15° (Σχ. 6.8 και Σχ. 6.9).
- ✓ Χάρτες ισαριθμικών καμπυλών επιφανειακής και γωνιακής παραμόρφωσης της λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε θέσεις που επιλέγονται για τον περιορισμό των παραμορφώσεων σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές όπως:
 - Θαλάσσια περιοχή της δυτικής και της ανατολικής ακτής της Αφρικής (Σχ. 6.10 και Σχ. 6.11).
 - Θαλάσσια περιοχή βόρειου Ατλαντικού ωκεανού (Σχ. 6.12 και Σχ. 6.13).

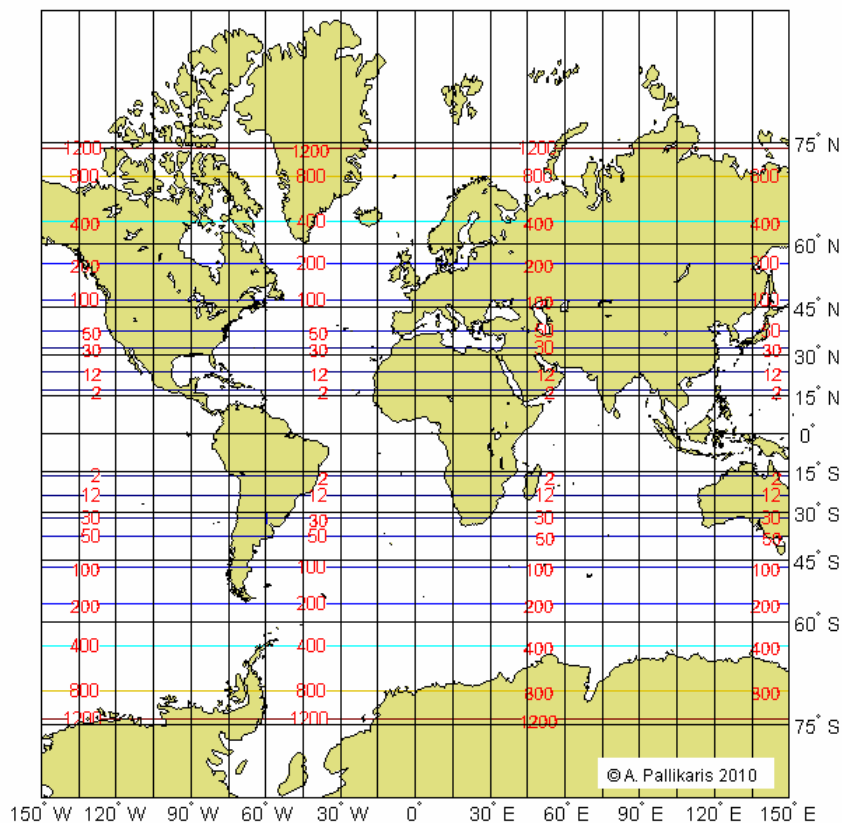
Για την αξιολόγηση της αξιμουθιακής ισαπέχουσας απεικόνισης χρησιμοποιήθηκε τόσο η ισημερινή μορφή (Σχήματα παρατήματος Δ) όσο και η πλάγια, για την οποία επιλέχτηκε κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος 15°. Με την επιλογή του κεντρικού σημείου σε αυτό το γεωγραφικό πλάτος επιτυγχάνεται ικανοποιητική κάλυψη περιοχών μεγάλης γεωγραφικής έκτασης, όπως στην περίπτωση μελέτης του βόρειου Ατλαντικού ωκεανού (Σχ. 6.8 και Σχ. 6.9). Η χρήση ισαπέχουσας αξιμουθιακής απεικόνισης σε ΣΗΝΧ με επιλογή του κεντρικού σημείου σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, όπως η πολική μορφή, ή η πλάγια με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος 60° δεν έχει καμία πρακτική σημασία, επειδή:

- i. Με την επιλογή της θέσης του κεντρικού σημείου σε γεωγραφικό πλάτος μικρότερο των 30° ($\phi_0 \leq 30^\circ$) επιτυγχάνεται η επιθυμητή ελαχιστοποίηση και κατανομή των παραμορφώ-

σεων εντός των μέγιστων επιτρεπόμενων ανοχών (8° για τις γωνιακές και $\pm 12\%$ για τις επιφανειακές παραμορφώσεις) για όλες σχεδόν τις περιοχές πλου μεγάλων αποστάσεων.

- ii. Η τυχόν εξέταση και άλλων μορφών όπως η πολική κ.α. καθιστά πολυπλοκότερη τη διαδικασία επιλογής χωρίς αξιολογή για το βασικό σκοπό της εκτελεσθείσας έρευνας (απόφυγη οπτικά εντοπίσιμων αλλοιώσεων της πραγματικότητας) βελτίωση της κατανομής και ελαχιστοποίησης των παραμορφώσεων.

Για την αξιολόγηση της κωνικής ισαπέχουσας απεικόνισης με βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικά πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$ (πίνακας 5.4), χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες με τις ισαιριθμικές καμπύλες και τα διαγράμματα κατανομής των γωνιακών και των επιφανειακών παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος του κεφαλαίου 5 (Σχήματα 6.1 έως 6.13).



Η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση ($\pm 12\%$) καλύπτεται σε γεωγραφικά πλάτη: $[-24^\circ \ 24^\circ]$

Σχ. 6.1: Ορθή μερκατορική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 15° . Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης

Για τη συγκριτική αξιολόγηση της συμβατικής κυλινδρικής απεικόνισης Miller με τις υπόλοιπες απεικονίσεις του πίνακα 5.4, χρησιμοποιήθηκε η προτεινόμενη νέα μορφή της⁴ με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στα αποτελέσματα των υπολογισμών και της ανάλυσης των παραμορφώσεων που εκτελέστηκαν στο κεφάλαιο 5. Η

⁴ Η συμβατική κυλινδρική απεικόνιση Miller είναι ισημερινή (Snyder 1987) χωρίς να είναι γνωστή καμία εφαρμογή της με άλλο βασικό παράλληλο. Τα γνωστά ΣΓΠ, όπως το “ArcInfo/ArcView”, το “Matlab/Mapping” καθώς και άλλα εργαλεία υλοποίησης χαρτογραφικών απεικονίσεων, όπως το Flex Projector (Jenny et al. 2008) κ.α. δεν παρέχουν δυνατότητα υλοποίησης αυτής της απεικόνισης με άλλους βασικούς παραλλήλους. Η υλοποίηση της νέας αυτής μορφής της κυλινδρικής απεικόνισης Miller (Σχ. 6.6 και Σχ. 6.7) έγινε με τον μετασχηματισμό της συνάρτησης $x=f_1(\lambda)$ της γνωστής ισημερινής μορφής της απεικόνισης Miller (Snyder 1987) στη μορφή $x=\cos\varphi_0 \cdot f_1(\lambda)$.

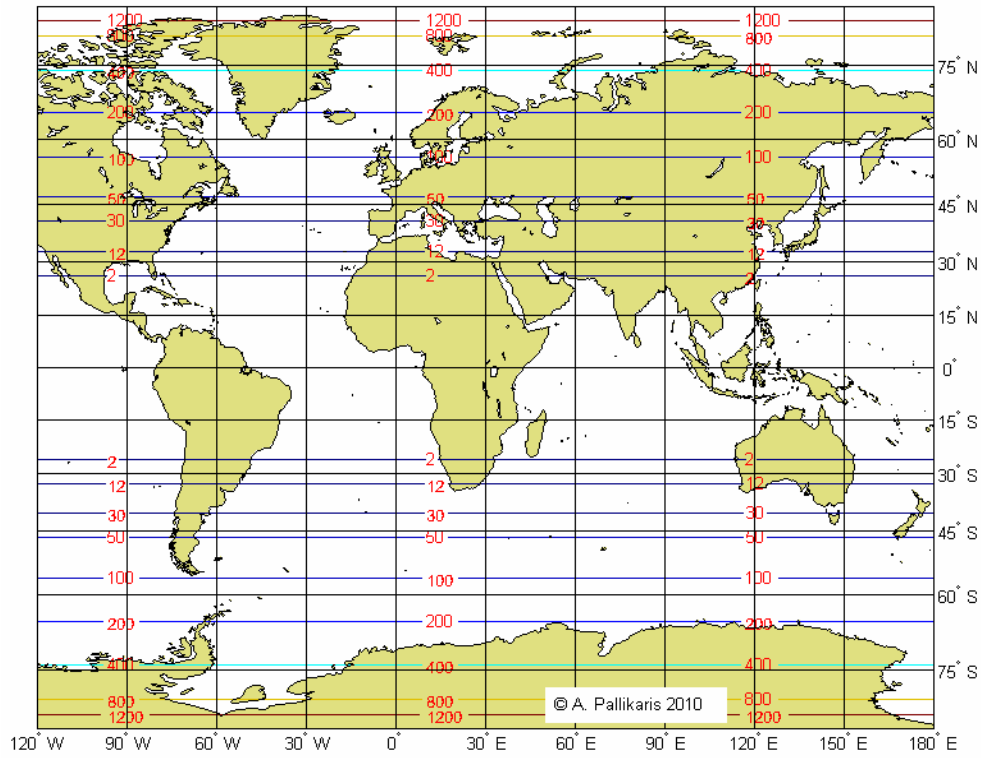
προτεινόμενη νέα μορφή της κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$, περιορίζει τις επιφανειακές παραμορφώσεις της μερκατορικής, ενώ για εύρος γεωγραφικού πλάτους $[-59^\circ \ 59^\circ]$ διατηρεί τις γωνιακές παραμορφώσεις σε όρια μικρότερα από 8° που δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες αλλοιώσεις.

Από την αναλυτική μελέτη της κατανομής των παραμορφώσεων των αξιολογούμενων επτά χαρτογραφικών απεικονίσεων (πίνακας 5.4), προκύπτει ότι οι απεικονίσεις που καλύπτουν καλύτερα τις ανοχές των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων (8° και $\pm 12\%$ αντιστοίχως) σε κάθε εξεταζόμενη γεωγραφική περιοχή, είναι οι απεικονίσεις του πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2

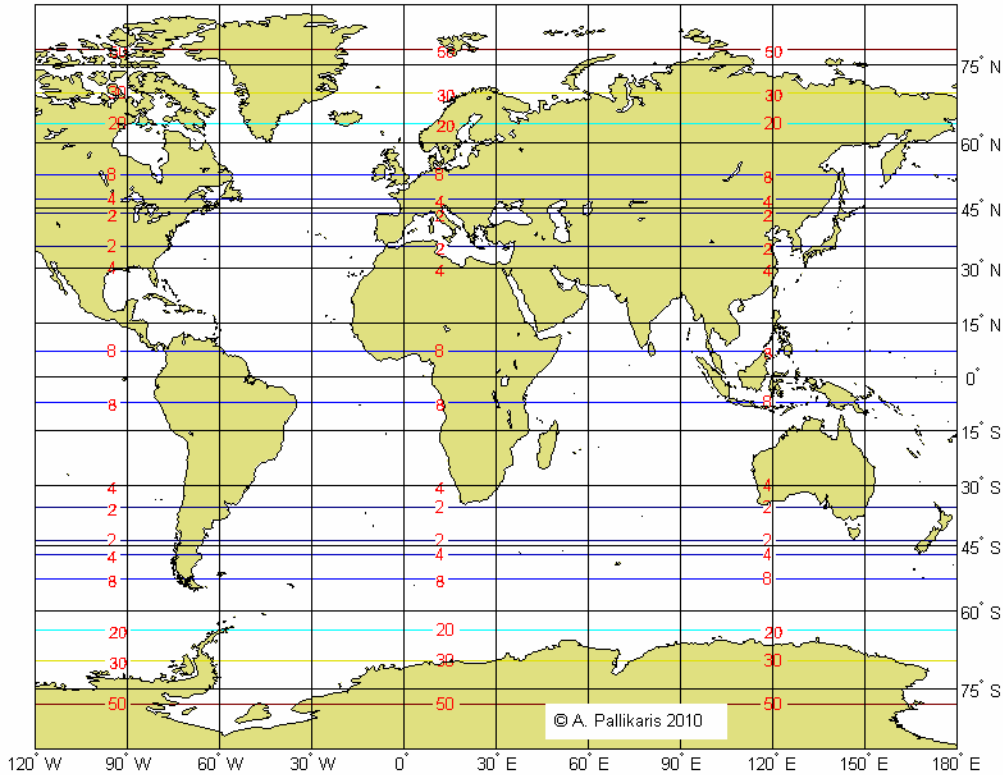
Χαρτογραφικές απεικονίσεις που καλύπτουν την ελαχιστοποίηση των τιμών και τον έλεγχο της κατανομής των παραμορφώσεων

α/α	Χαρτογραφικές Απεικονίσεις ανά γεωγραφική περιοχή
1.	Για τις γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης $[-24^\circ \ 24^\circ]$ οι: <ul style="list-style-type: none"> – ορθή μερκατορική με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=15^\circ$ – αζιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή
2.	Για τις γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης $[24^\circ \ 37^\circ]$ οι: <ul style="list-style-type: none"> – κυλινδρική στερεογραφική με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$ – αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$ – κωνική ισαπέχουσα με δύο βασικούς παραλλήλους σε πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$
3.	Για τις γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης $[37^\circ \ 49^\circ]$ οι: <ul style="list-style-type: none"> – κυλινδρική στερεογραφική με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=45^\circ$ – αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$ – κωνική ισαπέχουσα με δύο βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικά πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$
4.	Για γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους διαφορετικά από τα παραπάνω και κάλυψη μέχρι ένα ημισφαίριο, διακρίνονται οι επόμενες περιπτώσεις: <ul style="list-style-type: none"> – Για γεωγραφικές περιοχές με περίπου το ίδιο εύρος γεωγραφικού πλάτους εκατέρωθεν του ισημερινού: η αζιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή. – Για γεωγραφικές περιοχές, στις οποίες το μέγιστο γεωγραφικό πλάτος της γεωγραφικής περιοχής ενδιαφέροντος υπερβαίνει τον παράλληλο των 45°: η αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος $\varphi_0=15^\circ$ ή $\varphi_0=30^\circ$.
5.	Για ολόκληρη την Υδρόγειο: Η λοξιμουθιακή απεικόνιση



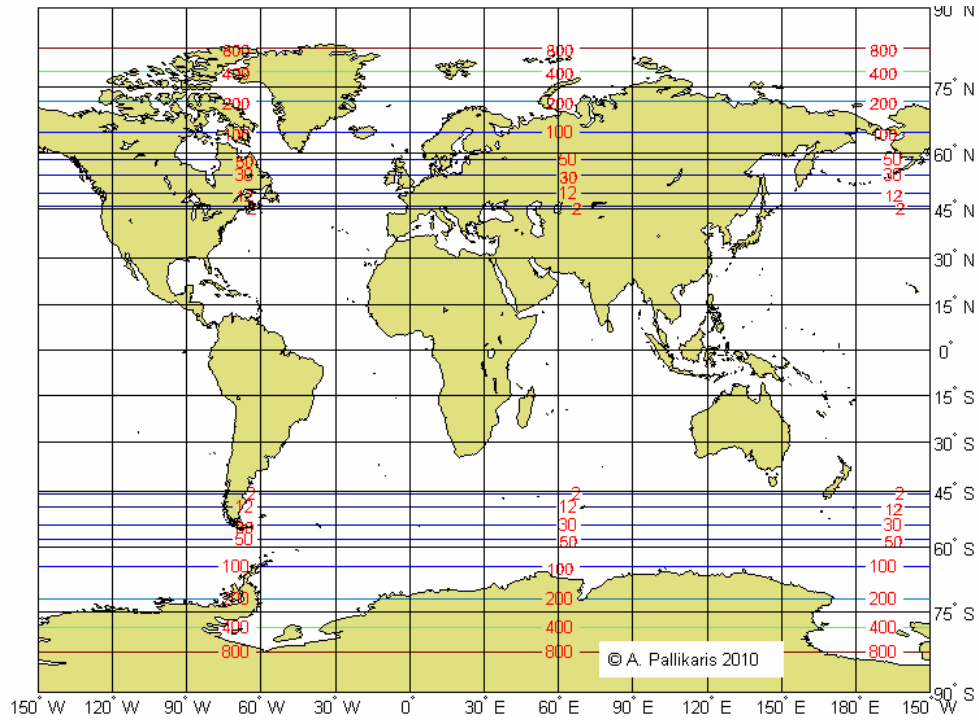
Η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση ($\pm 12\%$) καλύπτεται σε γεωγραφικά πλάτη: $[-37^\circ \ 37^\circ]$

Σχ. 6.2: Κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 30° . Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης



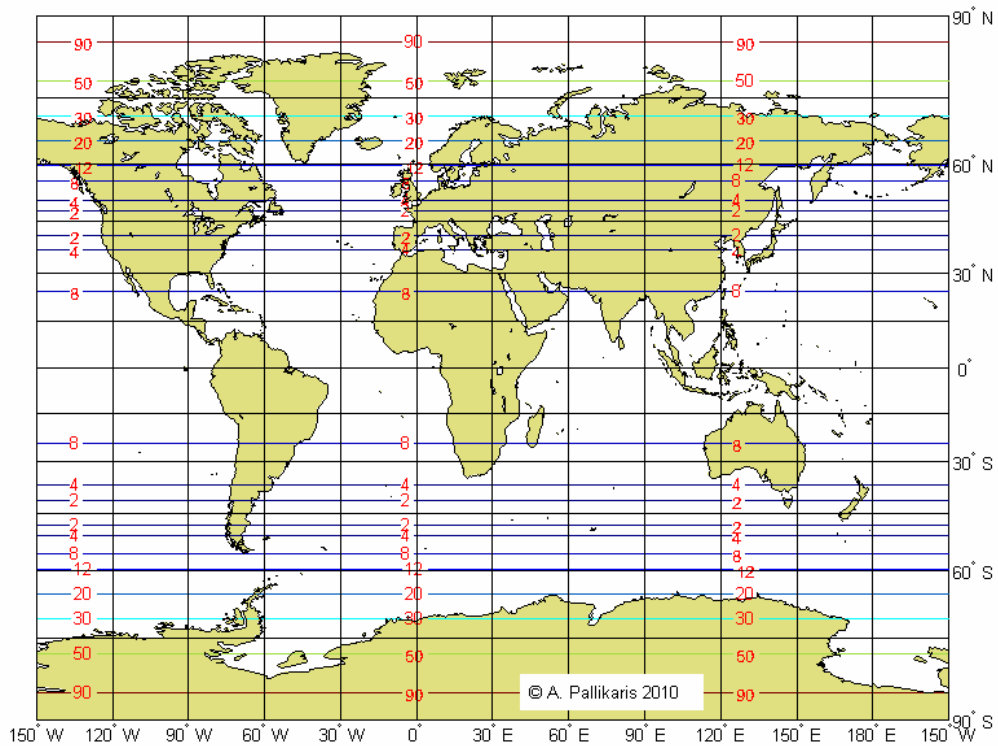
Η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση (8°) καλύπτεται σε γεωγραφικά πλάτη: $[-49^\circ \ 49^\circ]$

Σχ. 6.3: Κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 30° . Ισαριθμικές καμπύλες γωνιακής παραμόρφωσης



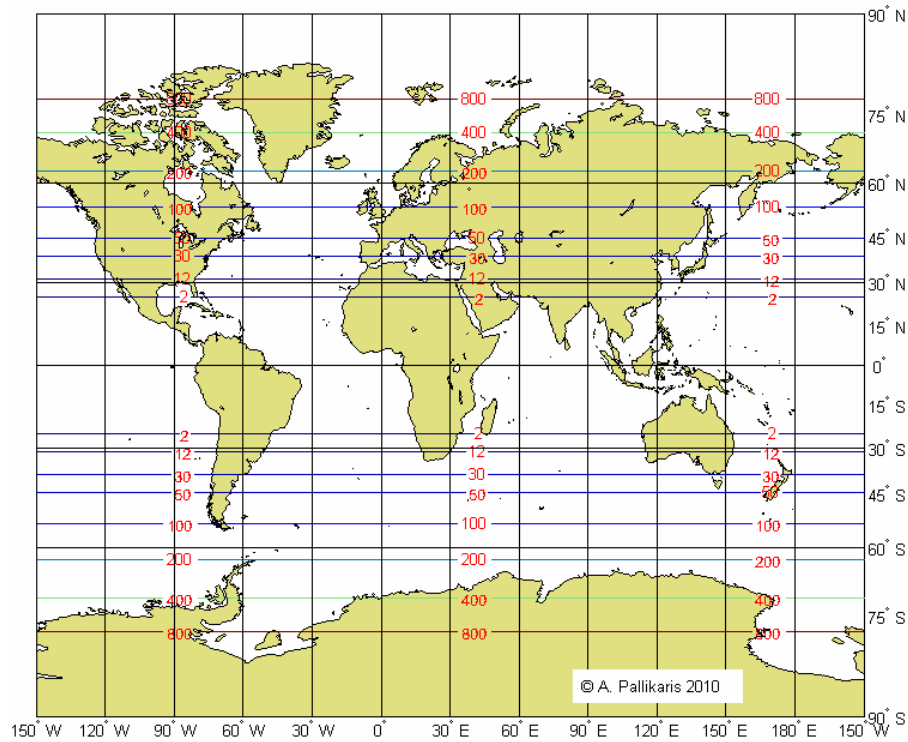
Η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση ($\pm 12\%$) καλύπτεται σε γεωγραφικά πλάτη: $[39^\circ - 49^\circ]$

Σχ. 6.4: Κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 45° . Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης



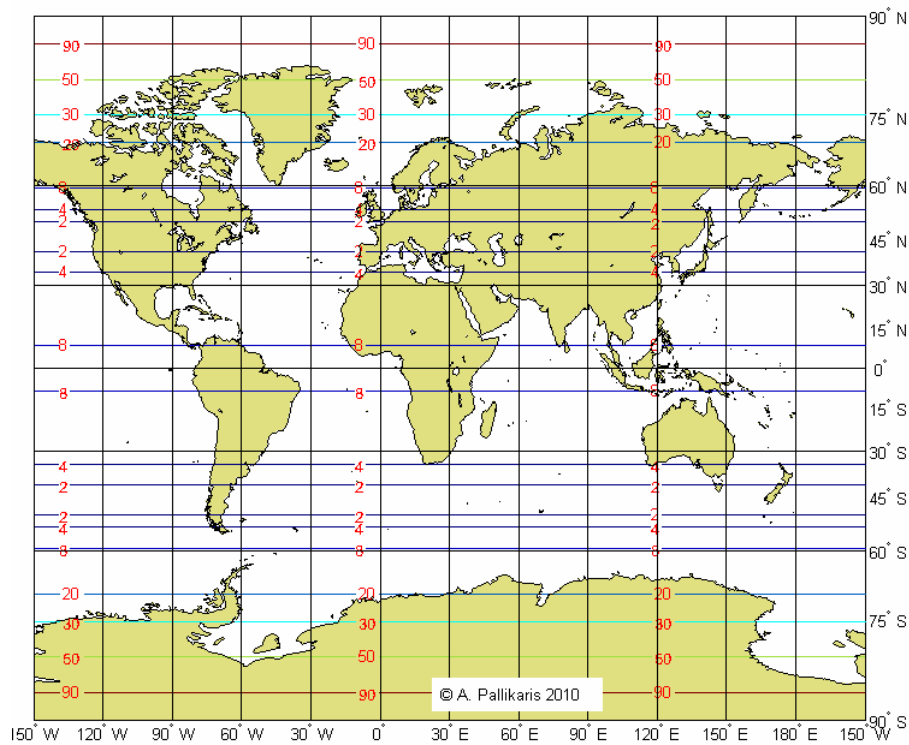
Η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση (8°) καλύπτεται σε γεωγραφικά πλάτη: $[-56^\circ - 56^\circ]$

Σχ. 6.5: Κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 45° . Ισαριθμικές καμπύλες γωνιακής παραμόρφωσης



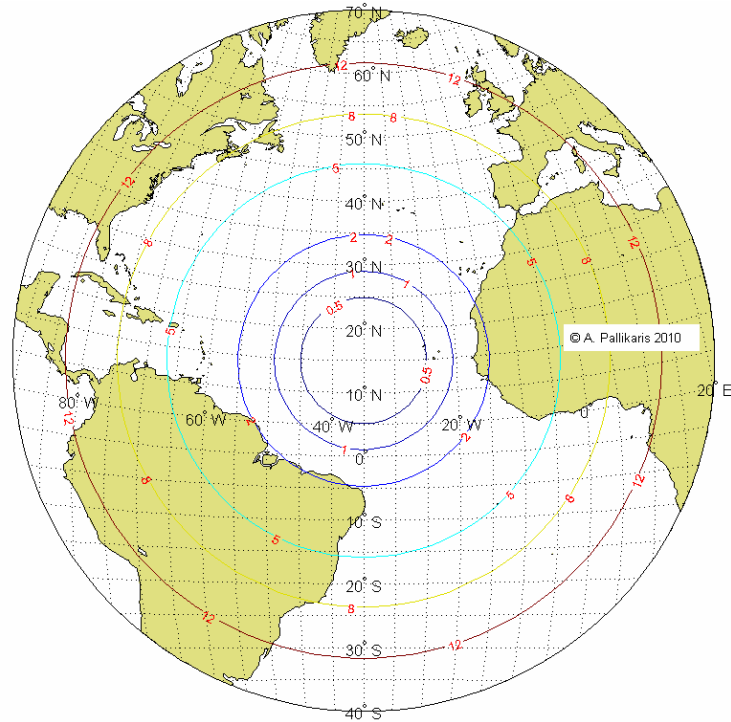
Η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση ($\pm 12\%$) καλύπτεται σε γεωγραφικά πλάτη: $[-31^\circ \ 31^\circ]$

Σχ. 6.6: Κυλινδρική απεικόνιση Miller με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 30° . Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης



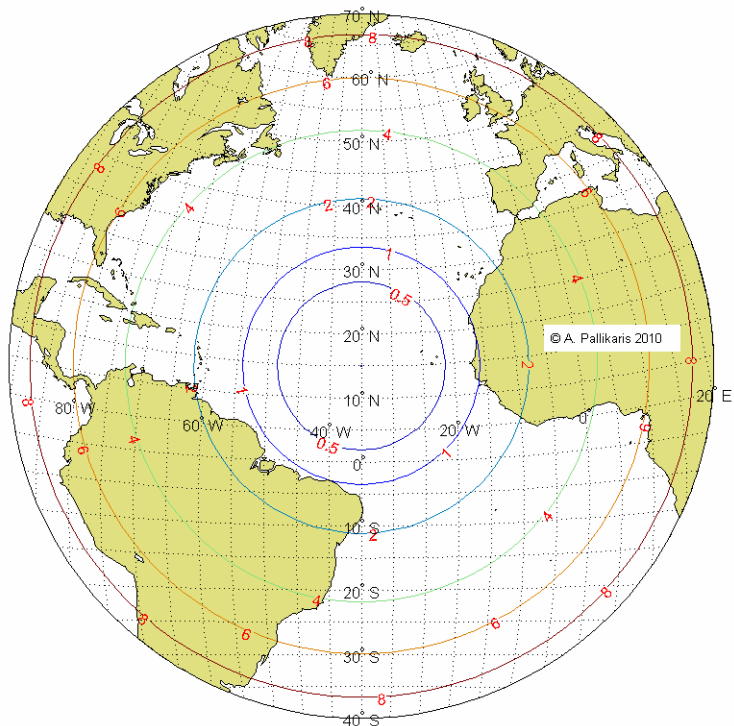
Η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση (8°) καλύπτεται σε γεωγραφικά πλάτη: $[-59^\circ \ 59^\circ]$

Σχ. 6.7: Κυλινδρική απεικόνιση Miller με βασικό παράλληλο σε γεωγραφικό πλάτος 30° . Ισαριθμικές καμπύλες γωνιακής παραμόρφωσης



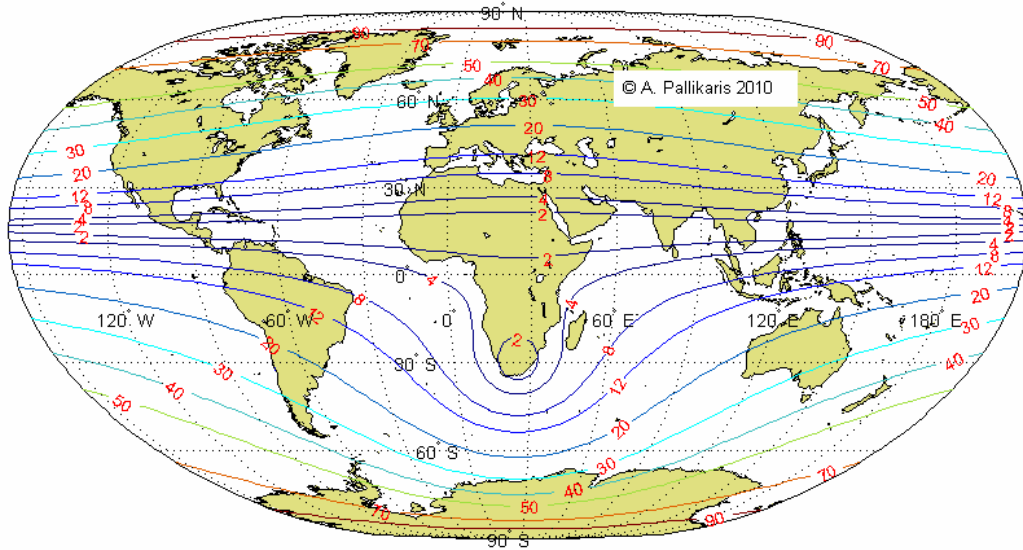
Με αυτή την επιλογή της θέσης του κεντρικού σημείου η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση ($\pm 12\%$) καλύπτεται σε όλη σχεδόν την περιοχή του βόρειου Ατλαντικού και σε σημαντικό τμήμα του νότιου Ατλαντικού Ωκεανού

Σχ. 6.8: Αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος 15° . Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης



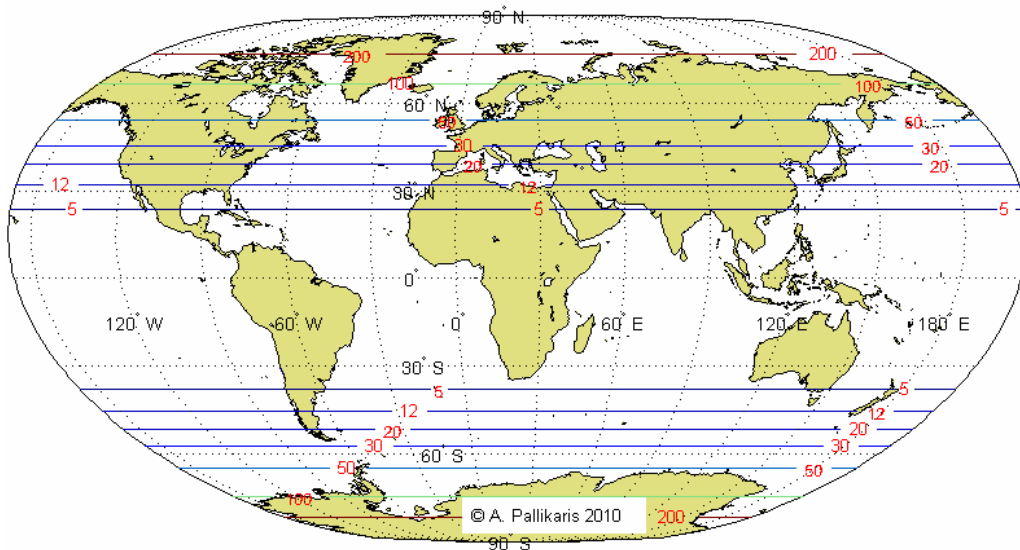
Με αυτή την επιλογή της θέσης του κεντρικού σημείου η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση (8°), καλύπτεται σε όλη σχεδόν την περιοχή του βόρειου Ατλαντικού και σε σημαντικό τμήμα του νότιου Ατλαντικού Ωκεανού

Σχ. 6.9: Αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος 15° . Ισαριθμικές καμπύλες γωνιακής παραμόρφωσης



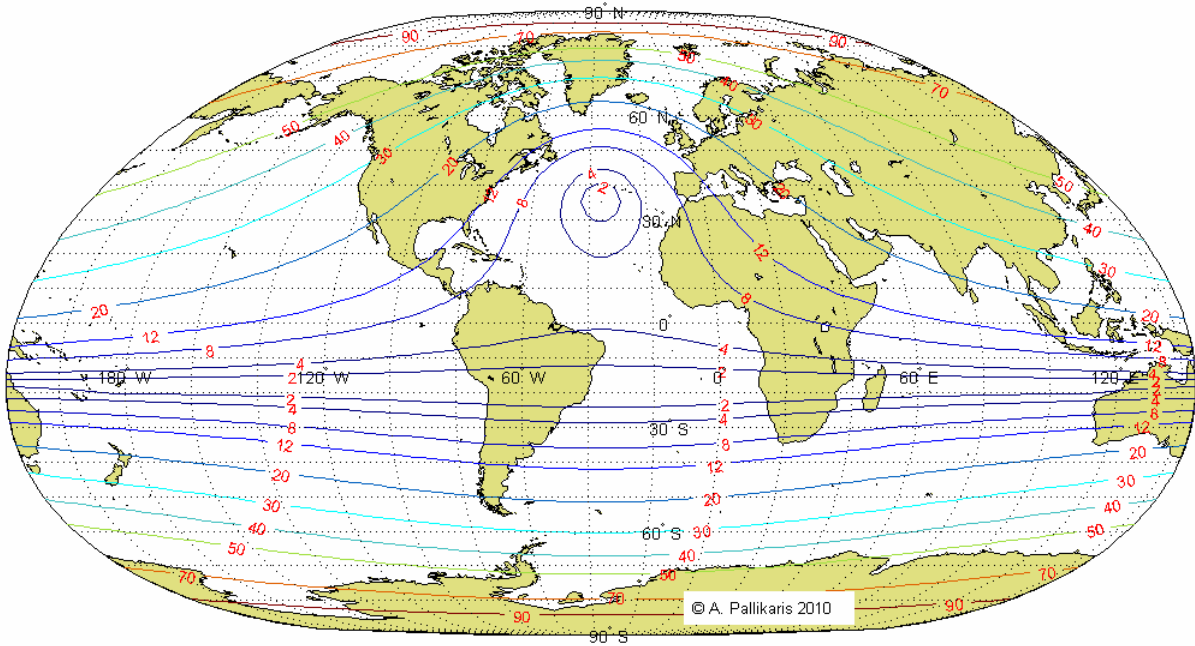
Με την κατάλληλη επιλογή της θέσης του κεντρικού σημείου η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση (8°) καλύπτεται σε όλο το μήκος της ανατολικής και της δυτικής ακτής της Αφρικής

Σχ. 6.10: Λοξιμουθιακή απεικόνιση με κεντρικό σημείο στην περιοχή της νότιας Αφρικής. Ισαριθμικές καμπύλες γωνιακής παραμόρφωσης



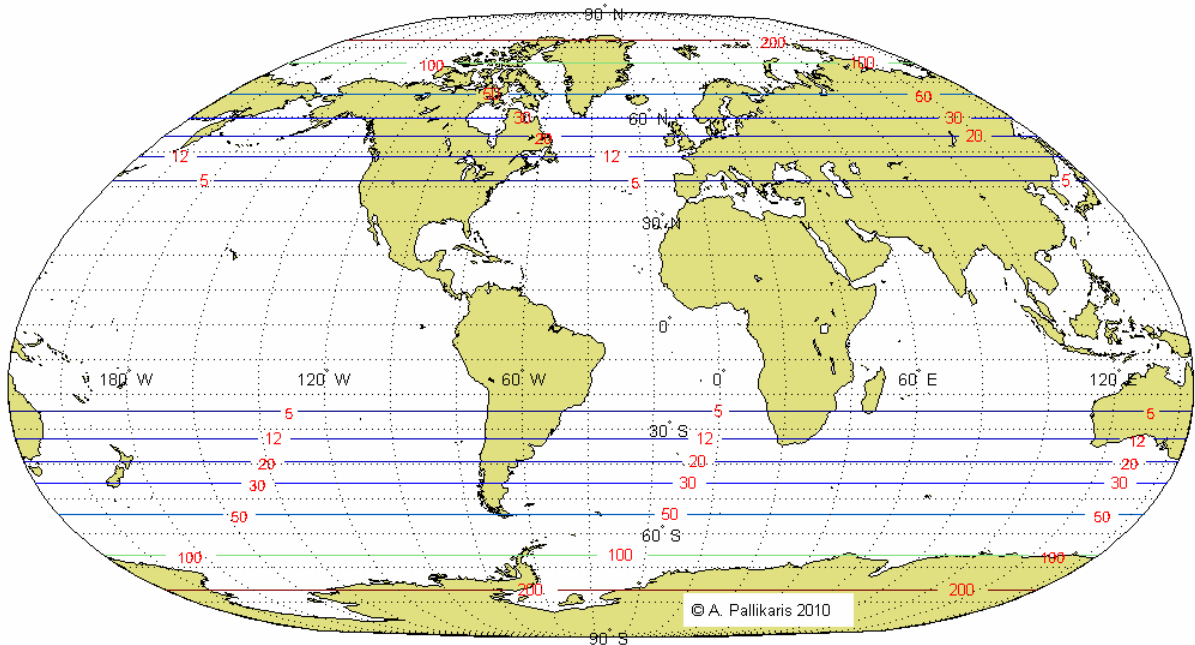
Με την κατάλληλη επιλογή της θέσης του κεντρικού σημείου η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση ($\pm 12\%$) καλύπτεται σχεδόν σε όλο το μήκος της ανατολικής και της δυτικής ακτής της Αφρικής

Σχ. 6.11: Λοξιμουθιακή απεικόνιση με κεντρικό σημείο στην περιοχή της νότιας Αφρικής. Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης



Με την κατάλληλη επιλογή της θέσης του κεντρικού σημείου η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση (8°) καλύπτεται σε πολύ μεγάλο τμήμα του βόρειου και του νότιου Ατλαντικού Ωκεανού

Σχ. 6.12: Λοξιμουθιακή απεικόνιση με κεντρικό σημείο στην περιοχή του βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Ισαριθμικές καμπύλες γωνιακής παραμόρφωσης



Με την κατάλληλη επιλογή της θέσης του κεντρικού σημείου η μέγιστη επιθυμητή απόκλιση ($\pm 12\%$) καλύπτεται σε πολύ μεγάλο τμήμα του βόρειου και του νότιου Ατλαντικού Ωκεανού

Σχ. 6.13: Λοξιμουθιακή απεικόνιση με κεντρικό σημείο στην περιοχή του βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης

6.3 Αξιολόγηση ανάλογα με την πιστότητα απεικόνισης της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας

Για την πιστότερη απεικόνιση της μορφής των γραμμών των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων, τα δρομολόγια του ορθοδρομικού πλου πρέπει να απεικονίζονται με γραμμές μικρότερου μήκους (απόστασης) από τις γραμμές που απεικονίζουν τα αντίστοιχα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου. Επιπροσθέτως οι γραμμές της ορθοδρομίας πρέπει να εμφανίζουν τα κοίλα προς τον ισημερινό, ενώ οι γραμμές της λοξοδρομίας πρέπει να εμφανίζουν τα κοίλα προς τους πόλους.

Σύμφωνα με τα βασικά συμπεράσματα της αρχικής αξιολόγησης όλων των κατηγοριών χαρτογραφικών απεικονίσεων (κυλινδρικών, κωνικών, αζιμουθιακών και ψευδοκωνικών) που επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν για ενδεχόμενη χρήση σε ΣΗΝΧ (§ 4.4), οι απεικονίσεις που καλύπτουν το κριτήριο της πιστότερης απεικόνισης της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας, με την απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού πλου με γραμμές μικρότερου μήκους από τις γραμμές που απεικονίζουν τα αντίστοιχα δρομολόγια του λοξοδρομικού πλου, ανήκουν στις κωνικές και αζιμουθιακές. Για το λόγο αυτό η αξιολόγηση της πιστότητας οπτικοποίησης της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας πραγματοποιήθηκε μόνο στις εξεταζόμενες κωνικές και αζιμουθιακές απεικονίσεις του πίνακα 6.2.

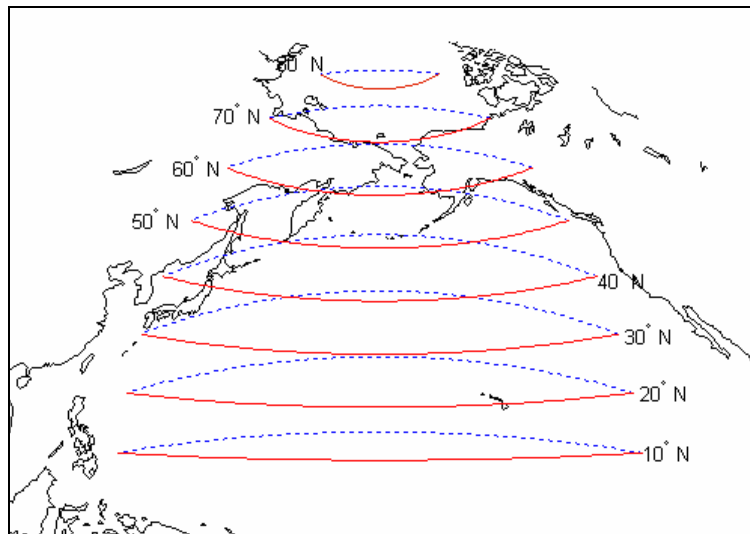
Οι κυλινδρικές απεικονίσεις της ενότητας 6.2 δεν αξιολογήθηκαν για την πιστότητα οπτικοποίησης της ορθοδρομίας και της λοξοδρομίας, επειδή στις κυλινδρικές απεικονίσεις η πιστότητα αυτή δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί, αφού η ορθοδρομία απεικονίζεται πάντα με γραμμές μεγαλύτερου μήκους από την ευθεία γραμμή που απεικονίζει τη λοξοδρομία.

Για την πληρέστερη αξιολόγηση της πιστότητας των γραμμών της ορθοδρομίας και της λοξοδρομίας, υπολογίστηκαν οι τιμές των συντελεστών λοξοδρομικότητας ξ_0 και ορθοδρομικότητας ξ_λ (§ 4.7.2) για τα οκτώ επιλεγμένα δρομολόγια πλου του πίνακα 2.5 που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των μεθόδων επίλυσης προβλημάτων πλου ελάχιστης απόστασης. Τα οκτώ αυτά δρομολόγια ορίζονται με σημεία αναχώρησης και προορισμού, τα οποία έχουν διαφορά γεωγραφικού μήκους 100° και βρίσκονται στους παραλλήλους 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° και 80° (§ 2.5.4).

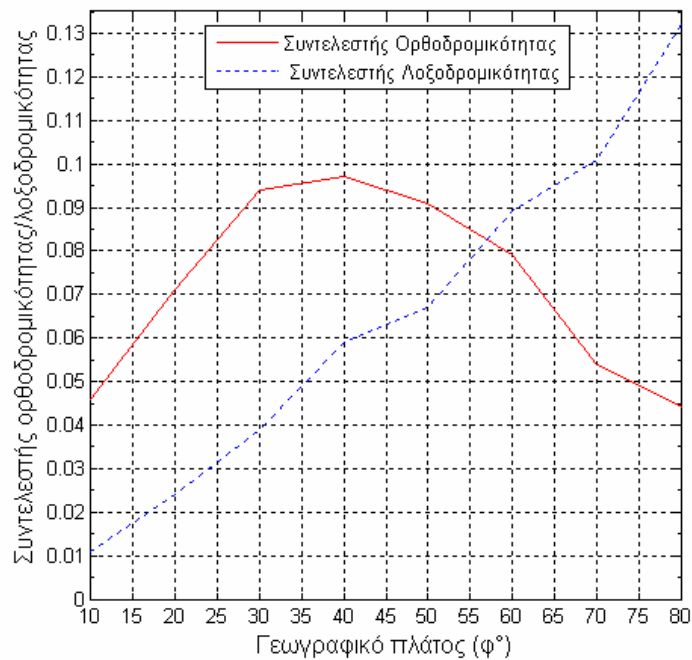
Για τον υπολογισμό των τιμών των συντελεστών λοξοδρομικότητας ξ_λ και ορθοδρομικότητας ξ_0 στις εξεταζόμενες αζιμουθιακές και κωνικές απεικονίσεις, τα εξεταζόμενα οκτώ δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου αποδόθηκαν στα σχήματα 6.14, 6.16, 6.18 και 6.20. και μετρήθηκαν (με γραφικές μεθόδους) τα μεγέθη h_0 , h_λ και L των σχέσεων (4.6.1) και (4.6.2) [§ 4.6.1]. Οι υπολογισθείσες με τον τρόπο αυτό τιμές των συντελεστών ξ_0 και ξ_λ φαίνονται στον πίνακα 6.3. Στα διαγράμματα των σχημάτων 6.15, 6.17, 6.19 και 6.21 φαίνεται η κατανομή των τιμών των συντελεστών αυτών με το γεωγραφικό πλάτος.

Από την περαιτέρω ανάλυση και μελέτη των στοιχείων του πίνακα 6.3 και των διαγραμμάτων των σχημάτων 6.15, 6.17, 6.19 και 6.21, σύμφωνα με τους κανόνες που αναφέρονται στην ενότητα § 4.6.1, προκύπτει ότι για τα οκτώ δρομολόγια που εξετάστηκαν, οι απεικονίσεις που καλύπτουν καλύτερα την πιστότερη απεικόνιση της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας είναι κατά σειρά προτεραιότητας:

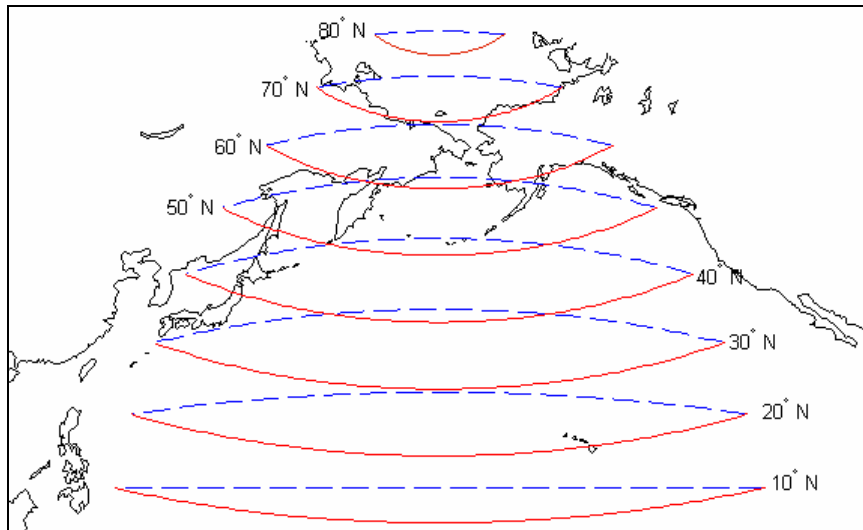
- η αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος $\phi_0=30^\circ$,
- η κωνική ισαπέχουσα με δύο βασικούς παραλλήλους σε πλάτη $\phi_1=40^\circ$ και $\phi_2=80^\circ$,
- η αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος $\phi_0=30^\circ$ και
- η αζιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή.



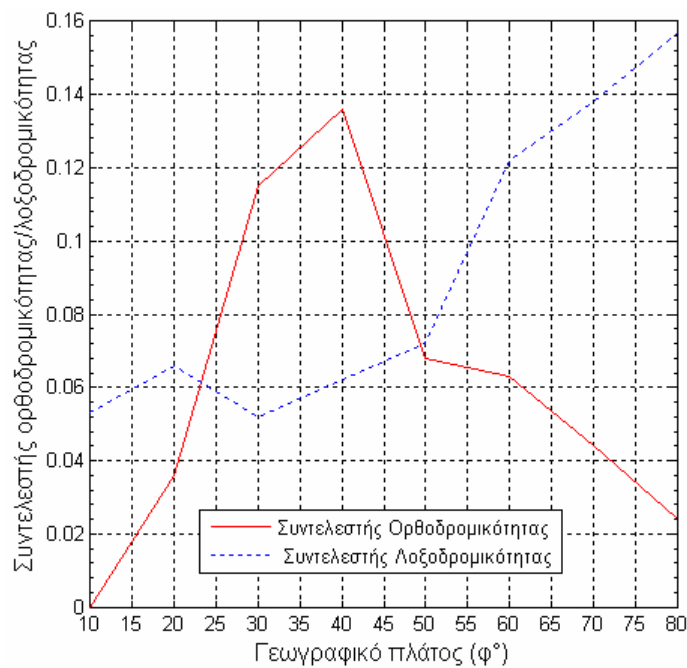
Σχ. 6.14: Δρομολόγια δοκιμών ορθοδρομικού και λοξοδρομικού στην ισημερινή αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση



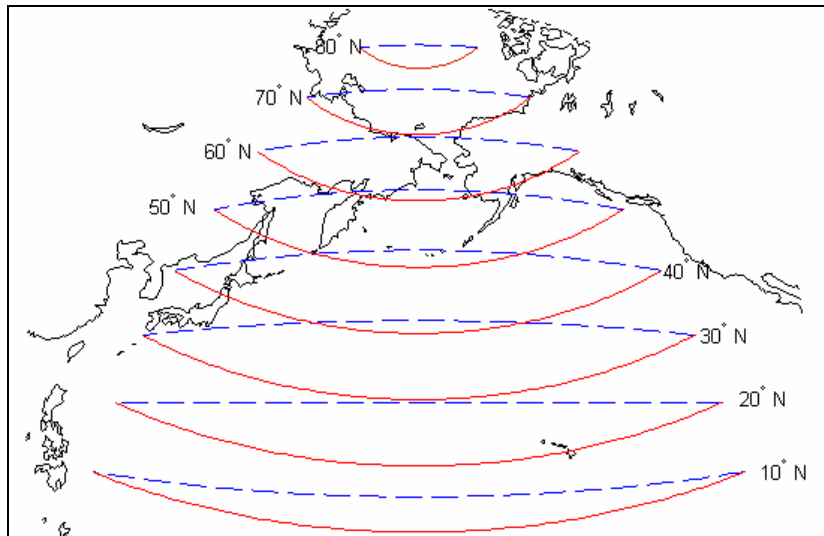
Σχ. 6.15: Συντελεστές λοξοδρομικότητας και ορθοδρομικότητας επιλεγμένων δρομολογίων στην ισημερινή αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση



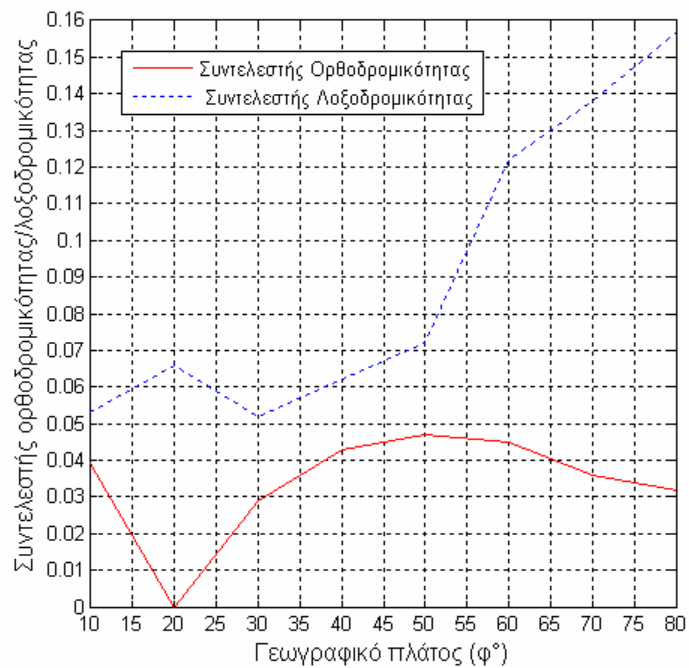
Σχ. 6.16: Δρομολόγια δοκιμών ορθοδρομικού και λοξοδρομικού στην πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε $\varphi_0 = 15^\circ$



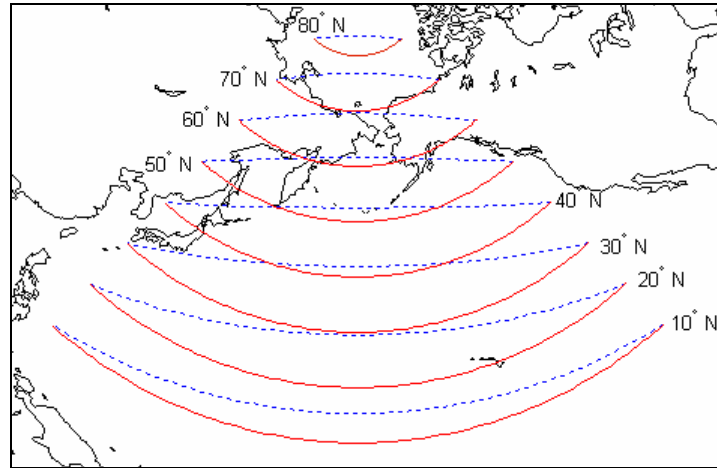
Σχ. 6.17: Συντελεστές λοξοδρομικότητας και ορθοδρομικότητας επιλεγμένων δρομολογίων στην πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε $\varphi_0 = 15^\circ$



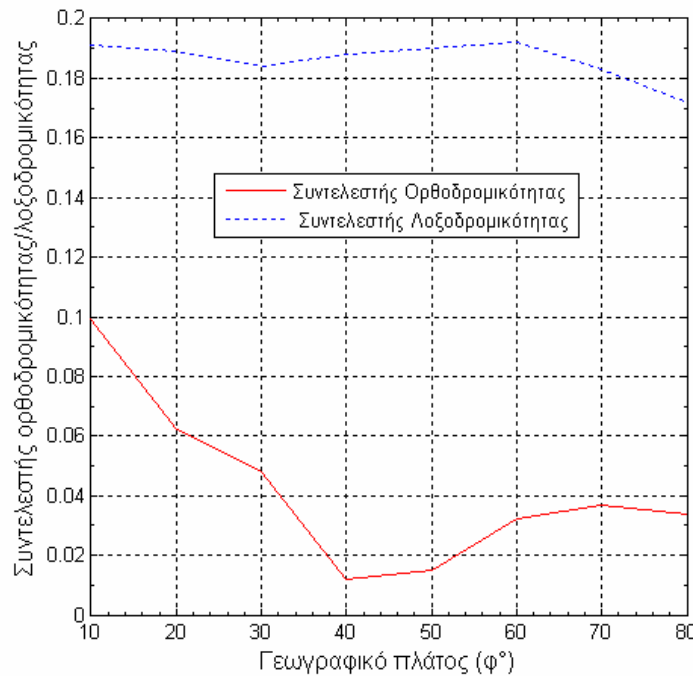
Σχ. 6.18: Δρομολόγια δοκιμών ορθοδρομικού και λοξοδρομικού στην πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε $\phi_0 = 30^\circ$



Σχ. 6.19: Συντελεστές λοξοδρομικότητας και ορθοδρομικότητας επιλεγμένων δρομολογίων στην πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε $\phi_0 = 30^\circ$



Σχ. 6.20: Δρομολόγια δοκιμών ορθοδρομικού και λοξοδρομικού στην κωνική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικούς παραλλήλους σε πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$



Σχ. 6.21: Συντελεστές λοξοδρομικότητας και ορθοδρομικότητας επιλεγμένων δρομολογίων στην κωνική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικούς παραλλήλους σε πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$

Πίνακας 6.3

Συντελεστές λοξοδρομικότητας και ορθοδρομικότητας επιλεγμένων δρομολογίων στις εξεταζόμενες απεικονίσεις

Τα οκτώ αυτά δρομολόγια ορίζονται με σημεία αναχώρησης και προορισμού, τα οποία έχουν διαφορά γεωγραφικού μήκους 100° και βρίσκονται στους παραλλήλους 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70° και 80°

Γεωγραφικό πλάτος σημείων αναχώρησης και προορισμού	Εξεταζόμενες Απεικονίσεις							
	Ισημερινή αζιμουθιακή ισαπέχουσα		Πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε $\varphi_0=15^\circ$		Πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε $\varphi_0=30^\circ$		Κωνική ισαπέχουσα με βασικούς παραλλήλους σε πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$	
	ξο	ξλ	ξο	ξλ	ξο	ξλ	ξο	ξλ
10°	0,046	0,011	0,000	0,053	-0,039	0,091	-0,099	0,191
20°	0,071	0,024	0,036	0,066	0,000	0,103	-0,062	0,189
30°	0,094	0,039	0,115	0,052	0,029	0,119	-0,048	0,184
40°	0,097	0,059	0,136	0,062	0,043	0,132	-0,012	0,188
50°	0,091	0,067	0,068	0,072	0,047	0,145	0,015	0,190
60°	0,079	0,089	0,063	0,122	0,045	0,045	0,032	0,192
70°	0,054	0,101	0,044	0,138	0,036	0,165	0,037	0,183
80°	0,044	0,132	0,024	0,157	0,032	0,190	0,034	0,172

6.4 Αξιολόγηση ανάλογα με τη δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού με βάση τη σχετική θέση δύο σημείων της οθόνης

Η επιθυμητή για τη ναυσιπλοΐα δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης, προς αποφυγή του ενδεχομένου δημιουργίας εσφαλμένων εντυπώσεων, όπως στην περίπτωση του σχήματος 1.21 (§ 1.4.5) ισοδυναμεί με επιθυμητή μορφή των μεσημβρινών και παραλλήλων αυτής των ορθογώνια τεμνόμενων ευθειών.

Οι απεικονίσεις, οι οποίες καλύπτουν τη δυνατότητα αυτή είναι οι κυλινδρικές. Εν τούτοις από την αξιολόγηση των τιμών και τον έλεγχο της κατανομής των παραμορφώσεων των κυλινδρικών απεικονίσεων της § 6.2, διαπιστώθηκε ότι για ορισμένες γεωγραφικές περιοχές καμία από τις απεικονίσεις αυτές δεν πληρεί την απαίτηση του περιορισμού των παραμορφώσεων στα καθορισθέντα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια. Λόγω της αδυναμίας αυτής και προκειμένου να εξασφαλιστεί στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό, τόσο ο περιορισμός και ο έλεγχος της κατανομής των παραμορφώσεων, όσο και η επιθυμητή για τη ναυσιπλοΐα δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης, θα πρέπει, όπου αυτό κρίνεται σκόπιμο, να τεθούν πιο ελαστικές απαιτήσεις και η επιλογή των απεικονίσεων να υλοποιηθεί με έναν από τους επόμενους δύο τρόπους:

1^{ος} τρόπος επιλογής:

Επιλέγονται μη κυλινδρικές απεικονίσεις, οι οποίες περιορίζουν τις γωνιακές και επιφανειακές παραμορφώσεις εντός των επιθυμητών ανοχών και παράλληλα παρέχουν καλύτερη δυνατότητα άμεσου σχετικού προσανατολισμού από άλλες μη κυλινδρικές απεικονίσεις. Από την εκτελεσθείσα αξιολόγηση προκύπτει ότι οι απεικονίσεις αυτές είναι:

- Για περιοχές με κάλυψη μικρότερη του ημισφαιρίου, η αζιμουθιακή ισαπέχουσα με κατάλληλη επιλογή του κεντρικού σημείου, όπως στο ενδεικτικό παράδειγμα των σχημάτων 6.8 και 6.9.
- Για περιοχές με κάλυψη μεγαλύτερη του ημισφαιρίου, η λοξιμουθιακή απεικόνιση με κατάλληλη επιλογή του κεντρικού σημείου, όπως στα ενδεικτικά παραδείγματα των σχημάτων 6.10 έως 6.13.

2^{ος} τρόπος επιλογής:

Επιλέγονται κυλινδρικές απεικονίσεις, οι οποίες:

- πληρούν την απαίτηση για δυνατότητα άμεσου σχετικού προσανατολισμού της θέσης δύο σημείων της οθόνης,
- περιορίζουν τις γωνιακές παραμορφώσεις στα καθορισθέντα όρια ($< 8^\circ$),
- εμφανίζουν επιφανειακές παραμορφώσεις, οι οποίες είναι μεν μεγαλύτερες από τα καθορισθέντα όρια ($\pm 12\%$), αλλά παραμένουν μικρότερες από τις αντίστοιχες επιφανειακές παραμορφώσεις της ορθής μερκατορικής απεικόνισης που χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή ναυτιλία.

Από την εκτελεσθείσα αξιολόγηση προκύπτει ότι καταλληλότερη χαρτογραφική απεικόνιση που καλύπτει τα παραπάνω χαρακτηριστικά του δεύτερου τρόπου επιλογής, είναι η προτεινόμενη νέα μορφή της συμβατικής κυλινδρικής απεικόνισης Miller⁵ με “βασικό παράλληλο” σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$.

6.5 Συνοπτική επισκόπηση και σχολίαση της μεθοδολογίας αξιολόγησης και των προταθέντων κανόνων επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων.

Στο παρόν κεφάλαιο εκτελέστηκε η τελική αξιολόγηση και επιλογή των χαρτογραφικών απεικονίσεων που επιλέχτηκαν στο κεφάλαιο 5 για χρήση σε ΣΗΝΧ.

⁵ Βλ. υποσημείωση 4 του παρόντος κεφαλαίου.

Ο σκοπός της τελικής αυτής αξιολόγησης ήταν ο καθορισμός κανόνων επιλογής της κατά περίπτωση καταλληλότερης απεικόνισης, ανάλογα με τη θέση και την έκταση της εμφανιζόμενης στην οθόνη του συστήματος γεωγραφικής περιοχής, προκειμένου να διασφαλιστούν τα παρακάτω επιθυμητά χαρακτηριστικά:

- Η ελαχιστοποίηση των τιμών και ο έλεγχος της κατανομής των παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλοιώσεις της πραγματικότητας.
- Η πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου.
- Η δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού με βάση τη σχετική θέση δύο σημείων της οθόνης, η οποία εξασφαλίζεται με την απεικόνιση των μεσημβρινών και παραλλήλων με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες.

Λαμβάνοντας υπόψη, ότι η επιθυμητή δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης δεν είναι δυνατό να υλοποιηθεί ταυτόχρονα με την επίσης επιθυμητή πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου, οι κανόνες επιλογής που προκύπτουν από την εκτελεσθείσα αξιολόγηση αποσκοπούν στον καλύτερο δυνατό συγκερασμό των προαναφερθέντων επιθυμητών χαρακτηριστικών.

Από τις αξιολογηθείσες επτά (7) απεικονίσεις, επιλέχθηκαν για χρήση σε ΣΗΝΧ, ανάλογα με τη θέση και την έκταση της απεικονιζόμενης περιοχής μόνον οι επόμενες πέντε (5):

- η ορθή μερκατορική με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=15^\circ$,
- η αξιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος που προσδιορίζεται ανάλογα με τα όρια της γεωγραφικής περιοχής ενδιαφέροντος,
- η κυλινδρική του Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$,
- η κυλινδρική στερεογραφική με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$ ή 45° και
- η λοξιμουθιακή με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος που προσδιορίζεται ανάλογα με τα όρια της γεωγραφικής περιοχής ενδιαφέροντος.

Η κωνική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικά πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$, η οποία είχε επιλεγεί για τελική αξιολόγηση στο προηγούμενο κεφάλαιο 5, δεν επιλέχθηκε για χρήση σε ΣΗΝΧ, παρά τον ικανοποιητικό περιορισμό των παραμορφώσεων, γιατί αφενός μεν δεν ικανοποιεί την επιθυμητή δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης στο βαθμό που η απαίτηση αυτή ικανοποιείται από τις άλλες προτεινόμενες απεικονίσεις, αφετέρου δε δεν προσφέρεται για την απεικόνιση περιοχών που εκτείνονται εκατέρωθεν του ισημερινού.

Όπως προκύπτει από τη εκτελεσθείσα ανάλυση των τιμών και της κατανομής των γωνιακών και των επιφανειακών παραμορφώσεων, καθώς και άλλων παραμέτρων αξιολόγησης, όπως οι συντελεστές ορθοδρομικότητας και λοξοδρομικότητας, οι προτεινόμενοι κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για χρήση σε ΣΗΝΧ καλύπτουν με τον καλύτερο δυνατό συγκερασμό τις καθορισθείσες τρεις επιθυμητές ιδιότητες (περιορισμός παραμορφώσεων, πιστότητα εικόνας ορθοδρομίας/λοξοδρομίας και δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης). Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώθηκε και στην εκτελεσθείσα περίπτωση μελέτης για τον πλου από το λιμένα Πειραιά μέχρι τη διώρυγα Παναμά (Παράρτημα Ι).

Επισημαίνεται ότι οι προτεινόμενοι κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ (§ 6.6), αφορούν την απεικόνιση στην οθόνη του ΣΗΝΧ περιοχών μεγάλης γεωγραφικής έκτασης (μικρές κλίμακες) για πλόδες μεγάλων αποστάσεων.

Για περιοχές μικρής γεωγραφικής έκτασης (μεγάλες κλίμακες), η επιλογή της πλέον κατάλληλης χαρτογραφικής απεικόνισης δεν έχει ουσιαστική σημασία τόσο για το “μέγεθος και την κατανομή των παραμορφώσεων”, όσο και για τη “μορφή των γραμμών απεικόνισης της

ορθοδρομίας και της λοξοδρομίας”. Στις περιπτώσεις αυτές, όλες οι απεικονίσεις πρακτικά δεν έχουν διαφορές γιατί, αφενός μεν παρουσιάζουν ελαχιστότατες παραμορφώσεις, αφ’ ετέρου δε οι γραμμές της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας ταυτίζονται.

6.6 Προτεινόμενοι κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ

Από τη σύνθεση των συμπερασμάτων της αξιολόγησης των απεικονίσεων σύμφωνα με τα αποτελέσματα των τριών προσεγγίσεων που εξετάστηκαν⁶, προκύπτουν οι επόμενοι κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ:

- i. Όταν η θέση της γεωγραφικής περιοχής που απεικονίζεται στην οθόνη του συστήματος σε συνδυασμό με την επιλογή της κλίμακας απεικόνισης από το χρήστη αντιστοιχεί σε γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης $[-24^{\circ} \ 24^{\circ}]$, τότε επιλέγεται η ορθή μερκατορική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0=15^{\circ}$.
- ii. Όταν η θέση της γεωγραφικής περιοχής που απεικονίζεται στην οθόνη του συστήματος σε συνδυασμό με την επιλογή της κλίμακας απεικόνισης από το χρήστη αντιστοιχεί σε γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης $[24^{\circ} \ 37^{\circ}]$, τότε επιλέγεται η κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0=30^{\circ}$.
- iii. Όταν η θέση της γεωγραφικής περιοχής που απεικονίζεται στην οθόνη του συστήματος σε συνδυασμό με την επιλογή της κλίμακας απεικόνισης από τον χρήστη, αντιστοιχεί σε γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους εντός της ζώνης $[37^{\circ} \ 49^{\circ}]$, τότε επιλέγεται η κυλινδρική στερεογραφική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0=45^{\circ}$.
- iv. Για γεωγραφικές περιοχές με όρια γεωγραφικού πλάτους διαφορετικά από αυτά των παραπάνω περιπτώσεων i, ii και iii, και έκταση μικρότερη του ημισφαιρίου, καταλληλότερη κρίνεται η αξιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε θέση που επιλέγεται ως εξής:
 - ο Για γεωγραφικές περιοχές με περίπου το ίδιο εύρος γεωγραφικού πλάτους εκατέρωθεν του ισημερινού, η αξιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή.
 - ο Για γεωγραφικές περιοχές, στις οποίες το μέγιστο γεωγραφικό πλάτος υπερβαίνει τον παράλληλο των 45° , η αξιμουθιακή ισαπέχουσα με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος που προσδιορίζεται ανάλογα με τα όρια της γεωγραφικής περιοχής ενδιαφέροντος. Στις περισσότερες περιπτώσεις η επιλογή του κεντρικού σημείου σε γεωγραφικό πλάτος $\phi_0=15^{\circ}$ δίνει πολύ καλά αποτελέσματα⁷.
- v. Για την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών έκτασης μεγαλύτερης του ημισφαιρίου, στις οποίες κατά κανόνα δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη ικανοποίηση της απαίτησης ελαχιστοποίησης των τιμών και ελέγχου της κατανομής των παραμορφώσεων και της επιθυμητής για τη ναυσιπλοΐα μορφής των μεσημβρινών και παραλλήλων με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες, αν είναι επιθυμητή η διατήρηση αυτής της μορφής των μεσημβρινών και παραλλήλων, μπορεί να παρακαμφθεί η απαίτηση για τον περιορισμό των επιφανειακών παραμορφώσεων σε τιμές μικρότερες του 12%, και να χρησιμοποιηθεί η προτεινόμενη νέα μορφή της συμβατικής κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0=30^{\circ}$. Η απεικόνιση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι περιορίζει δραστικά τις σημαντικότητες επιφανειακές παραμορφώσεις της μερκατορικής, ενώ για εύρος γεωγραφικού πλάτους $[-59^{\circ} \ 59^{\circ}]$ διατηρεί τις γωνιακές παραμορφώσεις σε όρια μικρότερα από 8° που δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες αλλοιώσεις.
- vi. Για την απεικόνιση ολόκληρης της υδρογείου με έντονη ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων σε μία εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος, είναι προσφορότερη η λοξιμουθιακή απεικόνιση με κατάλληλη επιλογή του κεντρικού σημείου.

⁶ Βλ. § 6.2, § 6.3 και § 6.4.

⁷ Η χρήση της ισαπέχουσας αξιμουθιακής απεικόνισης σε ΣΗΝΧ με επιλογή του κεντρικού σημείου σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, όπως η πολική μορφή, ή η πλάγια με κεντρικό σημείο σε γεωγραφικό πλάτος 60° , δεν έχει καμία πρακτική σημασία (§ 6.2).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Συνοπτική επισκόπηση των αποτελεσμάτων της διδακτορικής διατριβής

Ο βασικός σκοπός της διδακτορικής διατριβής ήταν η διερεύνηση των μεθόδων επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας καθώς και των γενικών αρχών και μεθόδων επιλογής και υλοποίησης χαρτογραφικών απεικονίσεων για την ανάδειξη νέων βελτιωμένων μεθόδων, τόσο για την ακριβέστερη σχεδίαση του πλου, όσο και για την πιστότερη απεικόνιση δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων στα Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ). Εν τούτοις τα αποτελέσματα της έρευνας είναι δυνατό να αξιοποιηθούν και σε άλλες εφαρμογές, όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

Οι βασικές αρχές, στις οποίες βασίστηκε η έρευνα είναι:

- ✓ Η βελτίωση των δυνατοτήτων του λογισμικού των ΣΗΝΧ για την εκτέλεση υπολογισμών μήκους αποστάσεων πλου ακριβείας υψηλότερης από τις μεθόδους της παραδοσιακής ναυτιλίας, οι οποίες πολλές φορές για πλόες πολύ μεγάλων αποστάσεων παρέχουν αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές της τάξεως των τριάντα περίπου χιλιομέτρων (Pallikaris and Latsas 2009).
- ✓ Η υιοθέτηση ρεαλιστικών για τη ναυσιπλοΐα απαιτήσεων ακριβείας για τον υπολογισμό αποστάσεων πλου.
- ✓ Η ελαχιστοποίηση των τιμών και ο έλεγχος της κατανομής των παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλοιώσεις της πραγματικότητας.
- ✓ Η πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου.
- ✓ Η δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού με βάση τη σχετική θέση δύο σημείων της οθόνης, η οποία εξασφαλίζεται όταν οι μεσημβρινοί και οι παράλληλοι πλάτους απεικονίζονται με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες.
- ✓ Η επιλογή της - κατά περίπτωση - βέλτιστης χαρτογραφικής απεικόνισης για την απόδοση των ναυτιλιακών χαρτογραφικών στοιχείων.

Δεδομένου ότι η επιθυμητή δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού με βάση τη σχετική θέση δύο σημείων της οθόνης δεν είναι δυνατό να υλοποιηθεί ταυτόχρονα με την επίσης επιθυμητή πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου, οι κανόνες επιλογής που προκύπτουν από την εκτελεσθείσα αξιολόγηση αποσκοπούν στον καλύτερο δυνατό συγκερασμό των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών.

7.1.1 Αποτελέσματα για άμεση αξιοποίηση στη βελτίωση της λειτουργικότητας των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ)

Τα αποτελέσματα της έρευνας, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν άμεσα για τη βελτίωση της λειτουργικότητας των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ), είναι:

- Η προτεινόμενη μέθοδος και ο αλγόριθμος ακριβέστερης και συγχρόνως ταχύτερης επίλυσης των προβλημάτων λοξοδρομικού πλου¹ (ευθέος και αντιστρόφου). Με τον προτεινόμενο αλγόριθμο υπολογίζονται και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων της λοξοδρομίας στο ελλειψοειδές για την ακριβέστερη απεικόνιση των δρομολογίων του λοξοδρομικού πλου στην οθόνη του ΣΗΝΧ με χρήση οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης (κεφάλαιο 2, § 2.2).

¹ Η προτεινόμενη μέθοδος και ο αλγόριθμος επίλυσης του ευθέος και του αντιστρόφου λοξοδρομικού προβλήματος στην επιφάνεια του ΕΕΠ δημοσιεύτηκε στα πρακτικά της ENC-GNSS 2009 [Pallikaris et al. 2009a] και στο περιοδικό “Coordinates” [Pallikaris et al. 2010].

- Η προτεινόμενη νέα ολοκληρωμένη μέθοδος και ο αλγόριθμος επίλυσης του ευθέος και του αντίστροφου προβλήματος στη μέγιστη έλλειψη (κεφάλαιο 2, § 2.5). Με τη μέθοδο αυτή² επιτυγχάνεται ακρίβεια που για τις ανάγκες της ναυσιπλοΐας πρακτικά ταυτίζεται με αυτή της γεωδαισιακής. Επίσης υπολογίζονται άμεσα οι γεωδαιτικές συντεταγμένες μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σημείων του μέγιστου ελλειπτικού τόξου για την ακριβέστερη απεικόνιση των αντίστοιχων δρομολογίων στην οθόνη του συστήματος με χρήση οποιασδήποτε χαρτογραφικής απεικόνισης.
- Το προϊόν της διερεύνησης των μεθόδων διπλού μετασχηματισμού του ΕΕΠ (στη σφαίρα και στη συνέχεια στο επίπεδο) για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των χαρτογραφικών απεικονίσεων, για τις οποίες υφίστανται συναρτήσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού μόνο στη σφαίρα (κεφάλαιο 3). Για χρήση σε ΣΗΝΧ προτείνεται ο ενδιάμεσος μετασχηματισμός του ελλειψοειδούς σε ισαπέχουσα στη διεύθυνση των μεσημβρινών σφαίρα. Ο μετασχηματισμός αυτός παρά το ότι δεν είναι ούτε σύμμορφος ούτε ισοδύναμος, δεν εμφανίζει μεγάλες τιμές γραμμικών ή γωνιακών παραμορφώσεων όπως η σύμμορφη και η ισοδύναμη σφαίρα αντιστοίχως. Επίσης η ισαπέχουσα στους μεσημβρινούς σφαίρα εμφανίζει μικρότερες γωνιακές και επιφανειακές παραμορφώσεις από την ισαπέχουσα στους παραλλήλους σφαίρα.
- Η επιλογή χαρτογραφικών απεικονίσεων για χρήση σε ΣΗΝΧ, με τις οποίες εξασφαλίζεται τόσο η ελαχιστοποίηση των τιμών και ο έλεγχος της κατανομής των παραμορφώσεων σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλοιώσεις της πραγματικότητας, όσο και η εξασφάλιση στον καλύτερο δυνατό βαθμό των παρακάτω βασικών για τη ναυσιπλοΐα χαρακτηριστικών: i) πιστότερη απεικόνιση της ορθοδρομίας και λοξοδρομίας, ii) δυνατότητα άμεσου οπτικού προσανατολισμού της σχετικής θέσης δύο σημείων της οθόνης ή ισοδύναμα απεικόνισης των μεσημβρινών και παραλλήλων με ορθογώνια τεμνόμενες ευθείες. Πιο συγκεκριμένα οι απεικονίσεις που επιλέχθηκαν για χρήση σε ΣΗΝΧ, είναι:
 - η Μερκατορική,
 - η κυλινδρική στερεογραφική με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0=30^\circ$,
 - η κυλινδρική Miller,
 - η Αζιμουθιακή Ισαπέχουσα και
 - η Λοξιμουθιακή.
- Οι προτεινόμενοι κανόνες επιλογής των πλέον κατάλληλων χαρτογραφικών απεικονίσεων για ΣΗΝΧ ανάλογα με τη θέση και την έκταση της απεικονιζόμενης στην οθόνη γεωγραφικής περιοχής. Με τους κανόνες αυτούς επιλέγεται η κατά περίπτωση καταλληλότερη απεικόνιση μεταξύ των πέντε απεικονίσεων που επιλέχθηκαν για χρήση σε ΣΗΝΧ.
- Η αξιοπιστία και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της έρευνας ελέγχθηκαν με:
 - i. την εκτέλεση συγκριτικής αξιολόγησης των αριθμητικών αποτελεσμάτων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου, ορθοδρομικού πλου, πλου στη γεωδαισιακή γραμμή και πλου στη μέγιστη έλλειψη (κεφάλαιο 2),
 - ii. τον υπολογισμό και την ανάλυση των παραμορφώσεων των μεθόδων διπλού μετασχηματισμού του ΕΕΠ (στη σφαίρα και στη συνέχεια στο επίπεδο) [κεφάλαιο 3] και
 - iii. τον υπολογισμό και την ανάλυση των παραμορφώσεων και των λοιπών παραμέτρων αξιολόγησης της πιστότητας της οπτικοποίησης των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων (κεφάλαια 5 και 6).

² Η προτεινόμενη μέθοδος και ο αλγόριθμος επίλυσης του ευθέος και του αντίστροφου προβλήματος πλου στη μέγιστη έλλειψη δημοσιεύτηκε στο περιοδικό “Journal of Navigation” [Pallikaris and Latsas 2009].

7.1.2 Αποτελέσματα για αξιοποίηση σε άλλες, πλην της βελτίωσης της λειτουργικότητας των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ), εφαρμογές

Οι προτάσεις που αναφέρθηκαν στην παραπάνω ενότητα 7.1.1 βασίζονται στα αποτελέσματα της διερεύνησης διαφόρων θεμάτων, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν και σε άλλες πλην της βελτίωσης της λειτουργικότητας των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ) εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα που αφορούν σε επί μέρους θέματα της διατριβής, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν και σε άλλες εφαρμογές, είναι:

- Οι προτεινόμενοι νέοι τύποι υπολογισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού στο ΕΕΠ³ μπορούν να αξιοποιηθούν άμεσα για την αναθεώρηση/αναβάθμιση των μεθόδων επίλυσης προβλημάτων λοξοδρομικού πλου, οι οποίες παρουσιάζονται στα κλασικά συγγράμματα της παραδοσιακής ναυτιλίας (AMN 1987/ Ντούνης και Δημαράκης 2001/ APN 2002/ Οικονομopoulos 2004). Με τους νέους αυτούς τύπους επιτυγχάνεται αφενός μεν σημαντική απλοποίηση των εκτελούμενων υπολογισμών, αφετέρου δε βελτίωση της επιτυγχανόμενης ακρίβειας.
- Το προϊόν της αναλυτικής συγκριτικής αξιολόγησης των μεθόδων υπολογισμού του μήκους του τόξου του μεσημβρινού στο ΕΕΠ είναι δυνατό να αξιοποιηθεί για την επιλογή της κατά περίπτωση καταλληλότερης μεθόδου υπολογισμού και σε άλλες, εκτός από την επίλυση των ναυτιλιακών προβλημάτων εφαρμογές, όπως:
 - στους υπολογισμούς του μήκους της γεωδαισιακής,
 - στις συναρτήσεις για τον ευθύ και τον αντίστροφο μετασχηματισμό της επιφάνειας του ΕΕΠ σε σφαίρα και
 - στις συναρτήσεις του χαρτογραφικού μετασχηματισμού των κυλινδρικών και κωνικών απεικονίσεων.
- Τα συμπεράσματα της διερεύνησης των μεθόδων διπλού μετασχηματισμού του ΕΕΠ (σε σφαίρα και στη συνέχεια σε επίπεδο), για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των χαρτογραφικών απεικονίσεων, για τις οποίες υφίστανται συναρτήσεις χαρτογραφικού μετασχηματισμού μόνο στη σφαίρα, είναι δυνατό να αξιοποιηθούν και σε άλλες, πλην της βελτίωσης της λειτουργικότητας των Συστημάτων Ηλεκτρονικού Χάρτη (ΣΗΝΧ) εφαρμογές κυρίως σε περιβάλλον ΣΓΠ, ανάλογα με τις ειδικές για την προοριζόμενη χρήση απαιτήσεις και τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας στον περιορισμό των διαφόρων κατηγοριών παραμορφώσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται η δυνατότητα επιλογής απεικονίσεων για τον περιορισμό των επιφανειακών παραμορφώσεων σε μη οπτικά εντοπίσιμες τιμές και των γωνιακών παραμορφώσεων στις μικρότερες δυνατές τιμές.
- Τα αποτελέσματα του υπολογισμού και της ανάλυσης των παραμορφώσεων των χαρτογραφικών απεικονίσεων που μελετήθηκαν (κεφάλαιο 5), ανεξάρτητα αν αυτές επιλέχθηκαν ή όχι για χρήση σε ΣΗΝΧ (αναλυτικά διαγράμματα κατανομής των επιφανειακών και γωνιακών παραμορφώσεων με το γεωγραφικό πλάτος, χάρτες με ελλείψεις παραμόρφωσης και με ισარიθμικές καμπύλες των γωνιακών και επιφανειακών παραμορφώσεων κλπ.), είναι δυνατό να αξιοποιηθούν άμεσα για την επιλογή της πλέον κατάλληλης απεικόνισης και για άλλες εφαρμογές, κυρίως σε περιβάλλον ΣΓΠ. Ως ενδεικτικό παράδειγμα αναφέρεται η ανάδειξη των δυνατοτήτων των κωνικών απεικονίσεων με δύο βασικούς παραλλήλους σε γεωγραφικά πλάτη $\varphi_1=40^\circ$ και $\varphi_2=80^\circ$. Οι απεικονίσεις αυτές για λόγους που τεκμηριώνονται στο σχετικό κεφάλαιο δεν επιλέχθηκαν μεν για χρήση σε ΣΗΝΧ, αλλά έχουν τη σημαντική ιδιότητα να περιορίζουν τις γωνιακές και επιφανειακές παραμορφώσεις σε όρια, τα οποία δεν δημιουργούν οπτικά εντοπίσιμες ή έντονες αλλοιώσεις της πραγματικότητας, σε περιοχές με πολύ μεγάλο εύρος γεωγραφικού πλάτους σε σχέση με την επιλογή των βασικών παραλλήλων σύμφωνα με τους καθιερωμένους κανόνες της αναλυτικής χαρτογραφίας.

³ Οι τύποι αυτοί δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό "International Hydrographic Review" [Pallikaris et al. 2009b].

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και εφαρμογές

Λαμβάνοντας υπόψη ότι:

- i. στην παρούσα διδακτορική διατριβή εξετάστηκαν τα θέματα της επίλυσης των θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας στο ΕΕΠ και της οπτικοποίησης δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων,
- ii. το θέμα της απεικόνισης χαρτογραφικών και ναυτιλιακών πληροφοριών σε πλόες μικρών αποστάσεων έχει εξετασθεί στη διδακτορική διατριβή του Porathe (2006),

προτείνονται για έρευνα τα παρακάτω θέματα:

- i. Διερεύνηση μεθόδων επίλυσης θεμελιωδών προβλημάτων ναυσιπλοΐας μεγάλων αποστάσεων στο τριαξονικό ελλειψοειδές και σύγκριση των αποτελεσμάτων επίλυσης με τις μεθόδους που προτείνονται στην παρούσα διατριβή για το ελλειψοειδές εκ περιστροφής (ΕΕΠ).
- ii. Διερεύνηση μεθόδων χαρτογραφικής απεικόνισης σε μεσαίες και μικρές κλίμακες με τη χρήση πολυεστιακών απεικονίσεων για την απεικόνιση λεπτομερέστερων χαρτογραφικών πληροφοριών σε κρίσιμα σημεία/περιοχές του πλου, όπως οι λιμένες αναχώρησης και προορισμού.

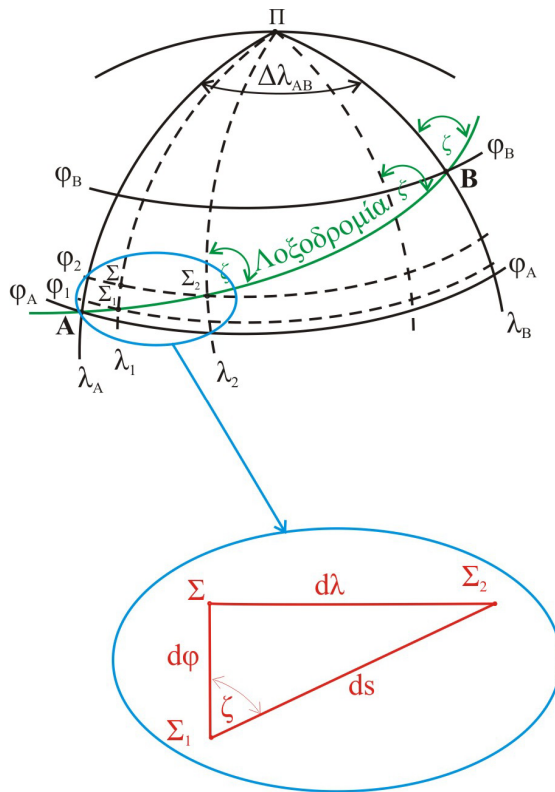
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΛΟΞΟΔΡΟΜΙΑΣ ΣΤΟ ΕΕΠ

Οι τύποι για την ακριβή επίλυση του λοξοδρομικού προβλήματος στο ΕΕΠ (κεφάλαιο 2, § 2.4) προέκυψαν από την ανάλυση της γεωμετρίας της λοξοδρομίας στο ΕΕΠ με την εξέταση ενός στοιχειώδους τμήματος ds της λοξοδρομίας μεταξύ των σημείων Σ_1 και Σ_2 . Η ανάλυση αυτή στηρίζεται στην ιδιότητα της λοξοδρομίας να τέμνει τους μεσημβρινούς με σταθερή γωνία.

Στο σχήμα Α-1, η γραμμή ΑΒ είναι η λοξοδρομία, η οποία διέρχεται από τα σημεία Α και Β της επιφάνειας του ΕΕΠ και τέμνει τους μεσημβρινούς με σταθερή γωνία ζ . Αν θεωρηθεί ένα στοιχειώδες τμήμα ds της λοξοδρομίας μεταξύ των σημείων Σ_1 και Σ_2 , τότε, από το τρίγωνο $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma$, προκύπτει ότι οι κατά τις διευθύνσεις του παραλλήλου και του μεσημβρινού μετακινήσεις του σημείου Σ_1 δίνονται από τις (Α.1) και (Α.2) αντιστοίχως. Οι σχέσεις αυτές αποτελούν τους γνωστούς τύπους υπολογισμού του μήκους του τόξου μεσημβρινού και του μήκους του τόξου παραλλήλου πλάτους.

$$\Sigma\Sigma_2 = R_N \cos\varphi d\lambda \quad (\text{Α.1})$$

$$\Sigma_1\Sigma = R_M d\varphi \quad (\text{Α.2})$$



Σχήμα Α-1: Ανάλυση γεωμετρίας λοξοδρομίας στο ΕΕΠ

Όπου R_M και R_N είναι οι ακτίνες καμπυλότητας της μεσημβρινής έλλειψης και της πρώτης κάθετης τομής που δίνονται από τους γνωστούς τύπους (Α.3) και (Α.4) της γεωδαισίας.

$$R_M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2\sin^2\varphi)^{3/2}} \quad (\text{Α.3})$$

$$R_N = \frac{a}{(1-e^2\sin^2\varphi)^{1/2}} \quad (\text{Α.4})$$

Η γωνία ζ που σχηματίζει η λοξοδρομία με τους μεσημβρινούς (πορεία λοξοδρομικού πλου) δίνεται από την (Α.5):

$$\tan \zeta = \frac{\Sigma_1 \Sigma}{\Sigma \Sigma_2} = \frac{R_N \cos \varphi d\lambda}{R_M d\varphi} \quad (\text{Α.5})$$

Από την (Α.5) προκύπτει η

$$d\lambda = \tan \zeta \frac{R_M}{R_N \cos \varphi} d\varphi \quad (\text{Α.6})$$

Αν στην (Α.6) τεθούν οι τιμές R_M και R_N , από τις (Α.3) και (Α.4), προκύπτει:

$$d\lambda = \tan \zeta \frac{\frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}}{\frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \cos \varphi} d\varphi$$

$$d\lambda = \tan \zeta \frac{a(1-e^2)(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2} a \cos \varphi} d\varphi$$

$$d\lambda = \tan \zeta \frac{(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} \cos \varphi} d\varphi \quad (\text{Α.7})$$

$$\frac{d\lambda}{d\varphi} = \tan \zeta \frac{(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} \cos \varphi} \quad (\text{Α.8})$$

Από το σχήμα Α.1, προκύπτει ότι το στοιχειώδες τμήμα ds της λοξοδρομίας είναι ίσο με:

$$ds = \sqrt{(R_N \cos \varphi d\lambda)^2 + (R_M d\varphi)^2} \quad (\text{Α.9})$$

Αν στη (2-Α-9) τεθούν οι τιμές των R_M , R_N , και $d\lambda$ από τις (Α.3), (Α.4) και (Α.10), προκύπτει:

$$ds = \sqrt{\left(\frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} \cos \varphi \tan \zeta \frac{(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2} \cos \varphi} d\varphi \right)^2 + \left(\frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} d\varphi \right)^2}$$

$$\frac{ds}{d\varphi} = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} \sec \zeta \quad (\text{Α.10})$$

Από την ολοκλήρωση της (Α.8) και λαμβάνοντας υπόψη, ότι ο όρος $\tan \zeta$ έχει σταθερή τιμή για όλα τα σημεία της λοξοδρομικής καμπύλης, προκύπτει:

$$\Delta \lambda = \tan \zeta \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left(\frac{1-e^2 \sin^2 \varphi}{(1-e^2) \cos \varphi} \right) d\varphi \quad (\text{Α.11})$$

Το ολοκλήρωμα στο δεξιό μέρος της (Α.11) αποτελεί το βασικό ολοκλήρωμα της σύμμορφης κυλινδρικής απεικόνισης του ΕΕΠ στο επίπεδο και η τιμή του δίνεται τόσο στα βασικά εγχειρίδια της αναλυτικής χαρτογραφίας, όσο και στους πίνακες ολοκληρωμάτων της μαθηματικής βιβλιογραφίας. Αν στην (Α.11) τεθεί η γνωστή τιμή του ολοκληρώματος αυτού (Grafarend and Krumboltz, 2006, pg 264), προκύπτει:

$$\Delta\lambda = \tan\zeta \left\{ \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin\varphi}{1 + e \sin\varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right] \right\}_{\varphi_1}^{\varphi_2} \quad (\text{A.12})$$

Από την (A.12) προκύπτει η επόμενη βασική εξίσωση υπολογισμού της πορείας του λοξοδρομικού πλου.

$$\tan\zeta = \frac{\Delta\lambda}{\ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin\varphi}{1 + e \sin\varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right]_{\varphi_1}^{\varphi_2}} \quad (\text{A.13})$$

Από την ολοκλήρωση της (A.10) και λαμβάνοντας υπόψη, ότι ο όρος $\tan\zeta$ έχει σταθερή τιμή για όλα τα σημεία της λοξοδρομικής καμπύλης, προκύπτει η επόμενη βασική εξίσωση υπολογισμού της απόστασης του λοξοδρομικού πλου:

$$s = \sec\zeta a (1 - e^2) \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (\text{A.14})$$

Η (A.14) λαμβάνει τη μορφή της (A.15), στην οποία ο όρος M δίνεται από την (A.16).

$$s = \sec\zeta M \quad (\text{A.15})$$

$$M = a (1 - e^2) \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (\text{A.16})$$

Η (A.16) αποτελεί το γνωστό τύπο της γεωδαισίας για τον υπολογισμό του μήκους του τόξου του μεσημβρινού που περιλαμβάνεται μεταξύ των παραλλήλων πλάτους φ_1 και φ_2 (Βέης κ.α 1992). Ο υπολογισμός του ελλειπτικού ολοκληρώματος της (A.16) γίνεται με ανάπτυξη σε σειρά [κεφάλαιο 2, § 2.5, (2.2.28)].

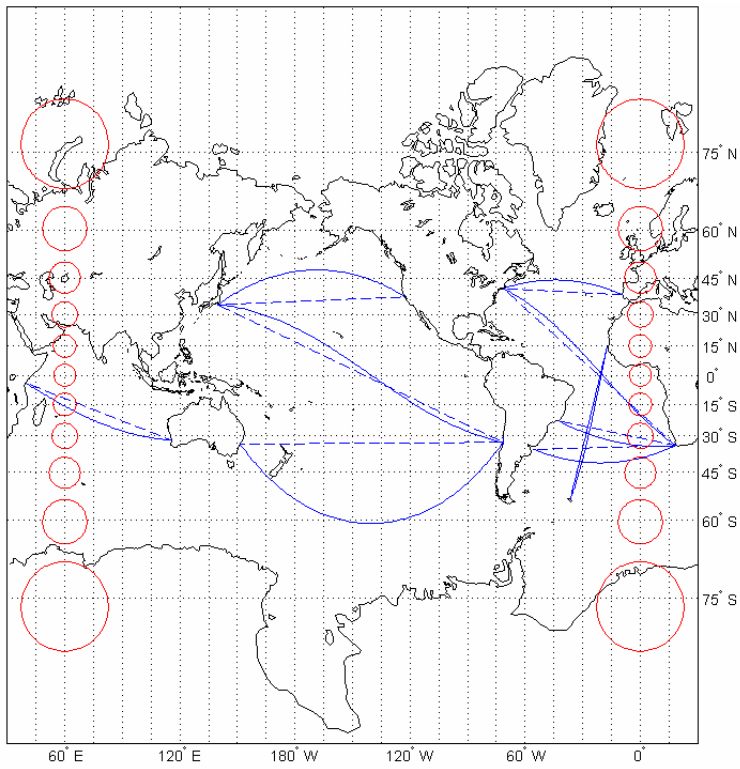
ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ
ΧΑΡΤΕΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

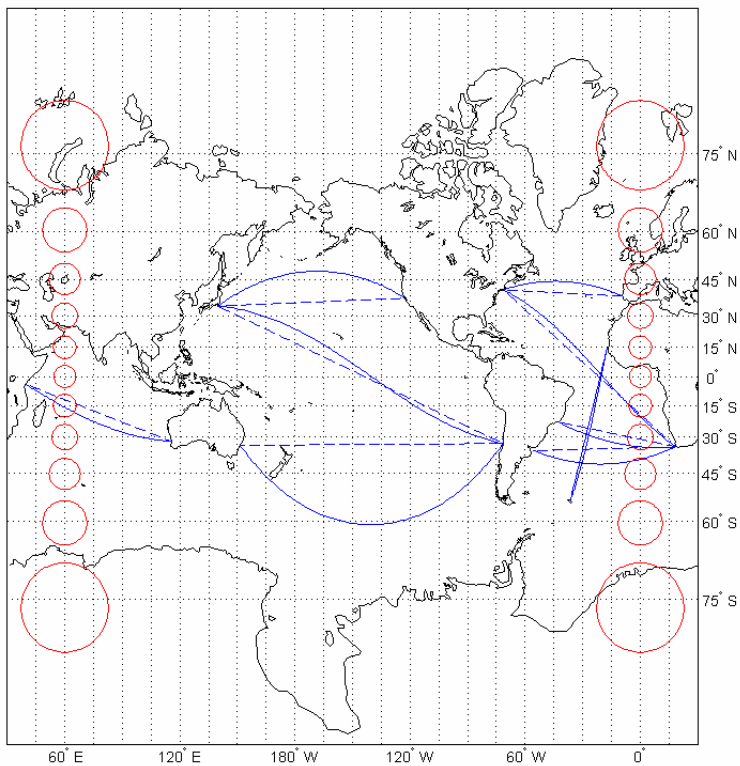
Στους χάρτες κυλινδρικών απεικονίσεων του παρόντος παραρτήματος απεικονίζονται επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων και ελλείψεις παραμόρφωσης για την αρχική εκτίμηση του μεγέθους των παραμορφώσεων και της πιστότητας οπτικοποίησης των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων για κάθε εξεταζόμενη χαρτογραφική απεικόνιση.

Οι χάρτες του παραρτήματος Β αφορούν τις επόμενες κυλινδρικές απεικονίσεις:

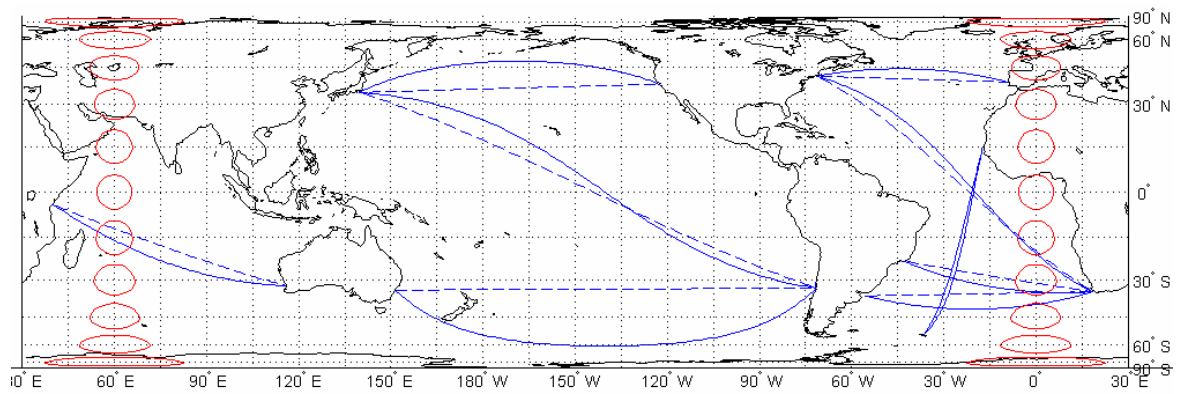
- Σχήμα Β-1: Ισημερινή μερκατορική
- Σχήμα Β-2: Ορθή μερκατορική με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°
- Σχήμα Β-3: Κυλινδρική ισοδύναμη ισημερινή κυλινδρική
- Σχήμα Β-4: Κυλινδρική ισοδύναμη με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°
- Σχήμα Β-5: Κυλινδρική ισοδύναμη με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°
- Σχήμα Β-6: Κυλινδρική ισοδύναμη με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°
- Σχήμα Β-7: Κυλινδρική ισαπέχουσα ισημερινή
- Σχήμα Β-8: Κυλινδρική ισαπέχουσα με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°
- Σχήμα Β-9: Κυλινδρική ισαπέχουσα με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°
- Σχήμα Β-10: Κυλινδρική ισαπέχουσα με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°
- Σχήμα Β-11: Συμβατική κυλινδρική του Miller
- Σχήμα Β-12: Στερεογραφική κυλινδρική του Gall (με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°)
- Σχήμα Β-13: Στερεογραφική κυλινδρική του Σοβιετικού Άτλαντα BASM (με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°).



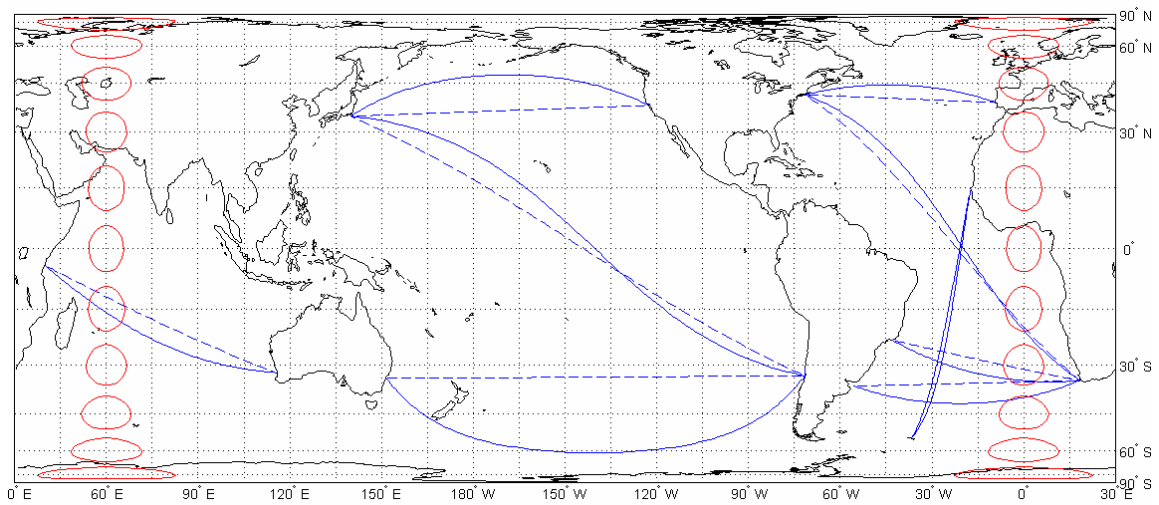
Σχ. Β-1: Ισημερινή μερκατορική απεικόνιση



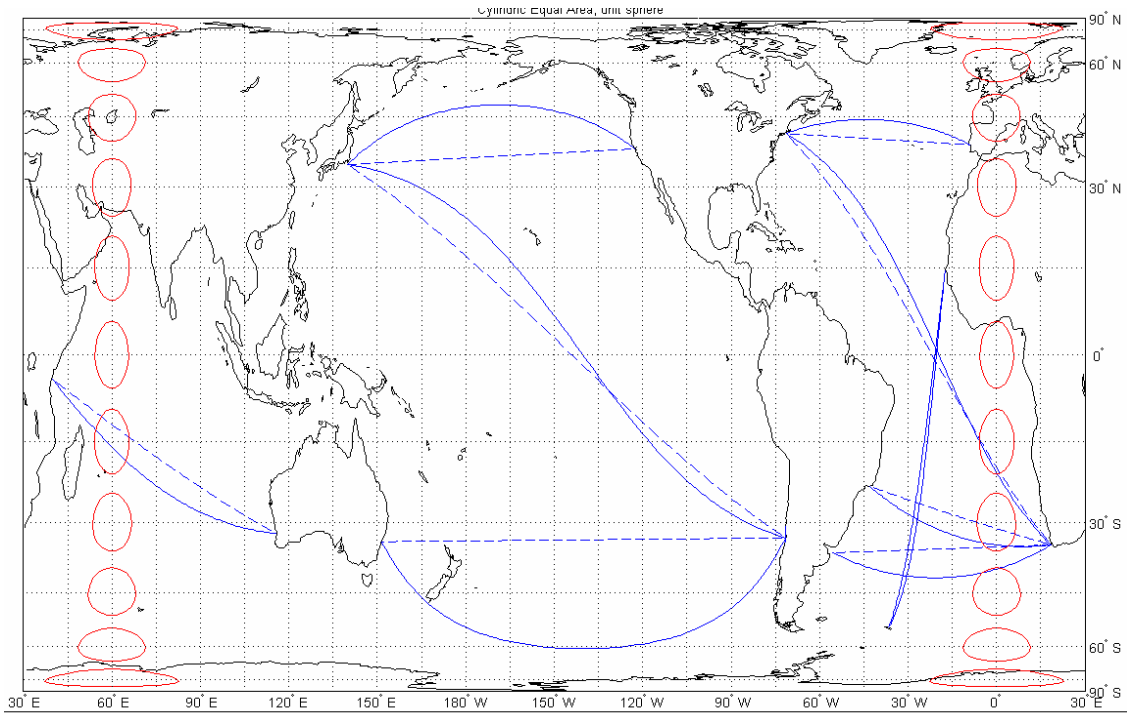
Σχ. Β-2: Ορθή μερκατορική απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°



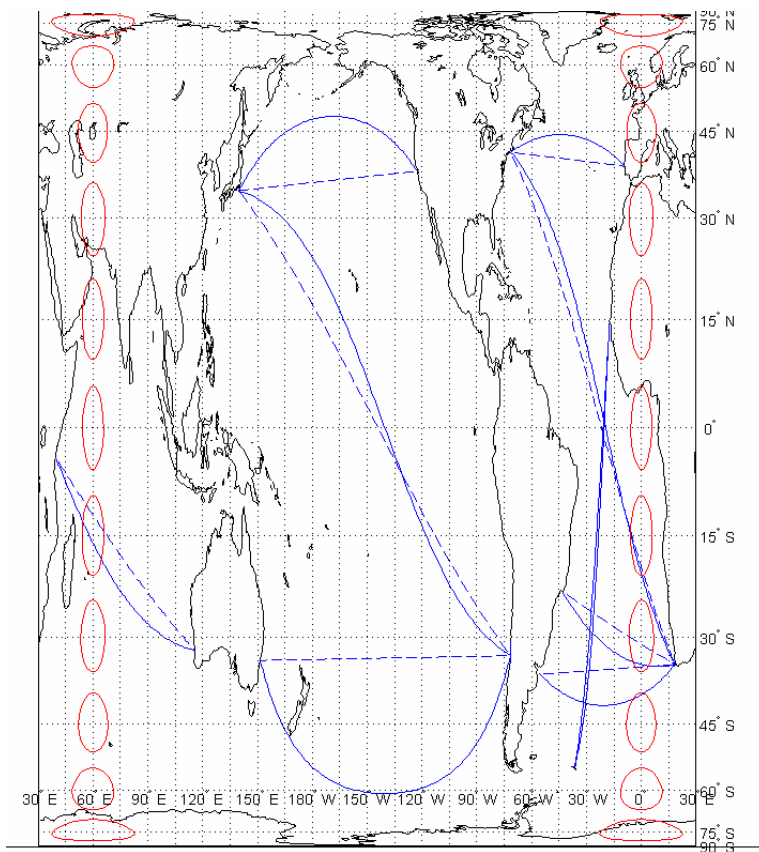
Σχ. Β-3: Κυλινδρική ισοδύναμη σημερινή απεικόνιση



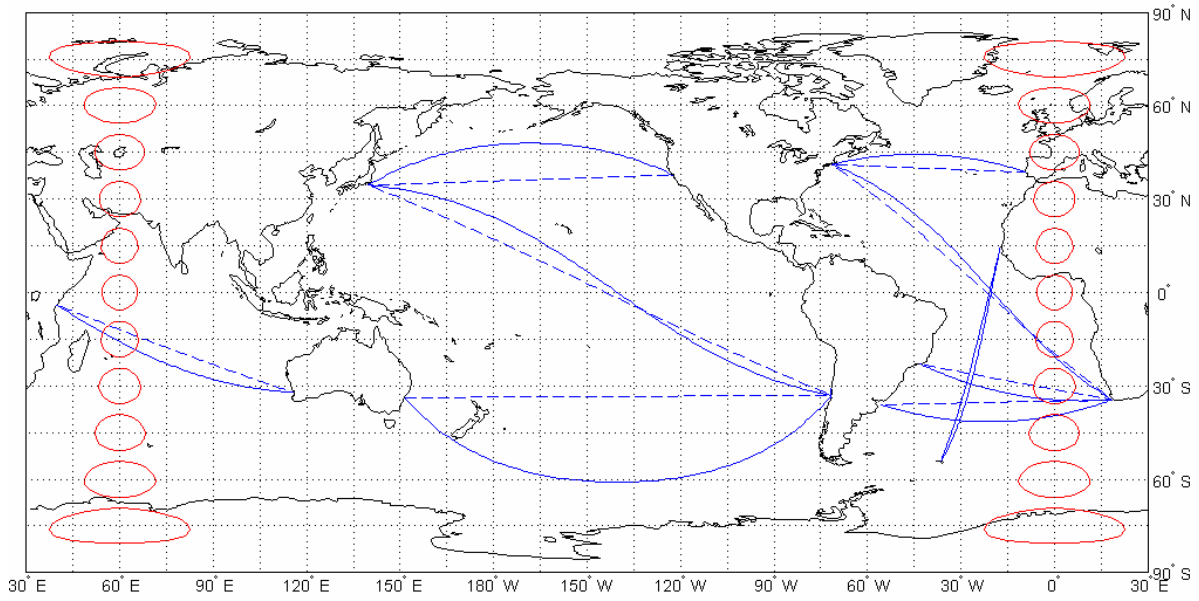
Σχ. Β-4: Κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°



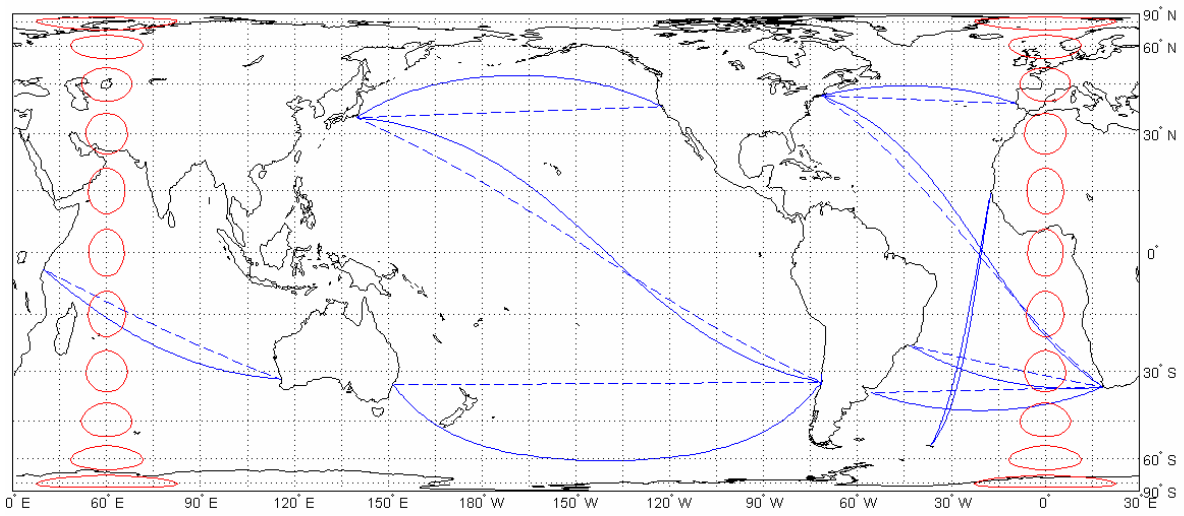
Σχ. Β-5: Κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°



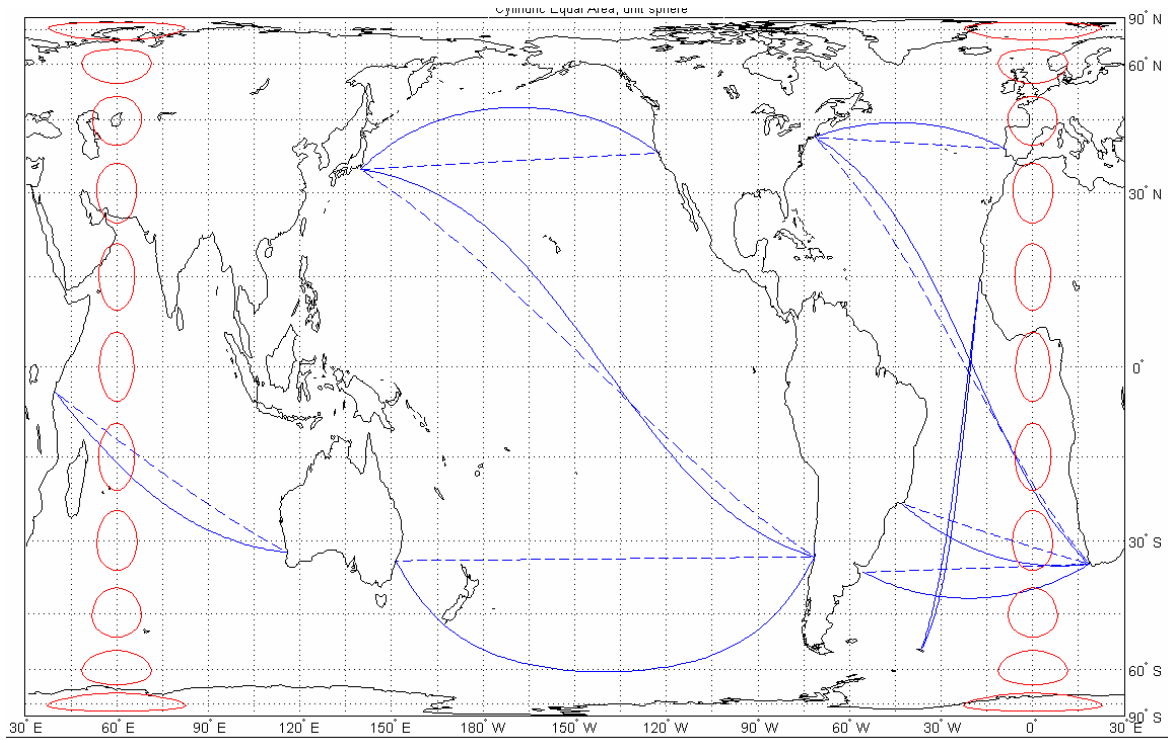
Σχ. Β-6: Κυλινδρική ισοδύναμη απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°



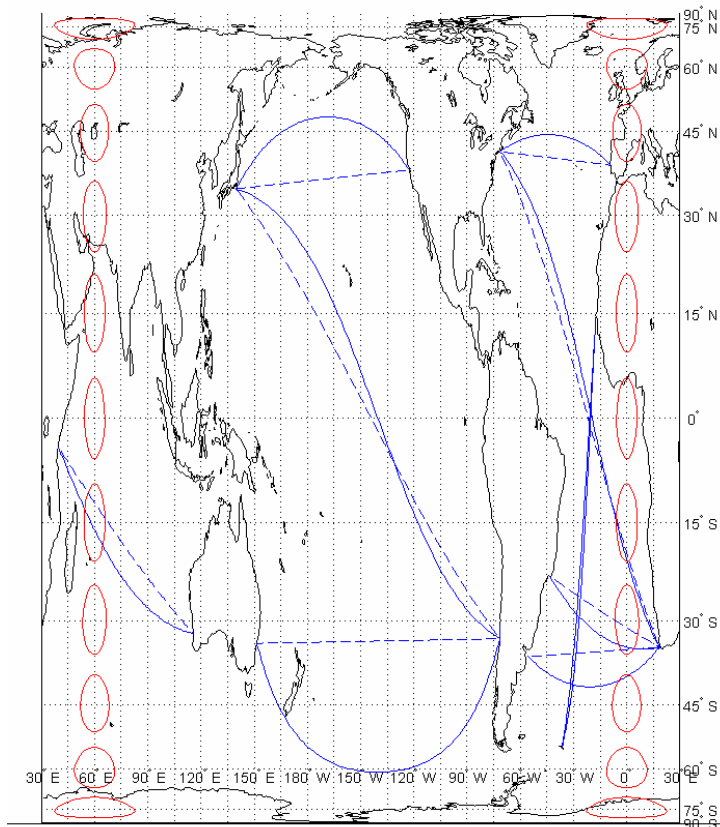
Σχ. Β-7: Κυλινδρική ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση



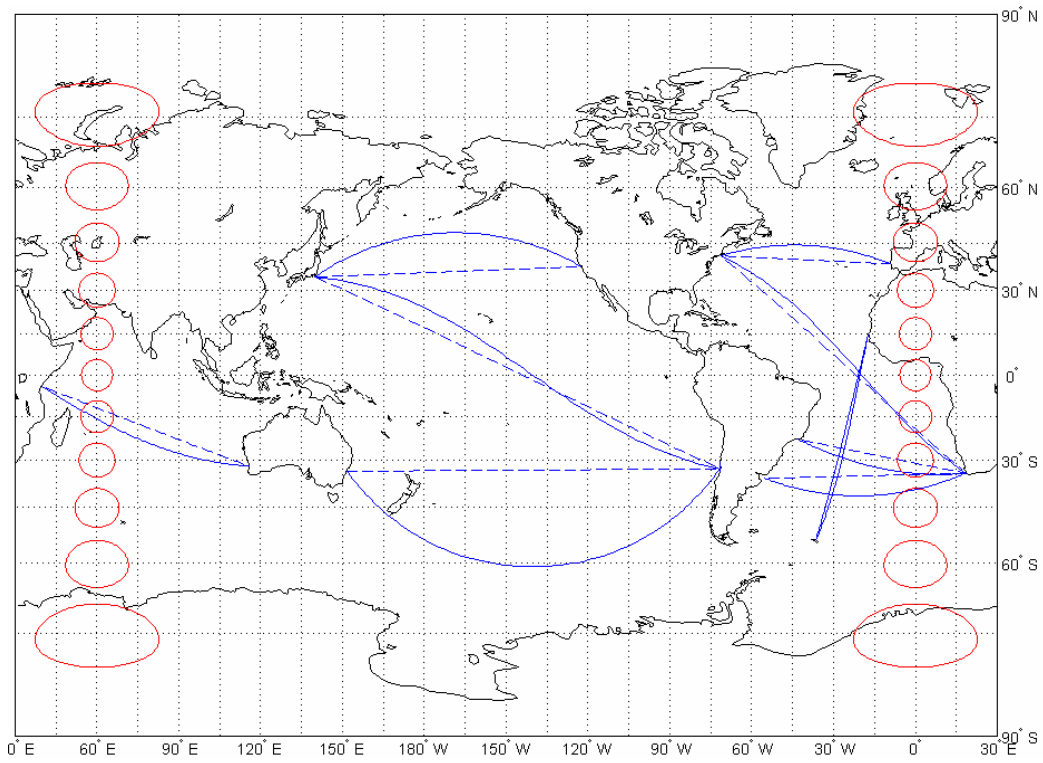
Σχ. Β-8: Κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 30°



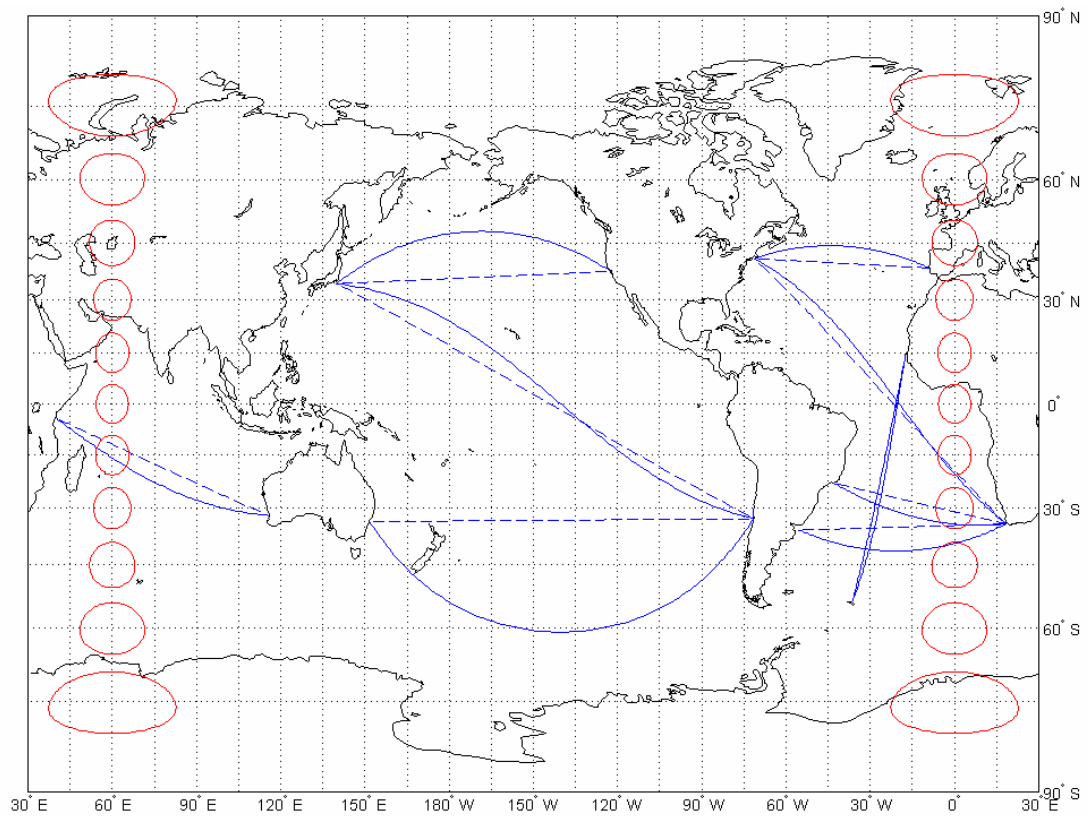
Σχ. Β-9: Κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 45°



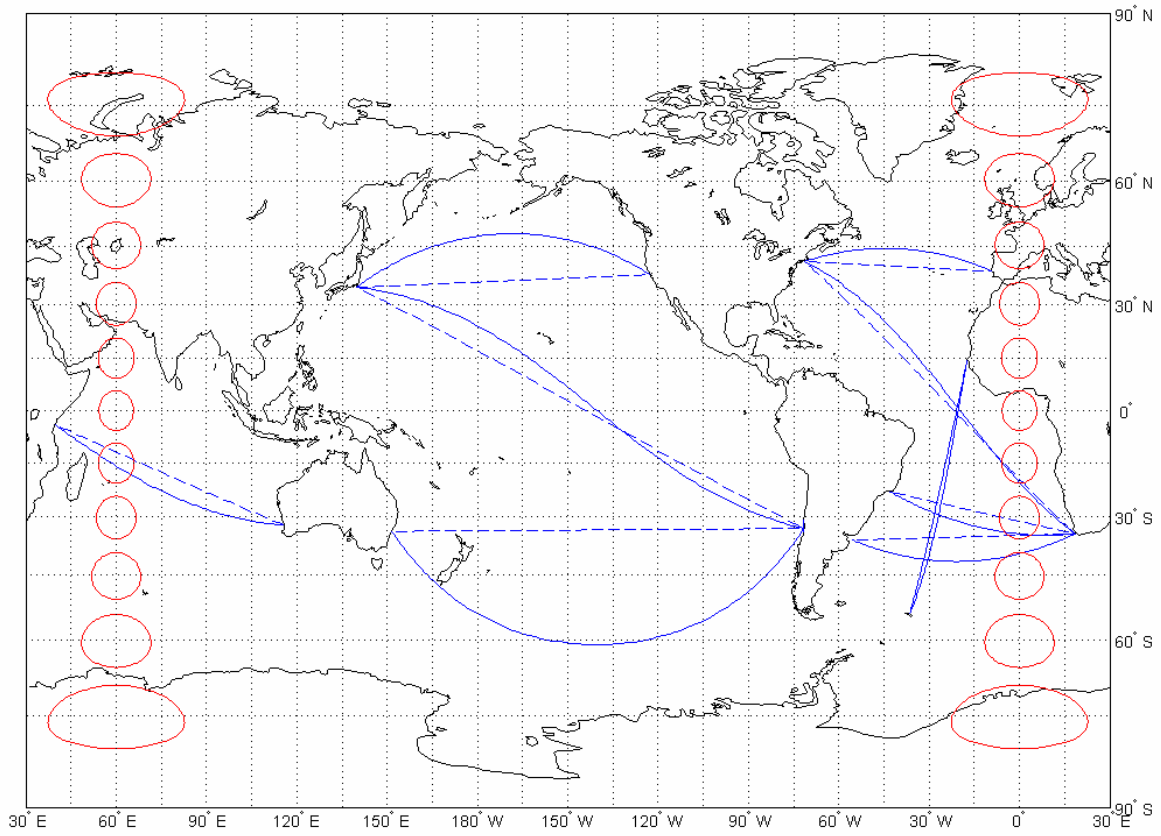
Σχ. Β-10: Κυλινδρική ισαπέχουσα απεικόνιση με βασικό παράλληλο σε πλάτος 60°



Σχ. Β-11: Συμβατική κυλινδρική απεικόνιση του Miller



Σχ. Β-12: Στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση του Gall



Σχ. Β-13: Στερεογραφική κυλινδρική απεικόνιση του Σοβιετικού άτλαντα ΒΑΣΜ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ
ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΚΩΝΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

Στους χάρτες κωνικών απεικονίσεων του παρόντος παραρτήματος απεικονίζονται επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων και ελλείψεις παραμόρφωσης για την αρχική εκτίμηση του μεγέθους των παραμορφώσεων και της πιστότητας οπτικοποίησης των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση. Οι χάρτες αυτοί ταξινομούνται στις επόμενες ομάδες:

1^η ομάδα: Αφορά την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μέσω γεωγραφικών πλατών ($30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$).

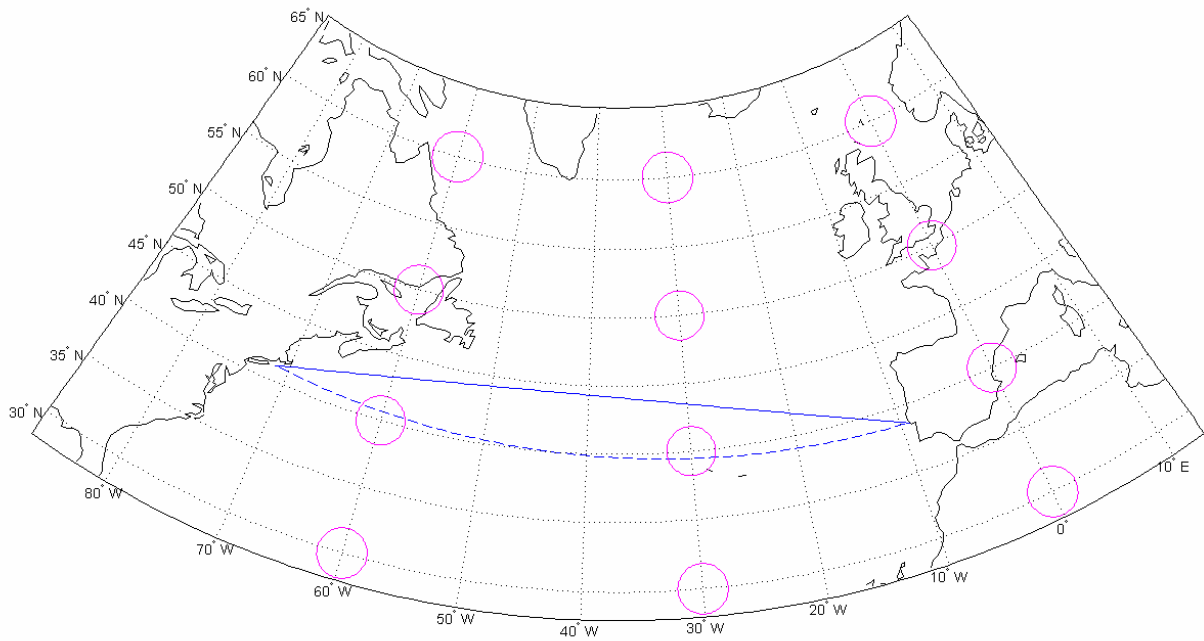
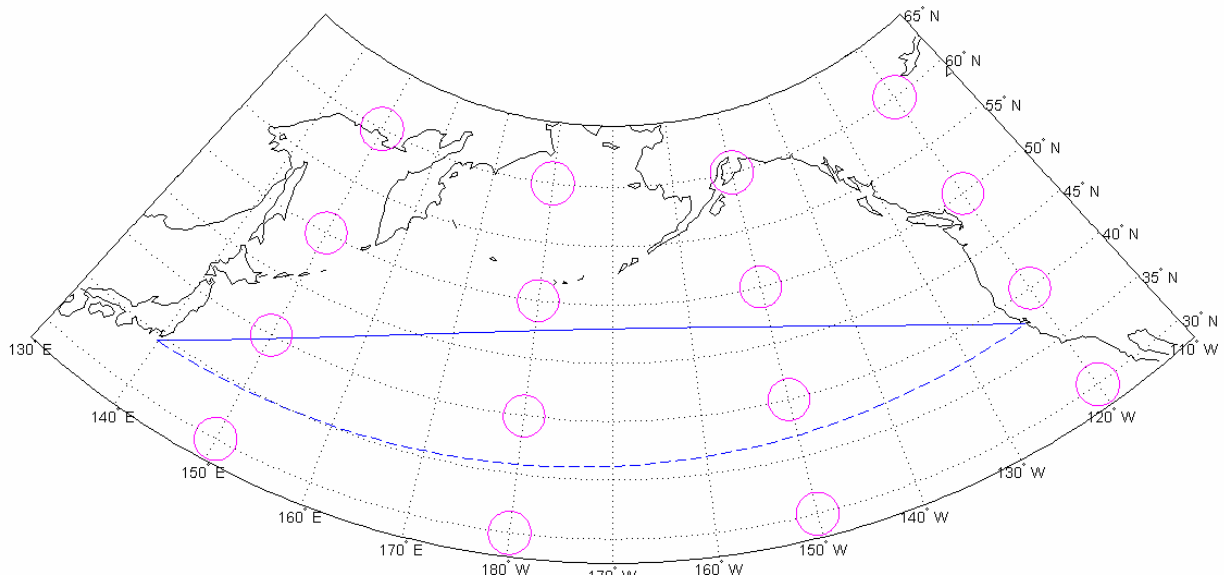
- Σχήμα Γ-1: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Γ-2: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Γ-3: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Γ-4: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Γ-5: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών
- Σχήμα Γ-6: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών

2^η ομάδα: Αφορά την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικών πλατών ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$).

- Σχήμα Γ-7: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$)
- Σχήμα Γ-8: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$)
- Σχήμα Γ-9: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$)
- Σχήμα Γ-10: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$)
- Σχήμα Γ-11: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$)
- Σχήμα Γ-12: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους ($0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$)

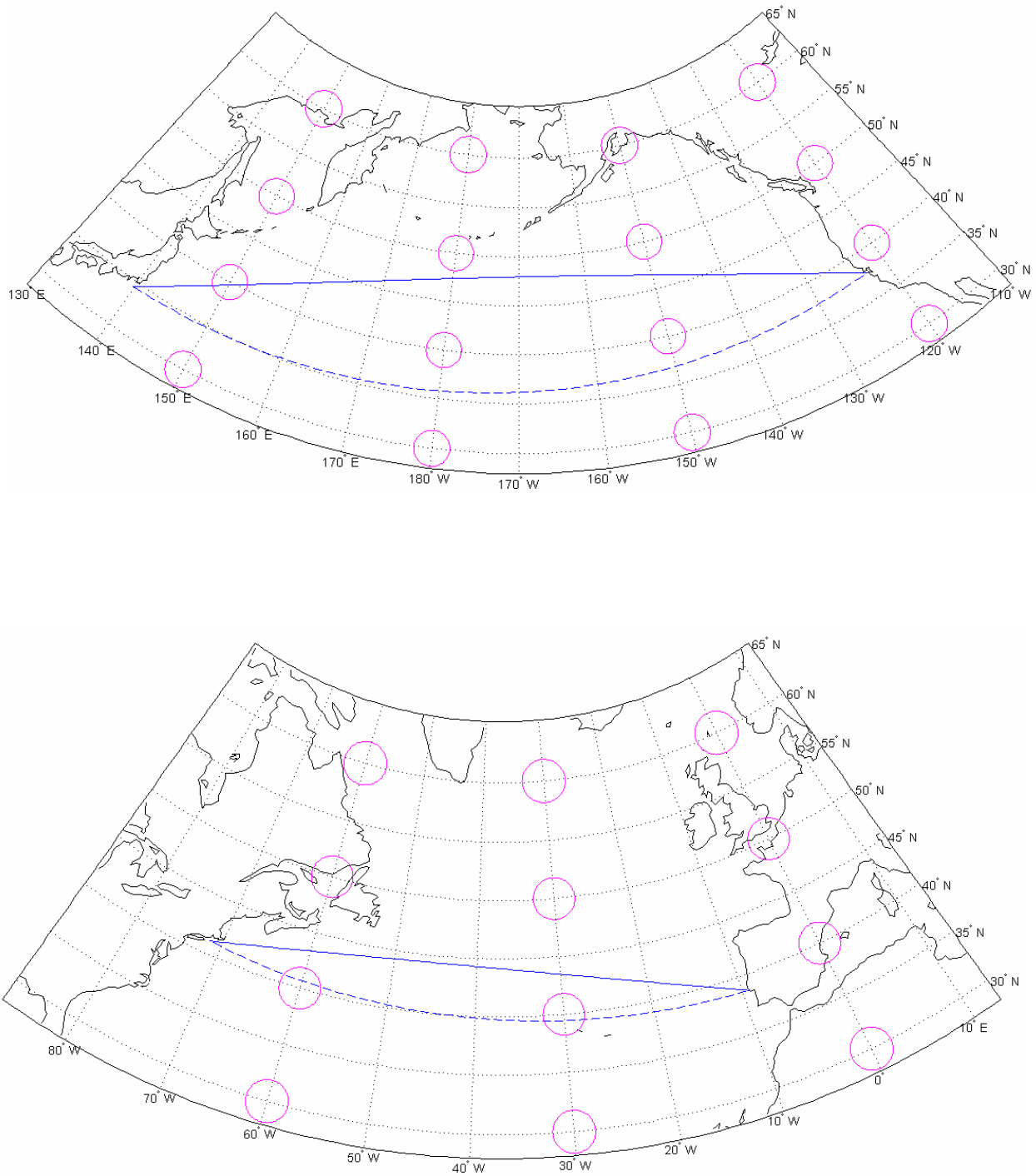
3^η ομάδα: Αφορά την απεικόνιση γεωγραφικών περιοχών πολύ μεγάλου εύρους γεωγραφικών πλατών που εκτείνονται στο βέριο και νότιο ημισφαίριο ($-60^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$).

- Σχήμα Γ-13: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου
- Σχήμα Γ-14: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου
- Σχήμα Γ-15: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου



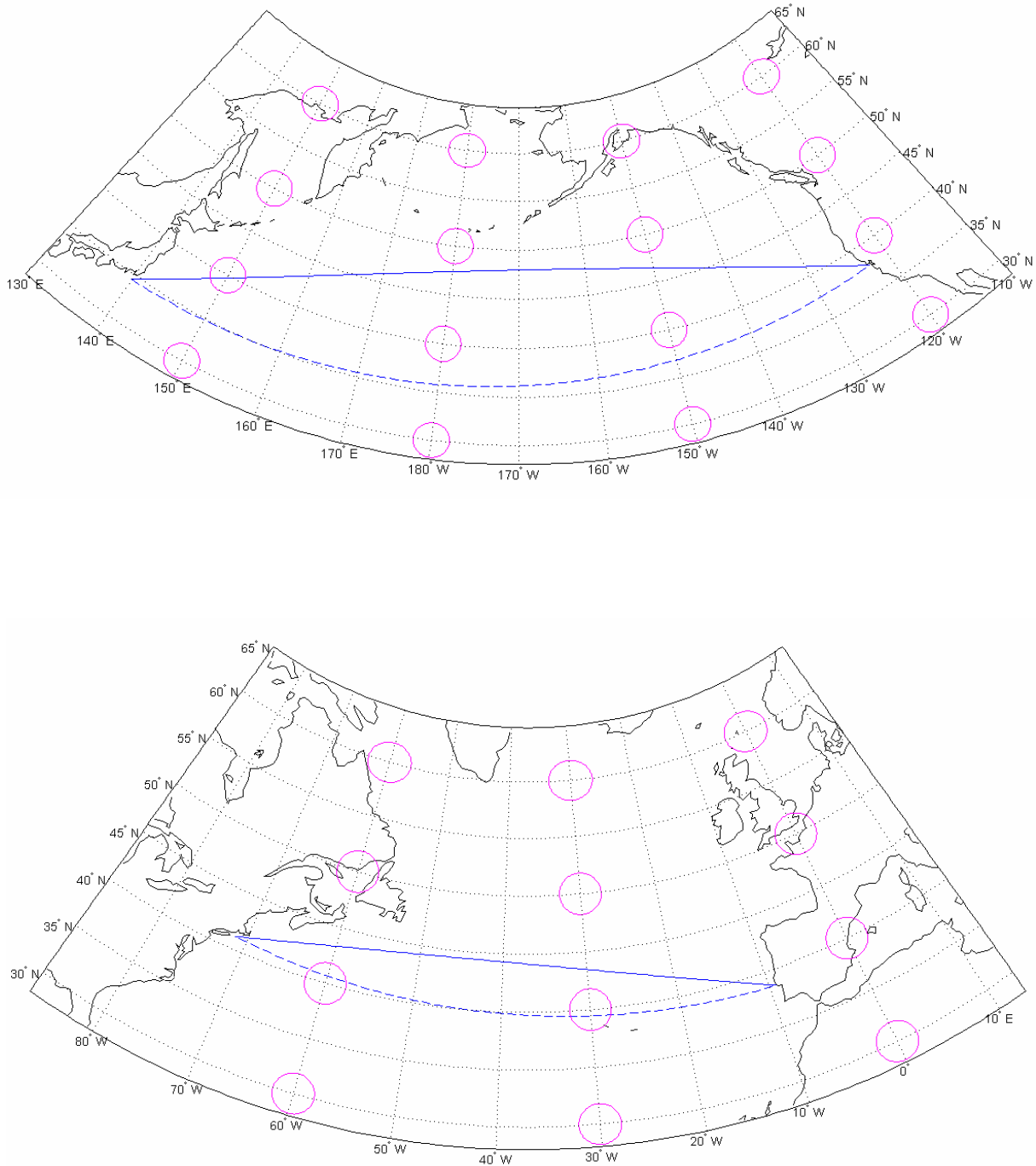
βασικός παράλληλος: $\phi_0=45^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-1: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών



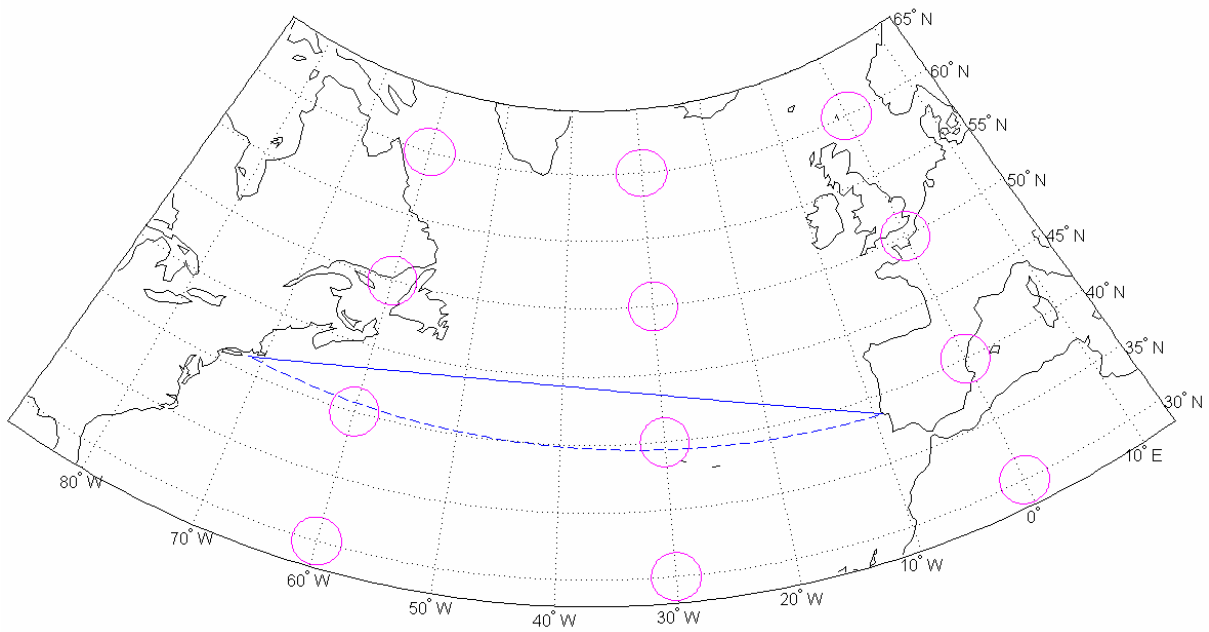
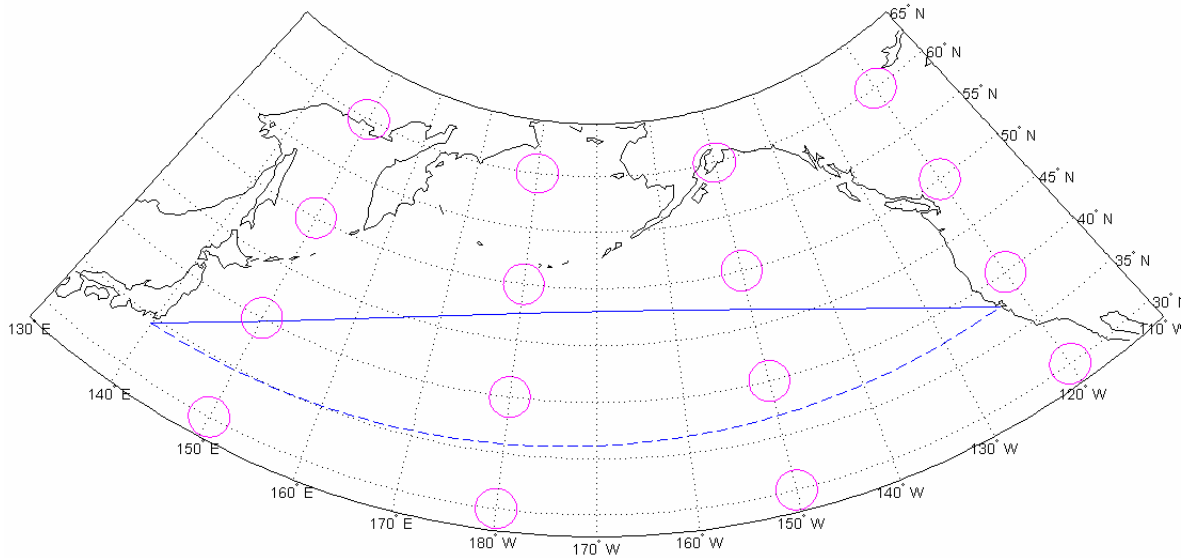
βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1=42^\circ$ Βορ, $\varphi_2=48^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-2: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών



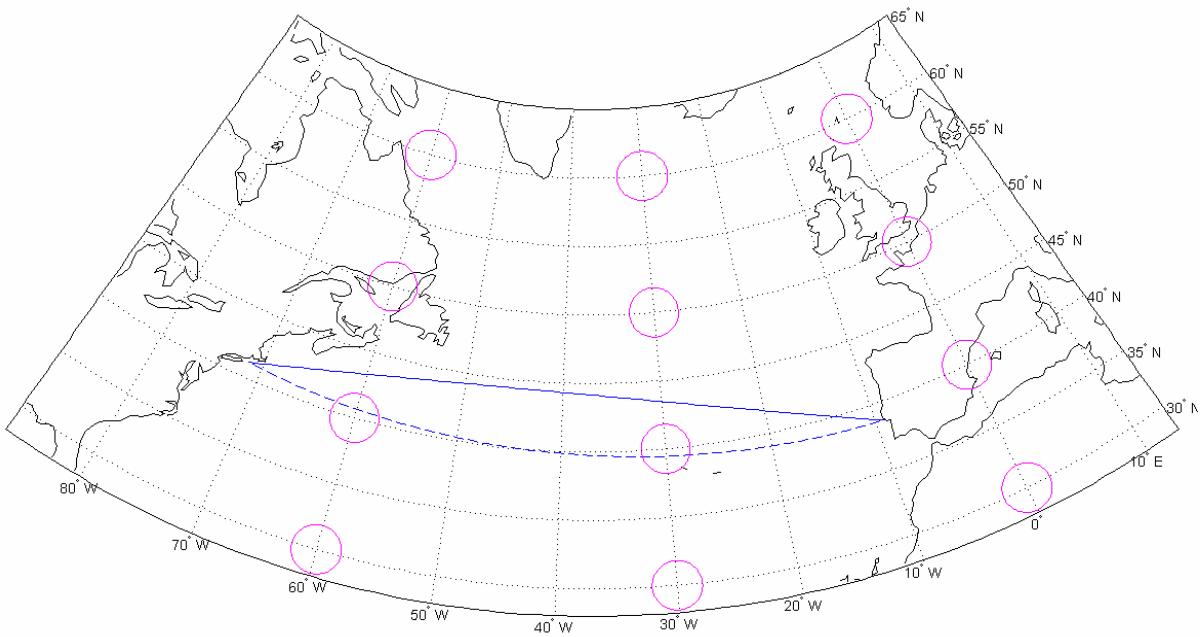
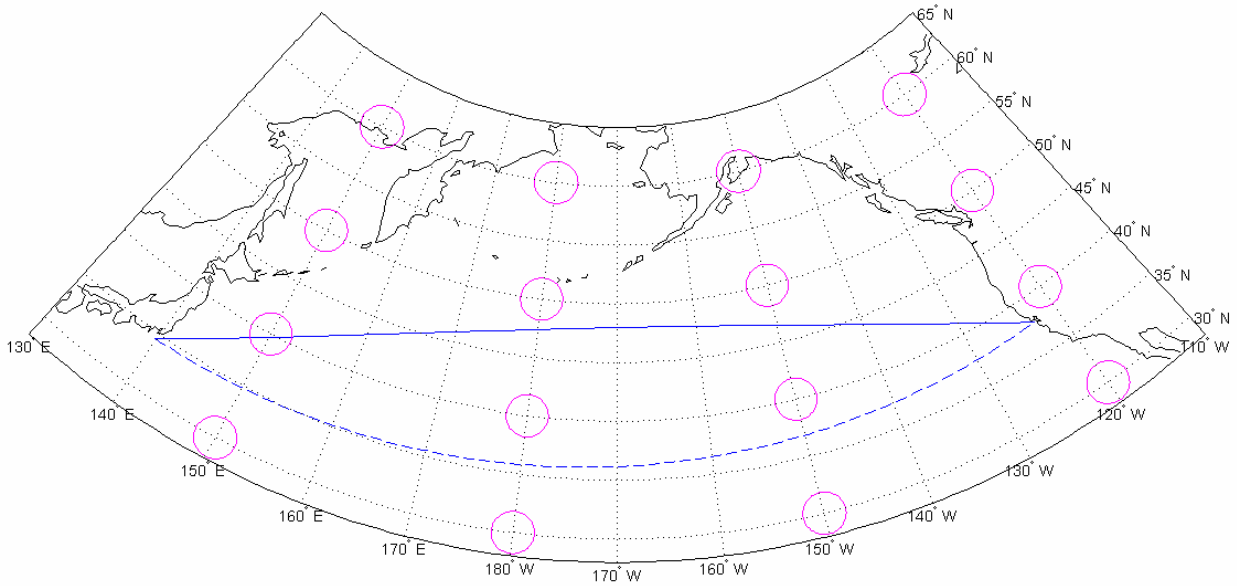
βασικός παράλληλος: $\phi_0=45^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-3: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών



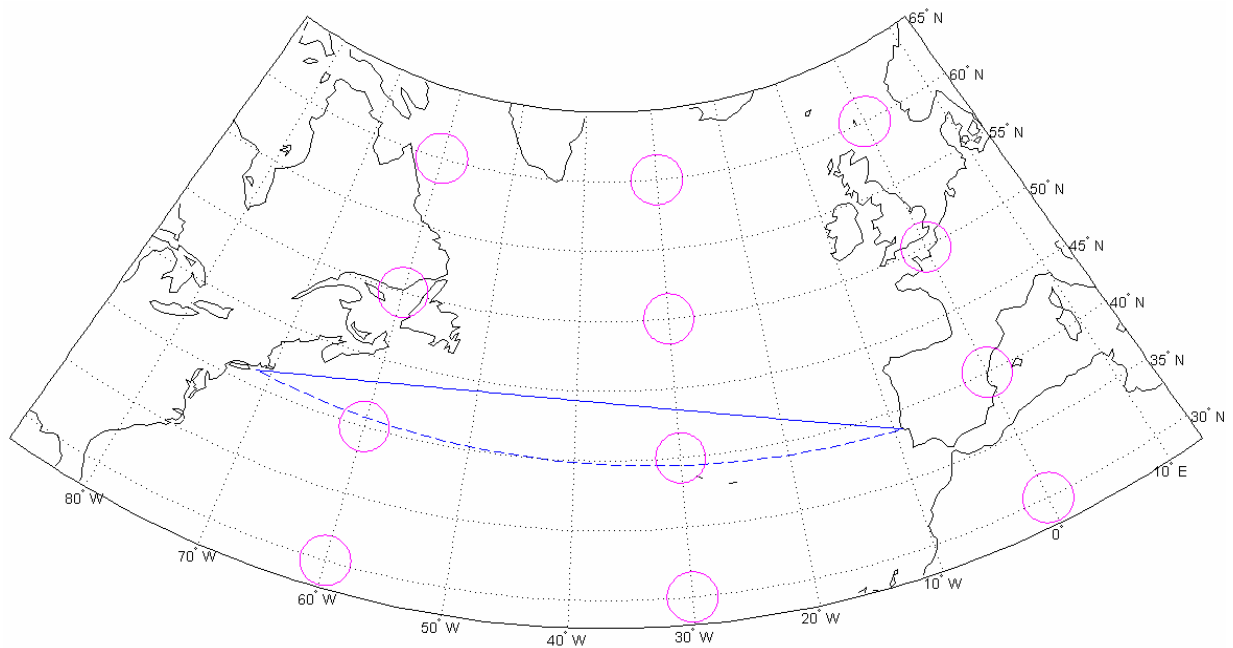
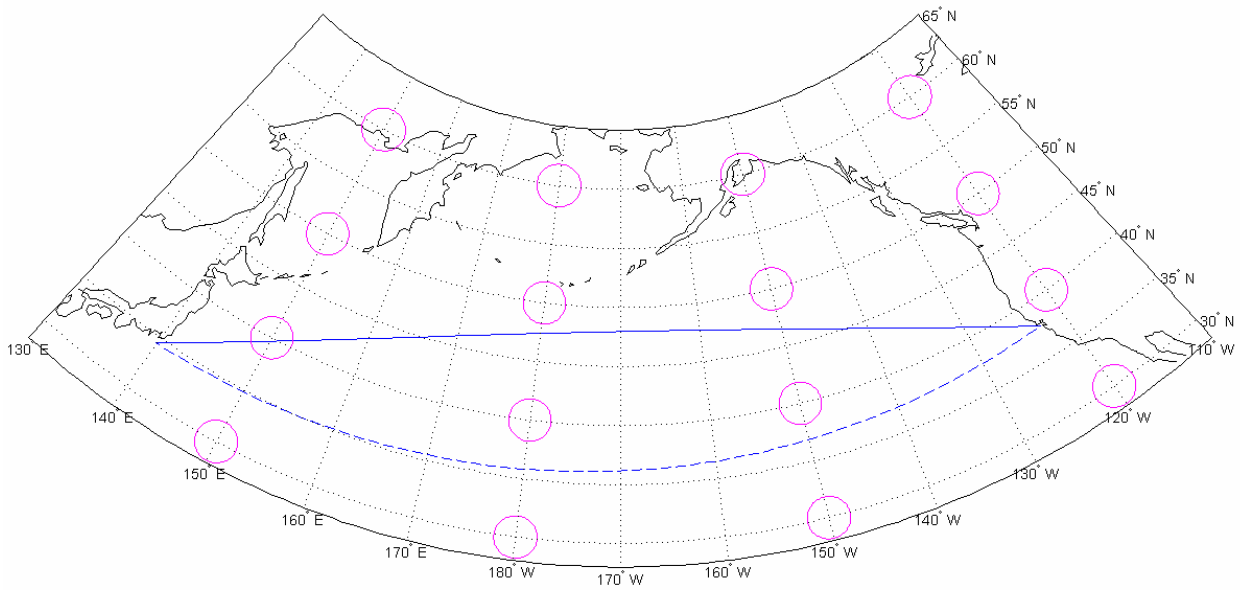
βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1=42^\circ$ Βορ, $\varphi_2=48^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-4: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών



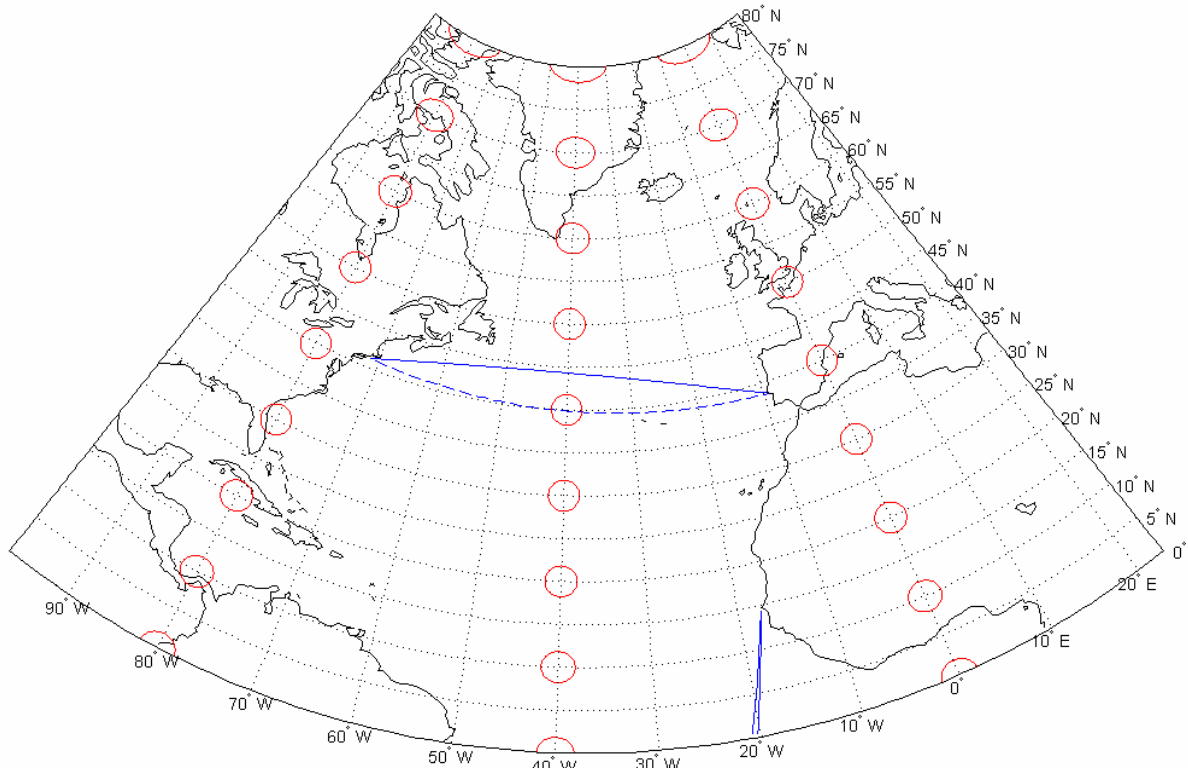
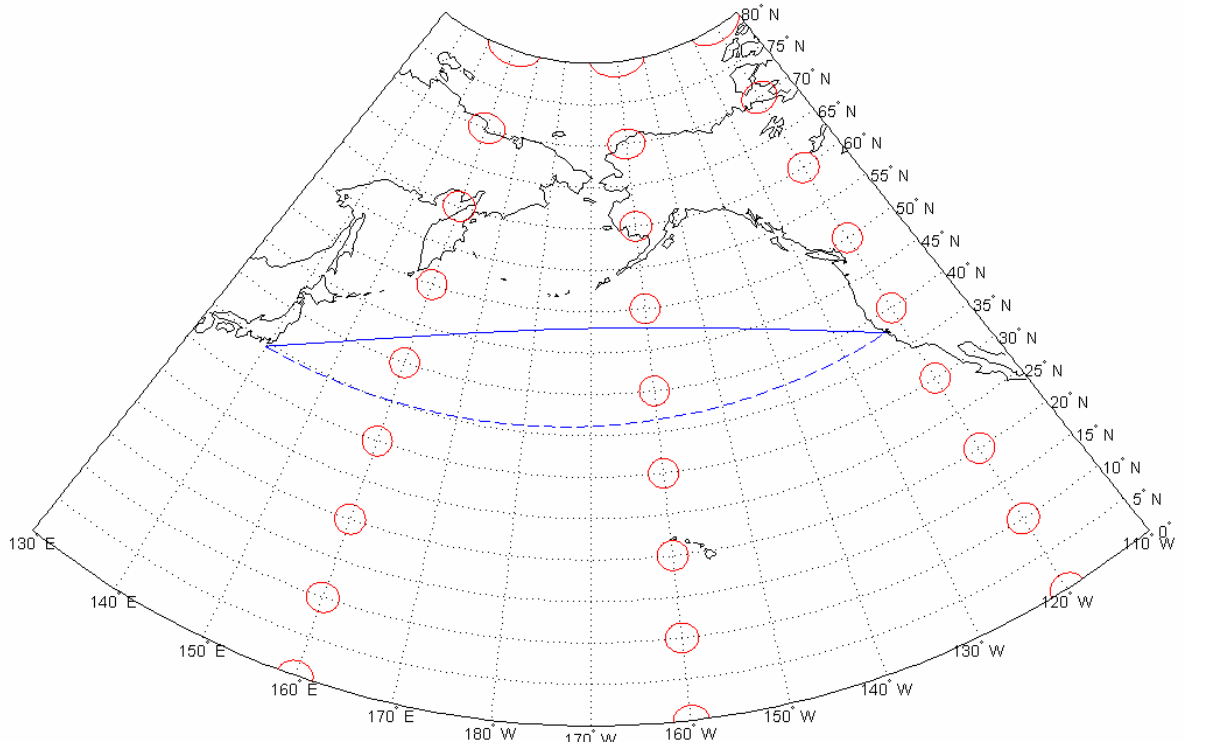
βασικός παράλληλος: $\phi_0=45^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-5: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών



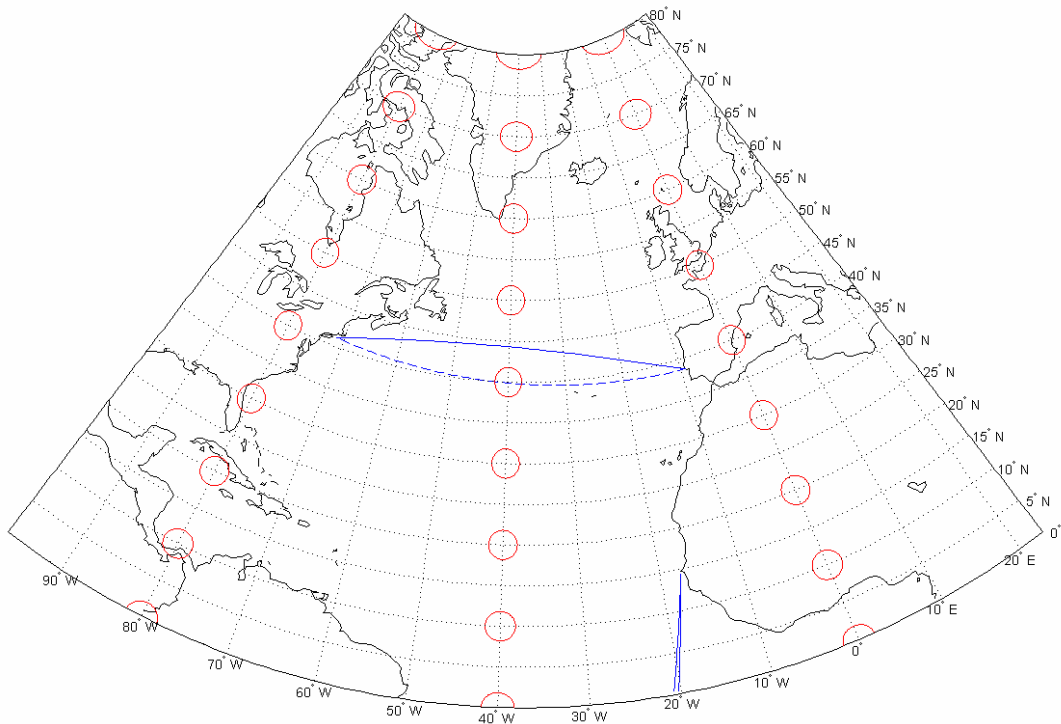
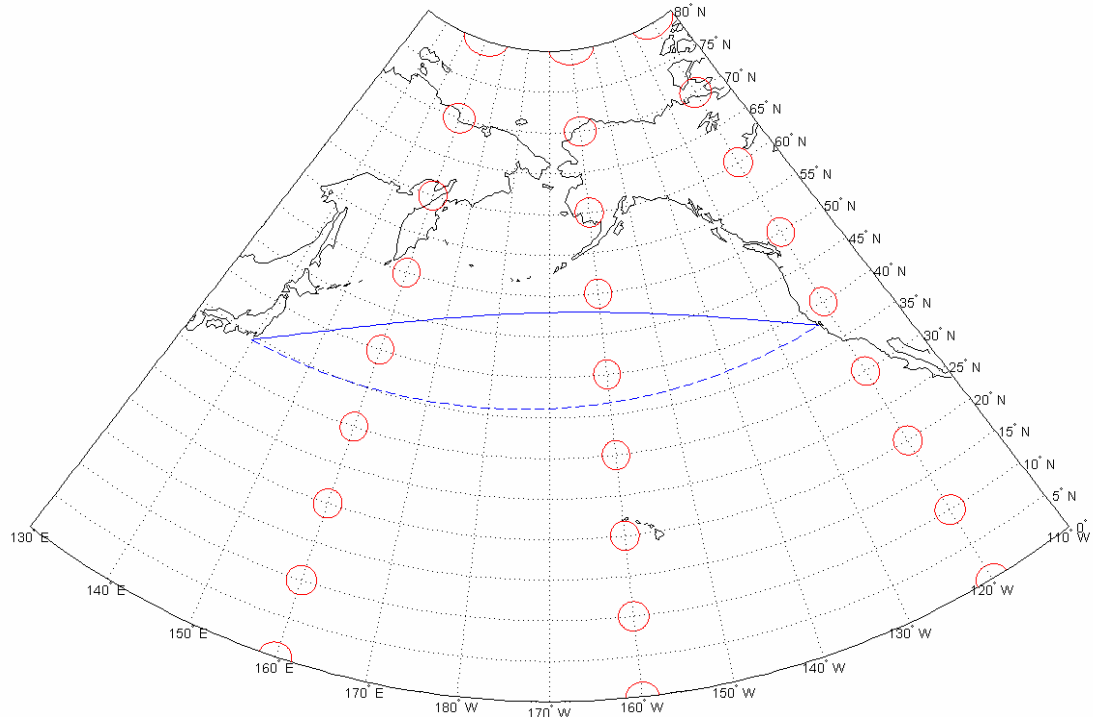
βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1=42^\circ$ Βορ, $\varphi_2=48^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-6: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεσαίων γεωγραφικών πλατών



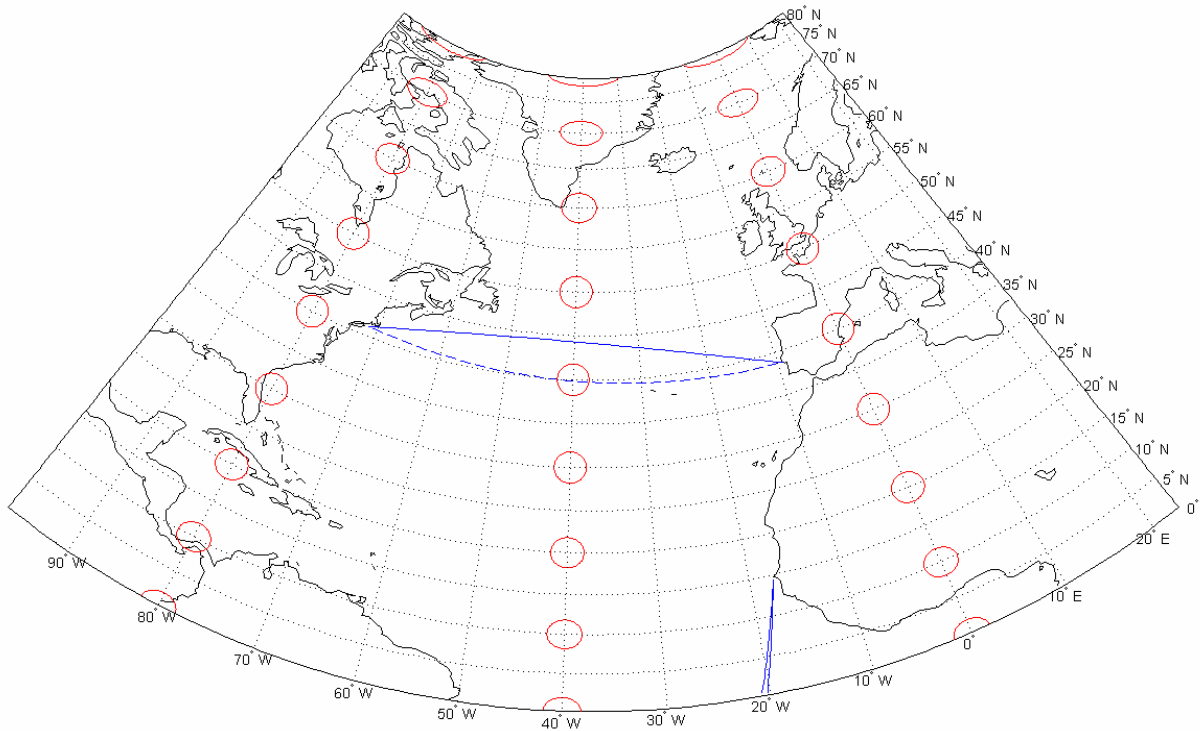
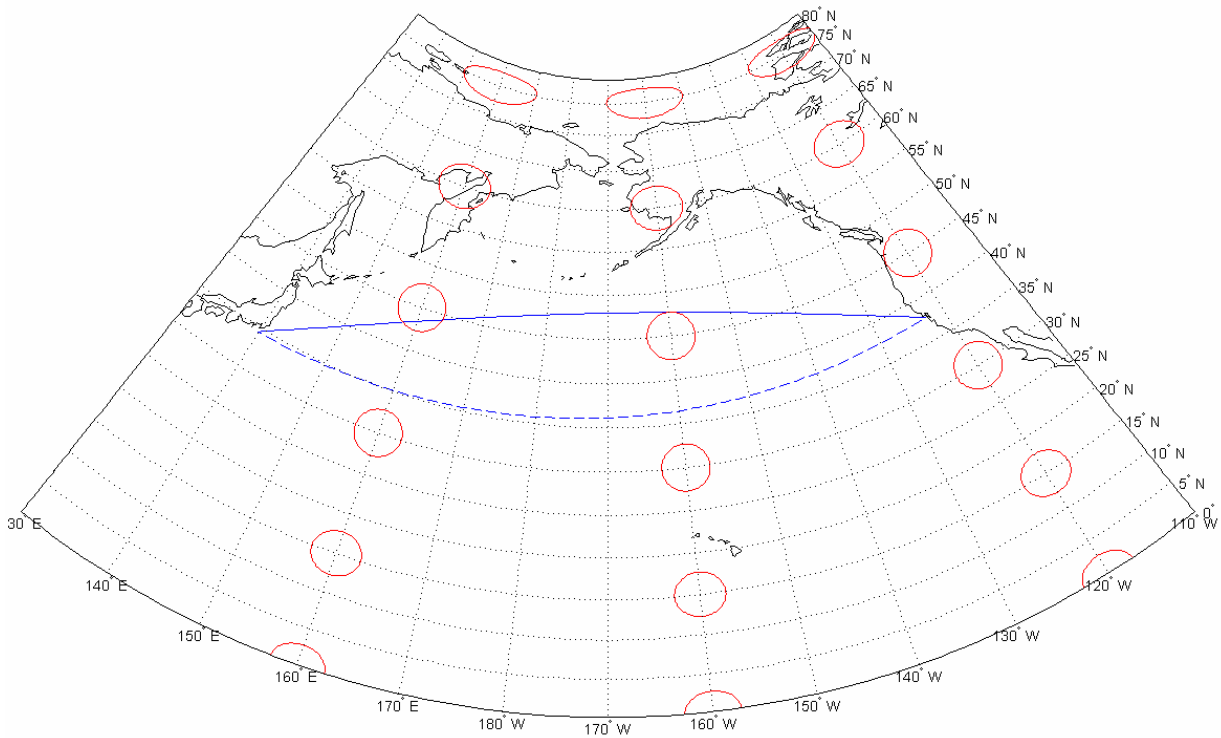
βασικός παράλληλος: $\phi_0=40^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-7: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους



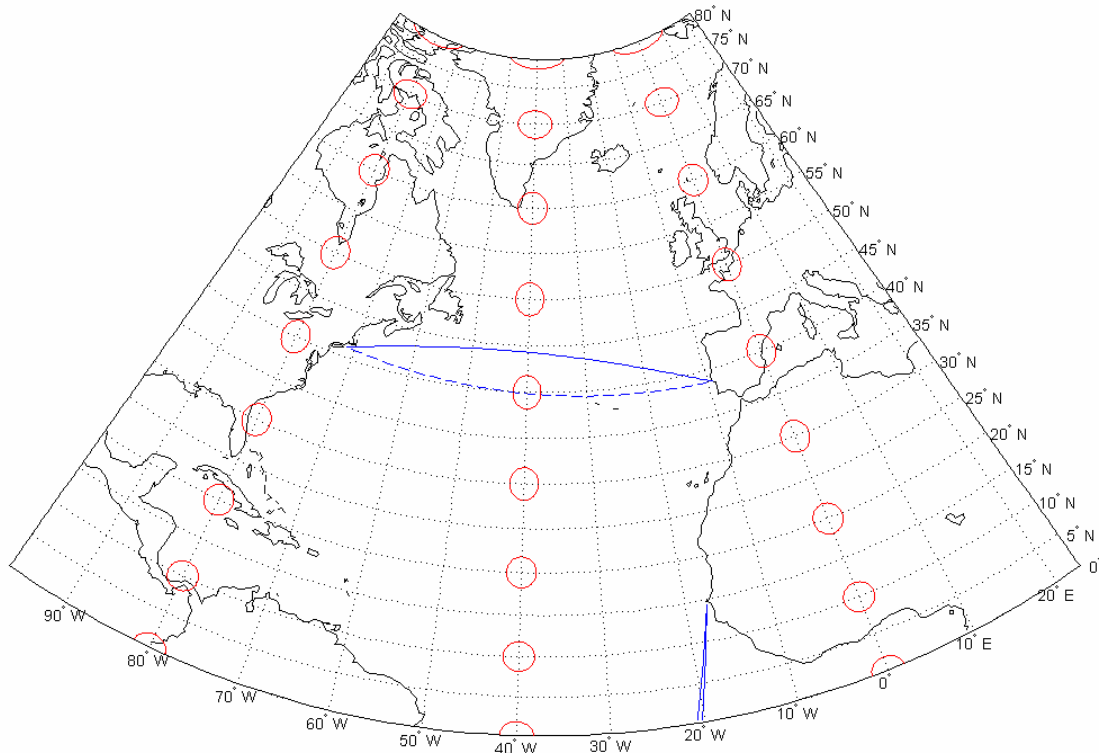
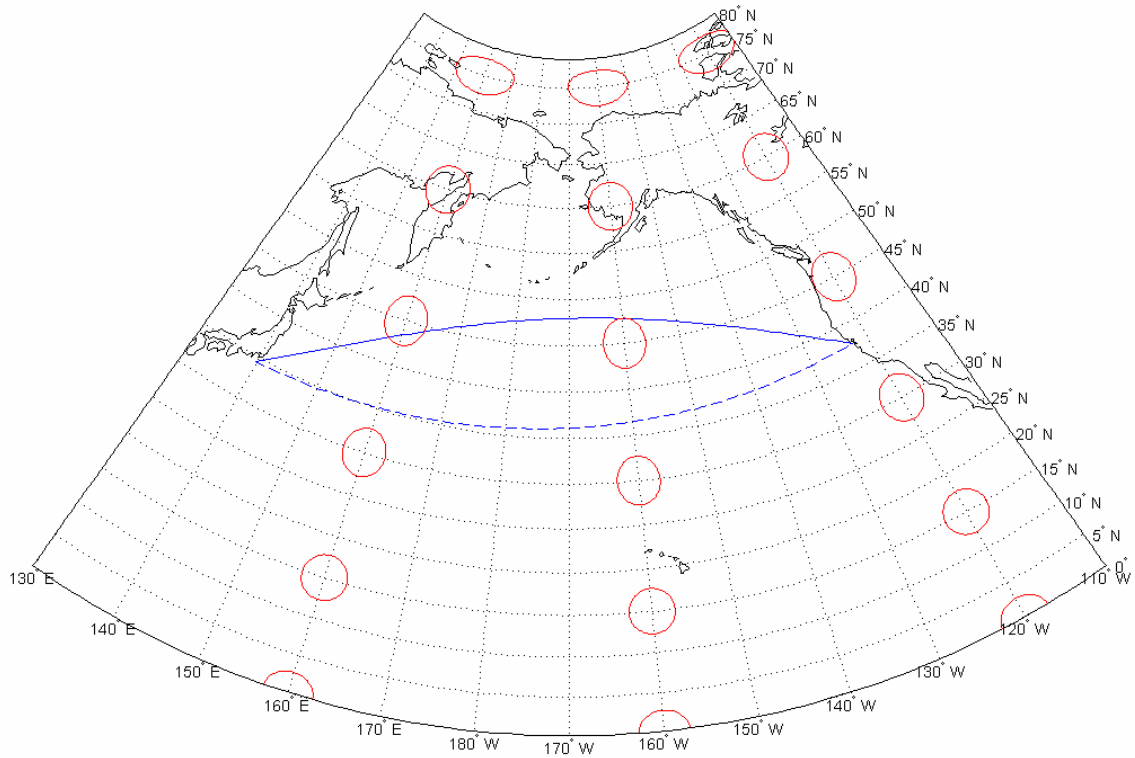
βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1=16^\circ$ Βορ, $\varphi_2=64^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-8: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους



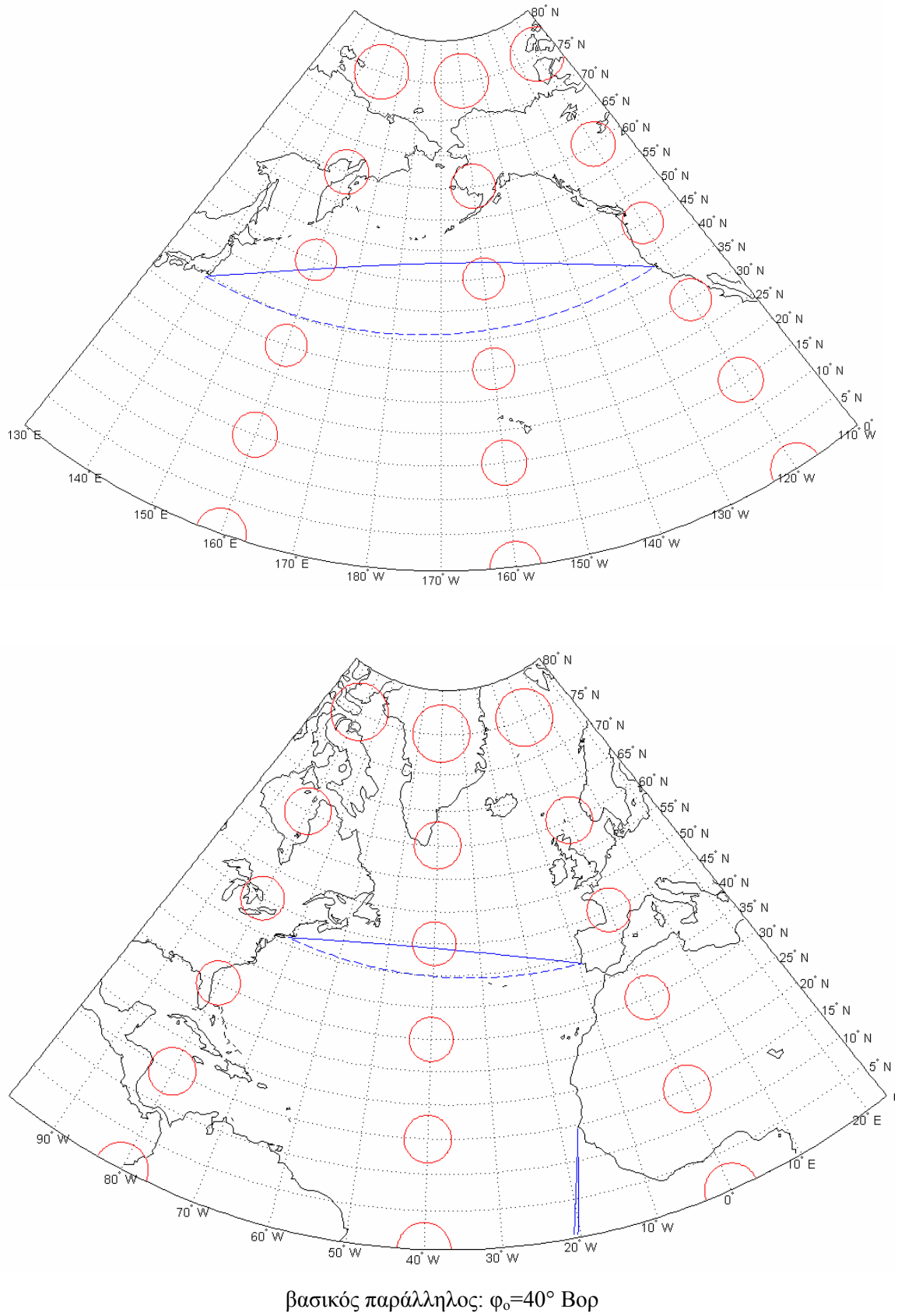
βασικός παράλληλος: $\phi_0=40^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-9: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους

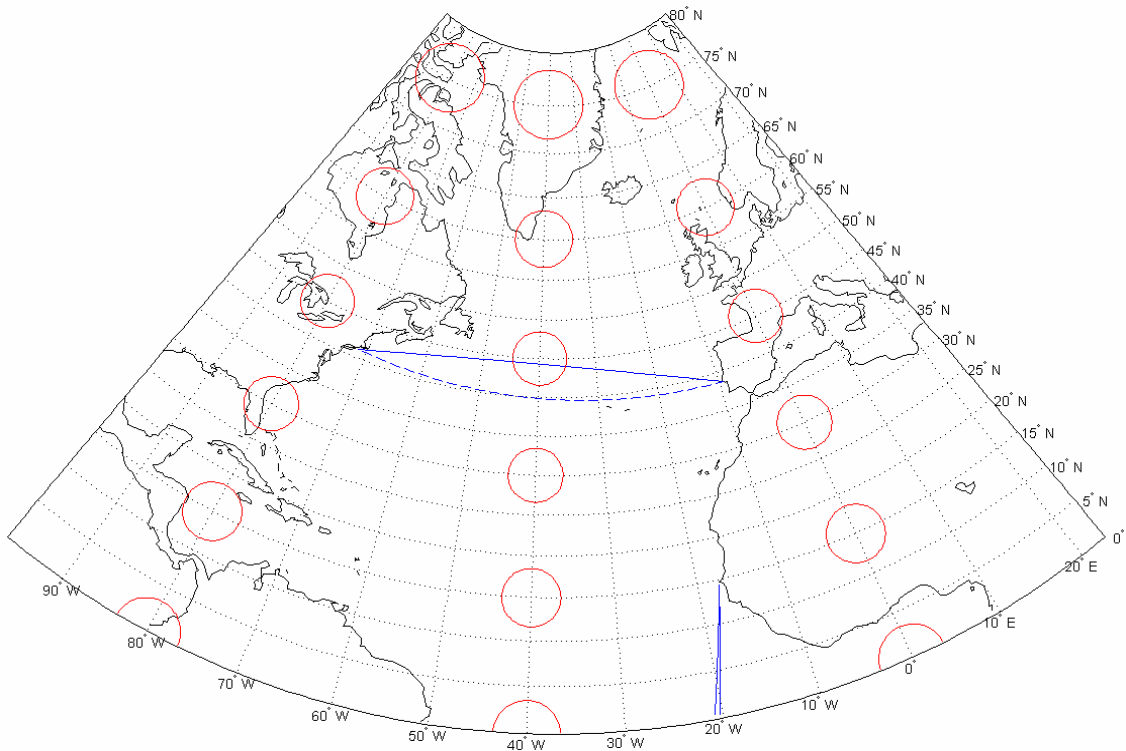
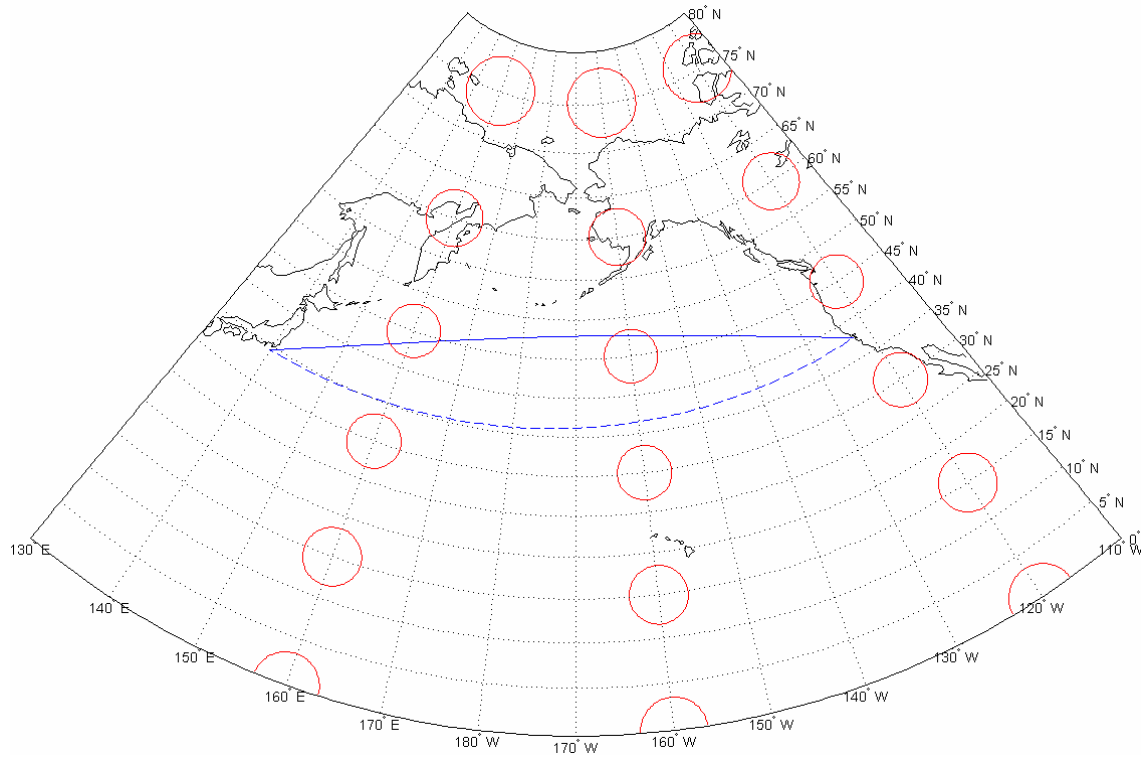


βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1=16^\circ$ Βορ, $\varphi_2=64^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-10: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους

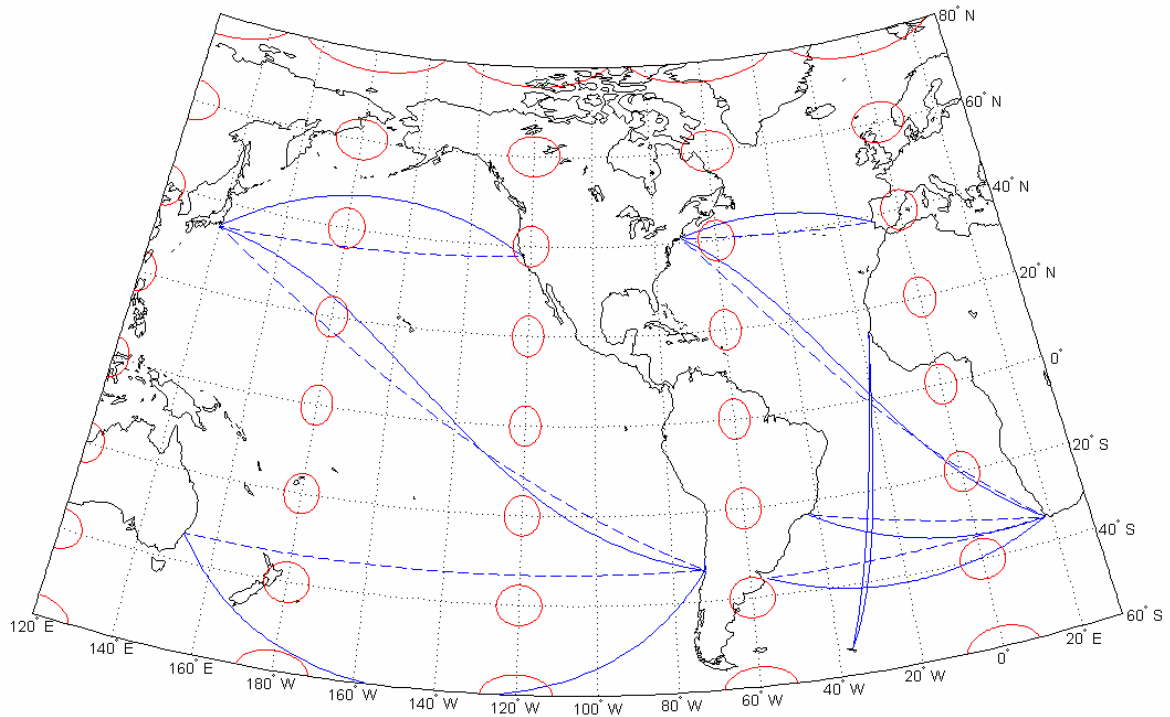


Σχ. Γ-11: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με ένα βασικό παράλληλο για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους



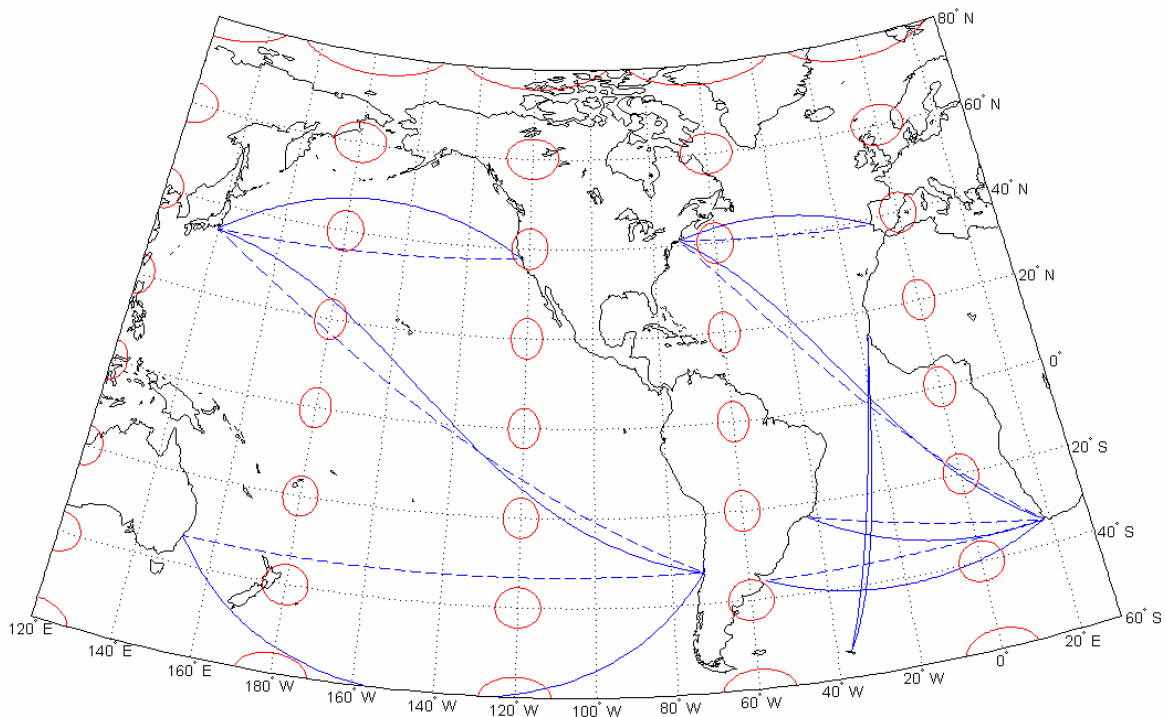
βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1=16^\circ$ Βορ, $\varphi_2=64^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-12: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών μεγάλου εύρους γεωγραφικού πλάτους



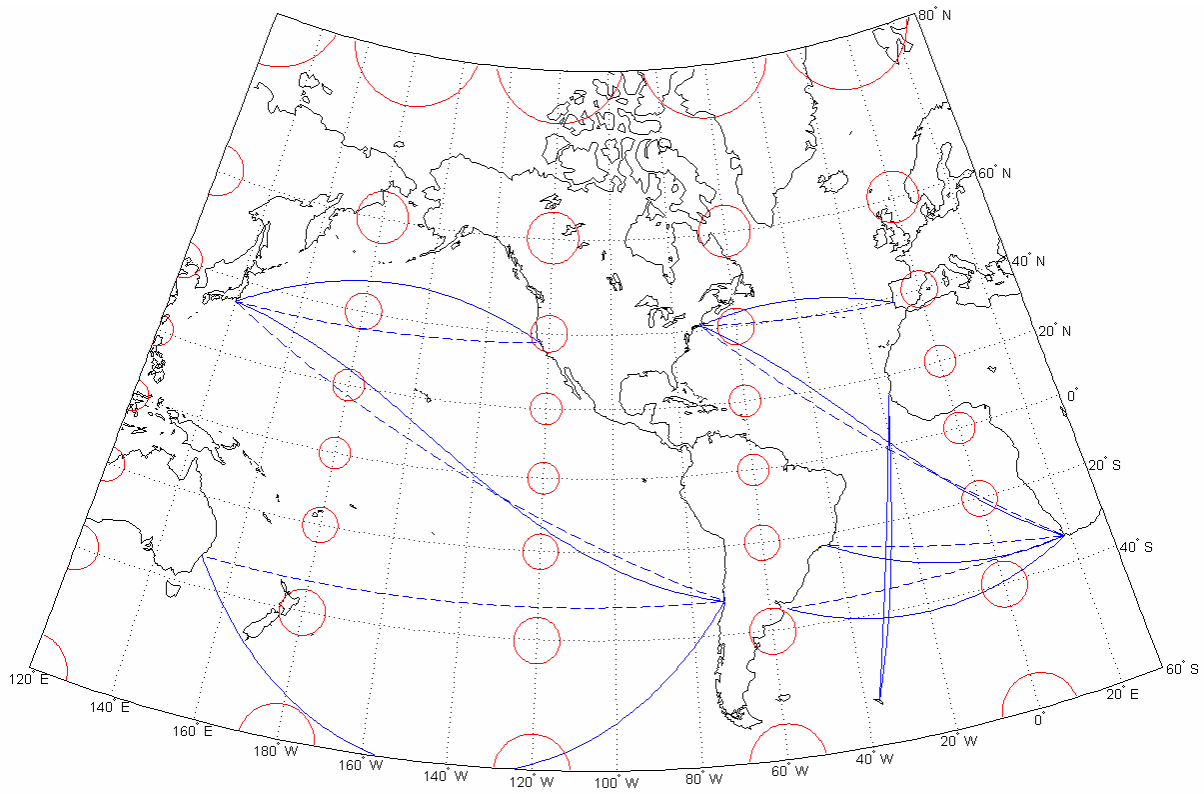
βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1 = 32^\circ$ Νοτ, $\varphi_2 = 48^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-13: Ισαπέχουσα κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου



βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1 = 32^\circ$ Νοτ, $\varphi_2 = 48^\circ$ Βορ

Σχ. Γ-14: Ισοδύναμη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου



βασικοί παράλληλοι: $\varphi_1 = 32^\circ$ Νοτ, $\varphi_2 = 48^\circ$ Βορ

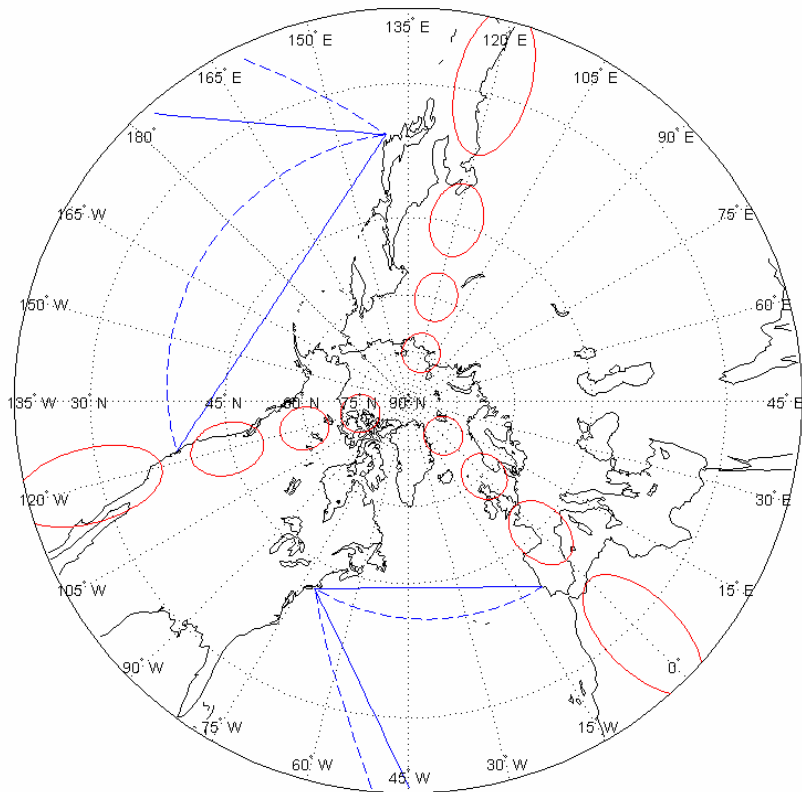
Σχ. Γ-15: Σύμμορφη κωνική απεικόνιση με δύο βασικούς παραλλήλους για απεικόνιση περιοχών βορείου και νοτίου ημισφαιρίου

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

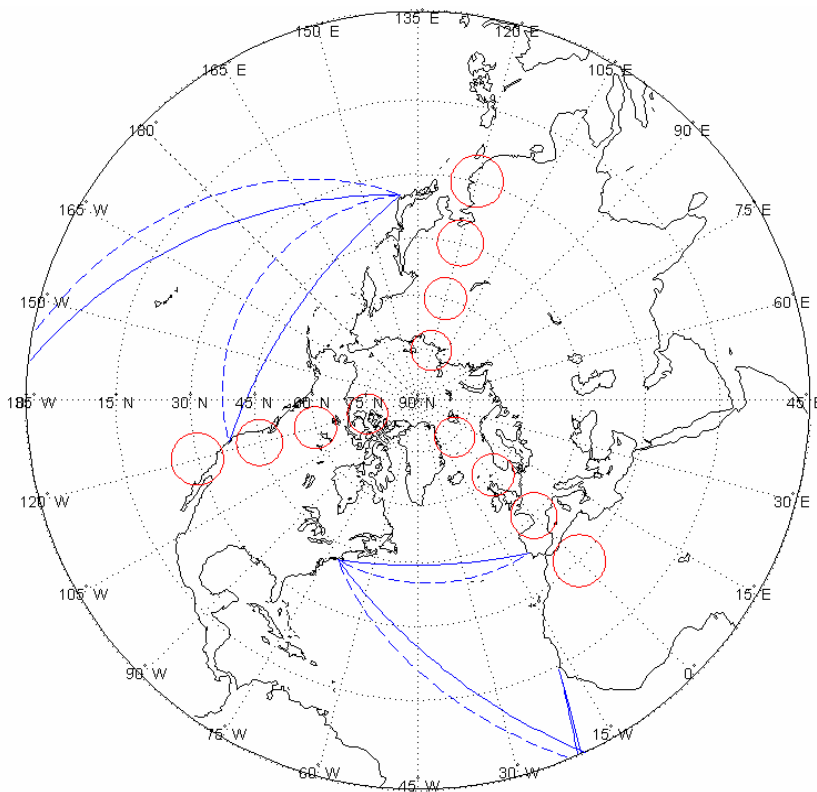
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ
ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

Στους χάρτες των αζιμουθιακών απεικονίσεων του παρόντος παραρτήματος απεικονίζονται επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων και ελλείψεις παραμόρφωσης για την αρχική εκτίμηση του μεγέθους των παραμορφώσεων και της πιστότητας οπτικοποίησης των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση. Πιο συγκεκριμένα οι χάρτες του παραρτήματος Δ αφορούν τις επόμενες αζιμουθιακές απεικονίσεις:

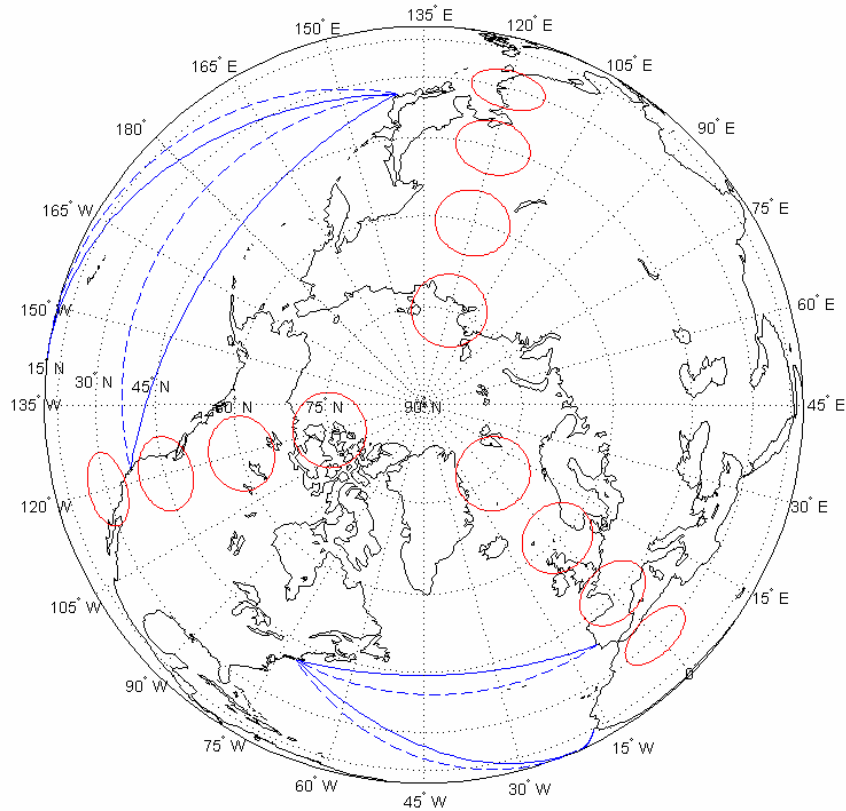
- Σχήμα Δ-1: Πολική γνωμονική
- Σχήμα Δ-2: Πολική στερεογραφική
- Σχήμα Δ-3: Πολική ορθογραφική
- Σχήμα Δ-4: Πολική αζιμουθιακή ισοδύναμη
- Σχήμα Δ-5: Πολική αζιμουθιακή ισαπέχουσα
- Σχήμα Δ-6: Ισημερινή γνωμονική
- Σχήμα Δ-7: Ισημερινή στερεογραφική
- Σχήμα Δ-8: Ισημερινή ορθογραφική
- Σχήμα Δ-9: Ισημερινή αζιμουθιακή ισοδύναμη
- Σχήμα Δ-10: Ισημερινή αζιμουθιακή ισαπέχουσα
- Σχήμα Δ-11: Πλάγια γνωμονική
- Σχήμα Δ-12: Πλάγια στερεογραφική
- Σχήμα Δ-13: Πλάγια ορθογραφική
- Σχήμα Δ-14: Πλάγια αζιμουθιακή ισοδύναμη
- Σχήμα Δ-15: Πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα



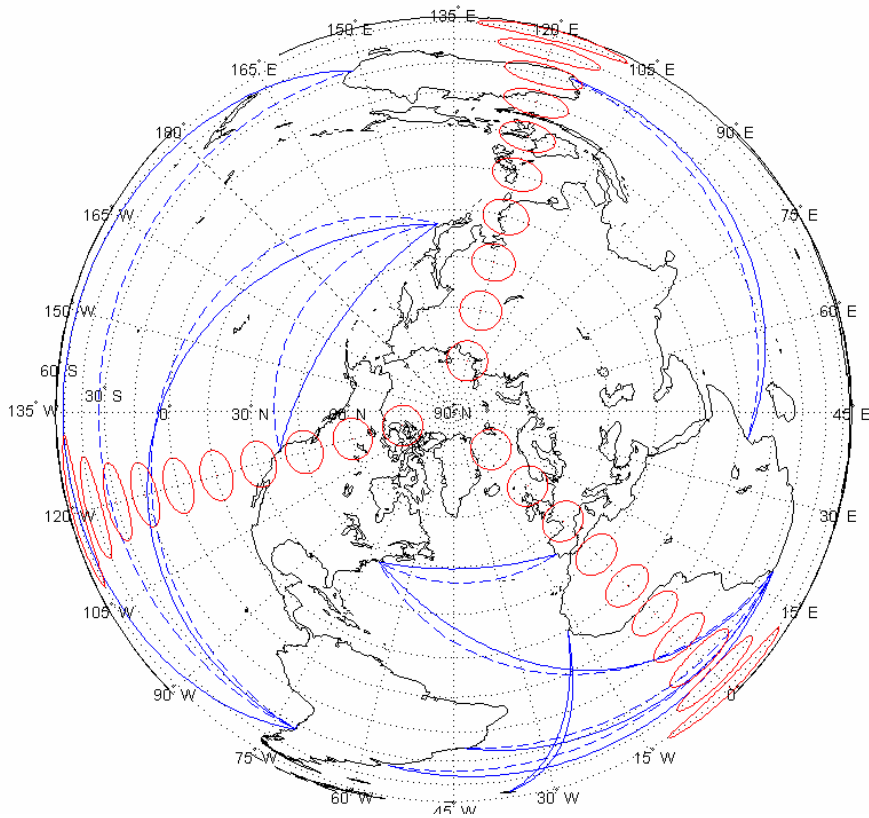
Σχ. Δ-1: Πολική γωνιομετρική απεικόνιση



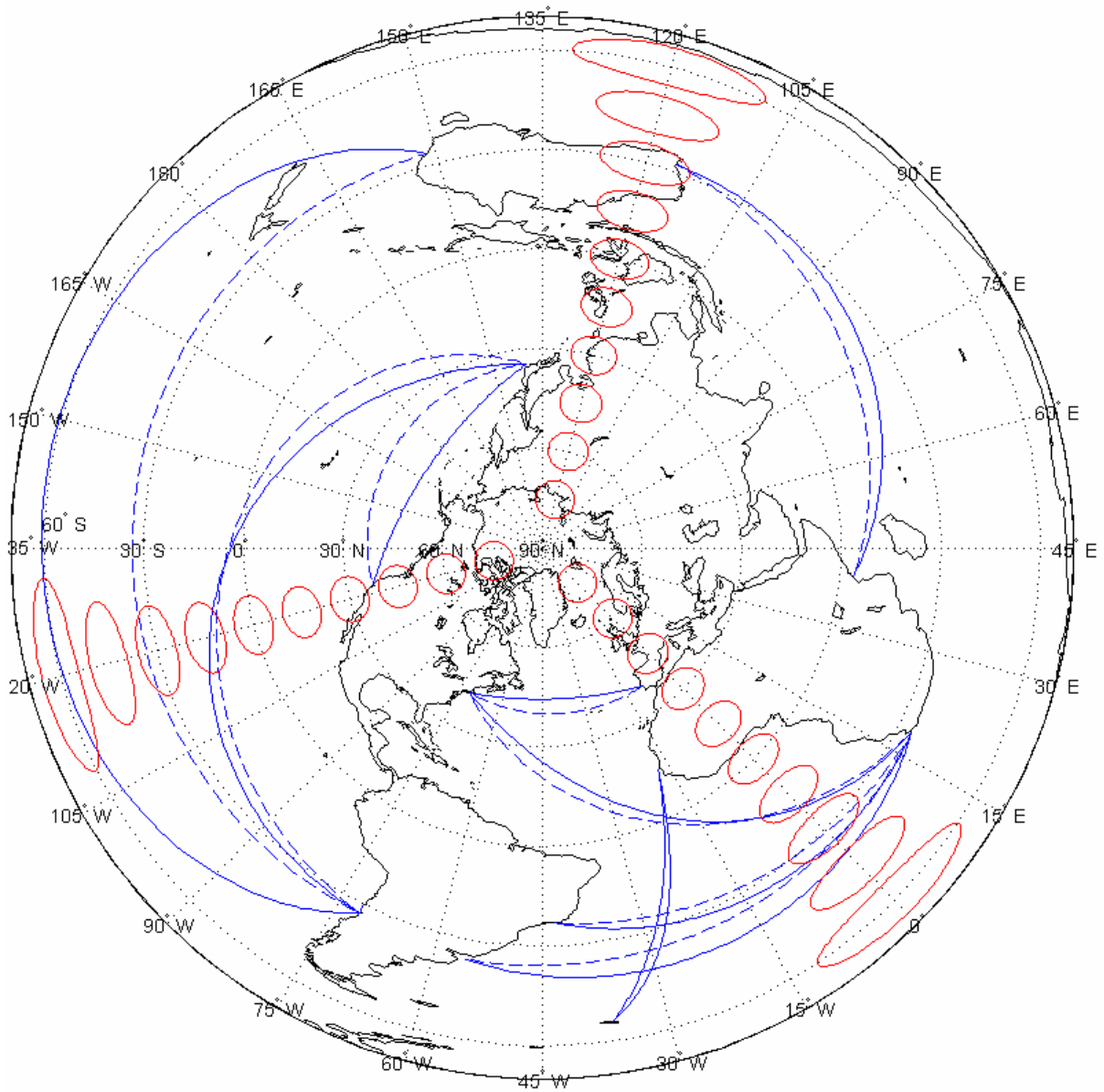
Σχ. Δ-2: Πολική στερεογραφική απεικόνιση



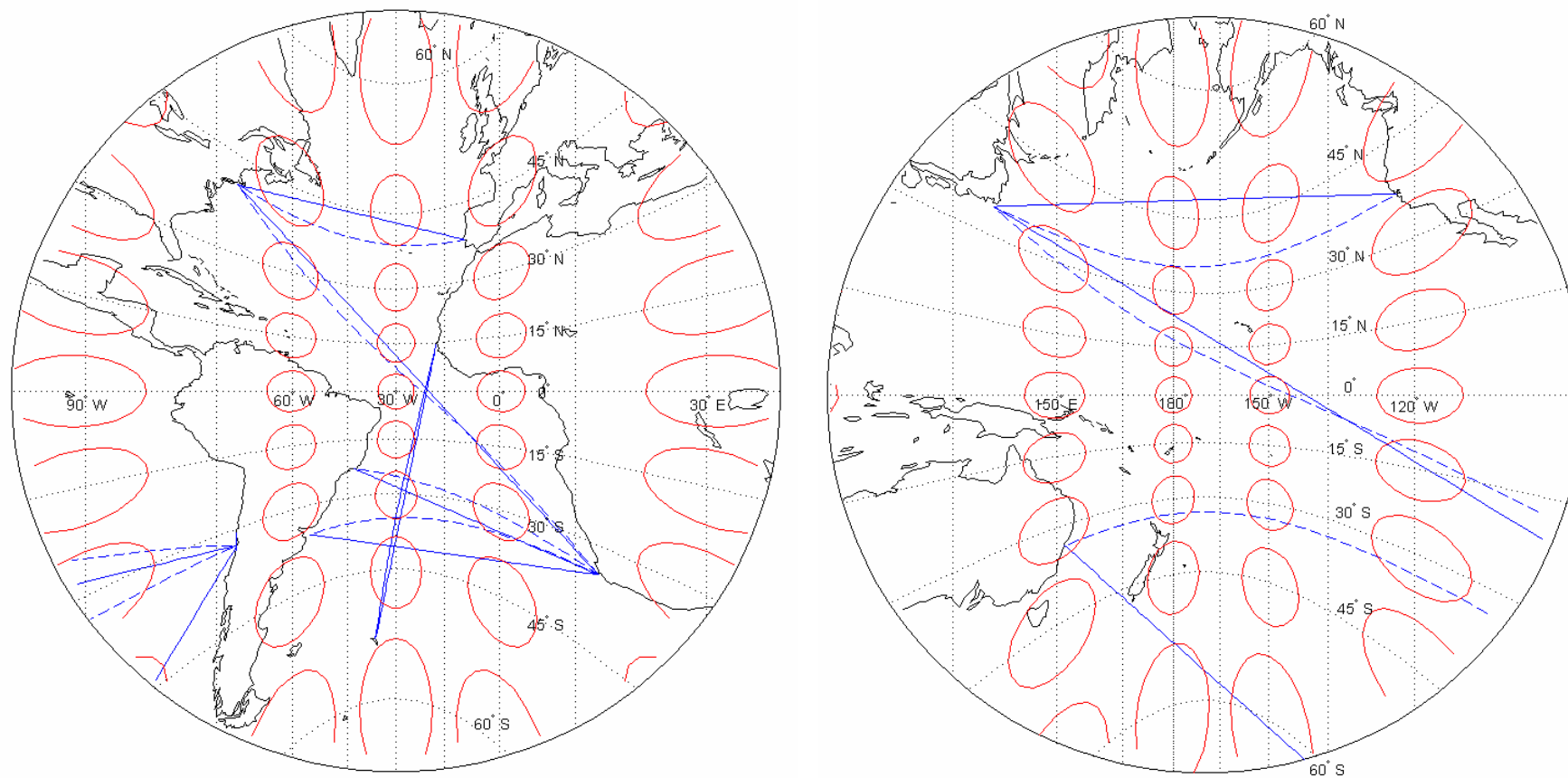
Σχ. Δ-3: Πολική ορθογραφική απεικόνιση



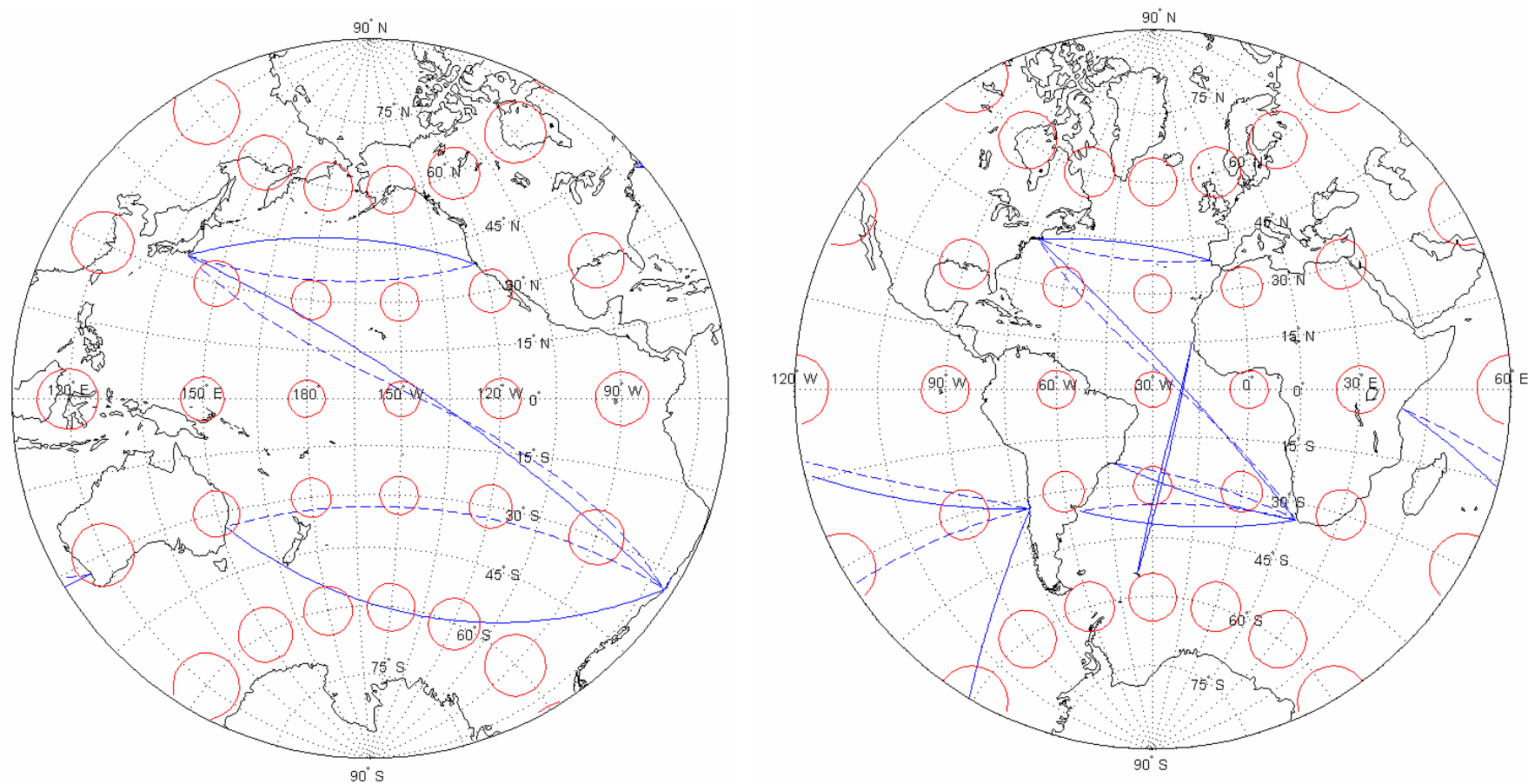
Σχ. Δ-4: Πολική αξιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση



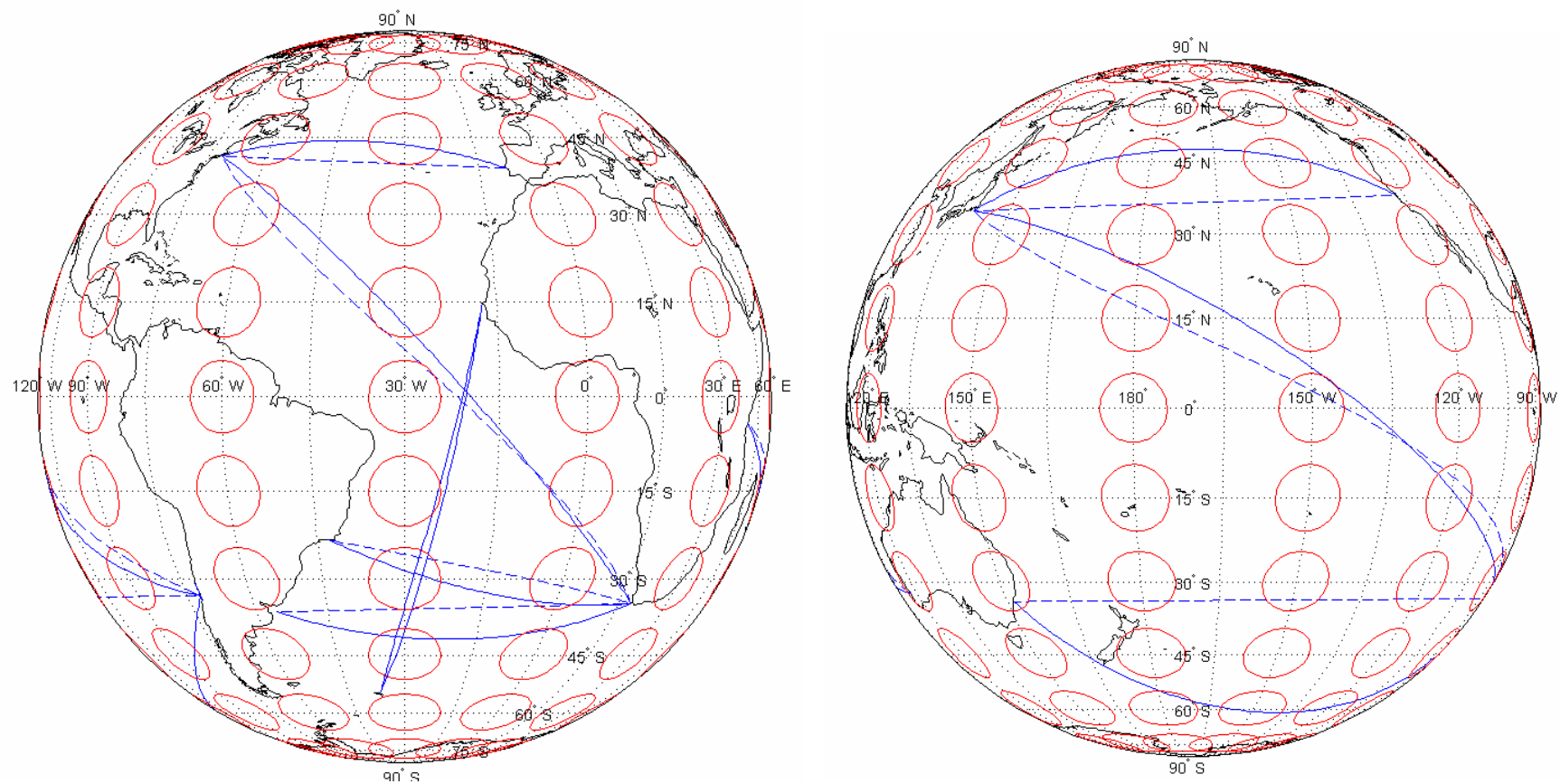
Σχ. Δ-5: Πολική αξιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση



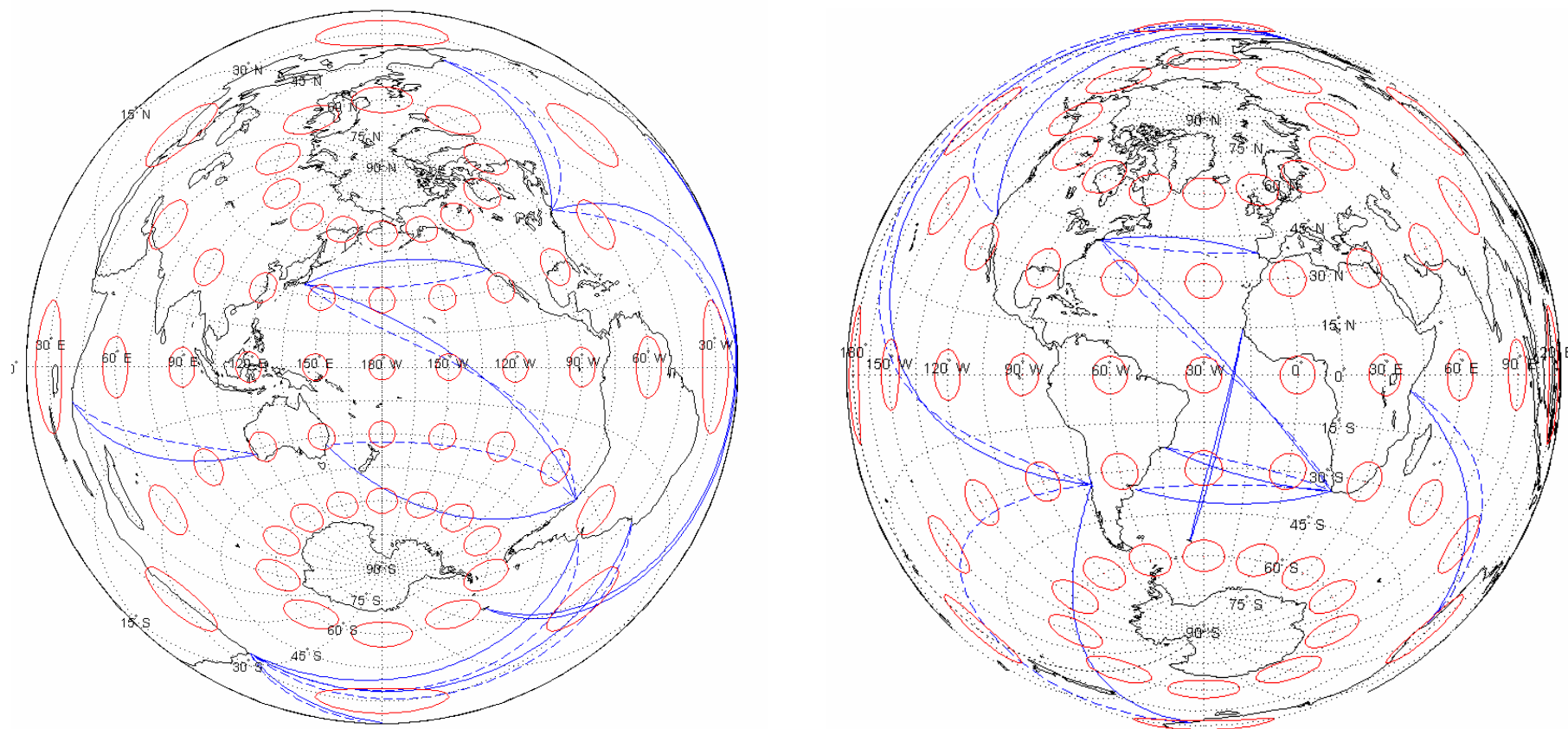
Σχ. Δ-6: Ισημερινή γωνιομική απεικόνιση



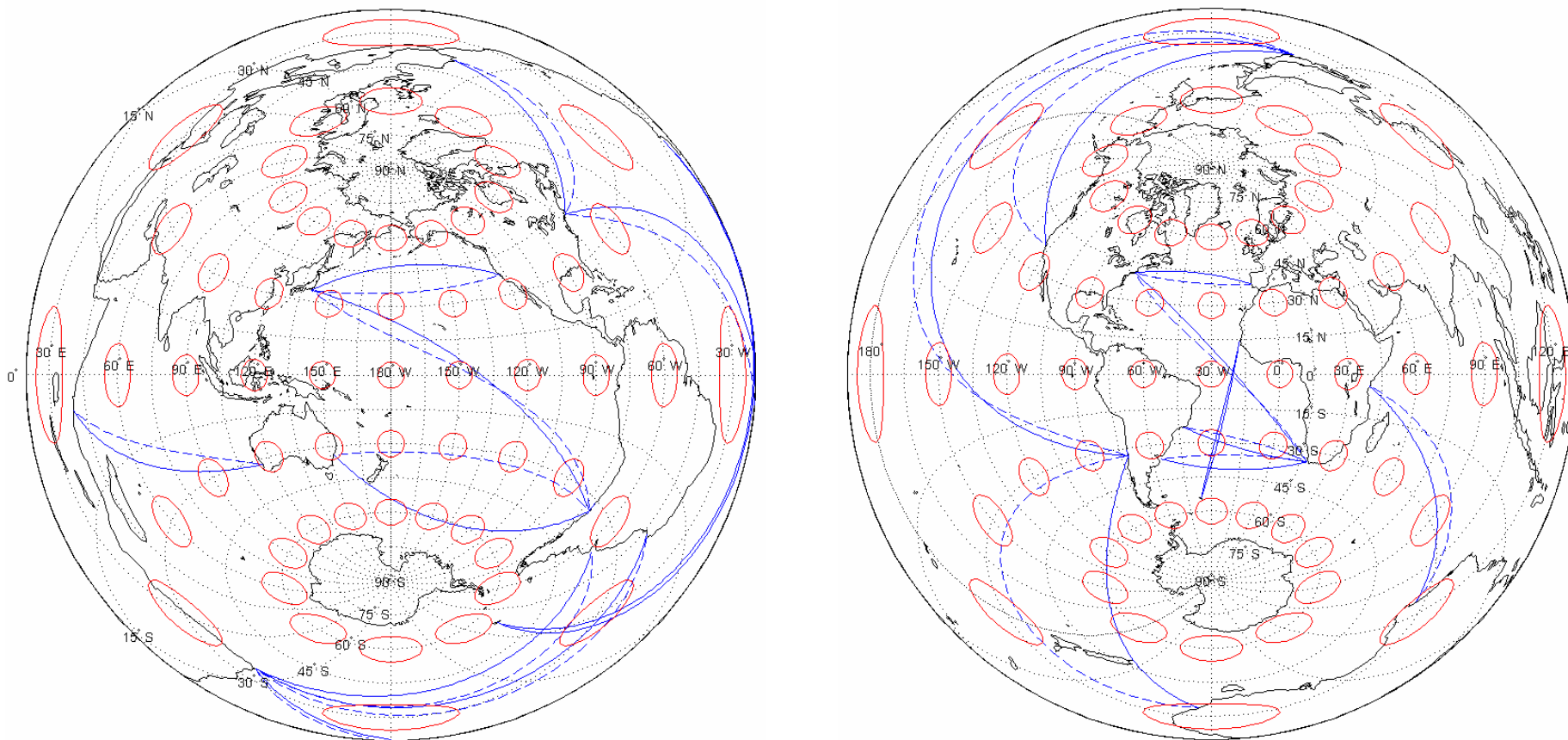
Σχ. Δ-7: Ισημερινή στερεογραφική απεικόνιση



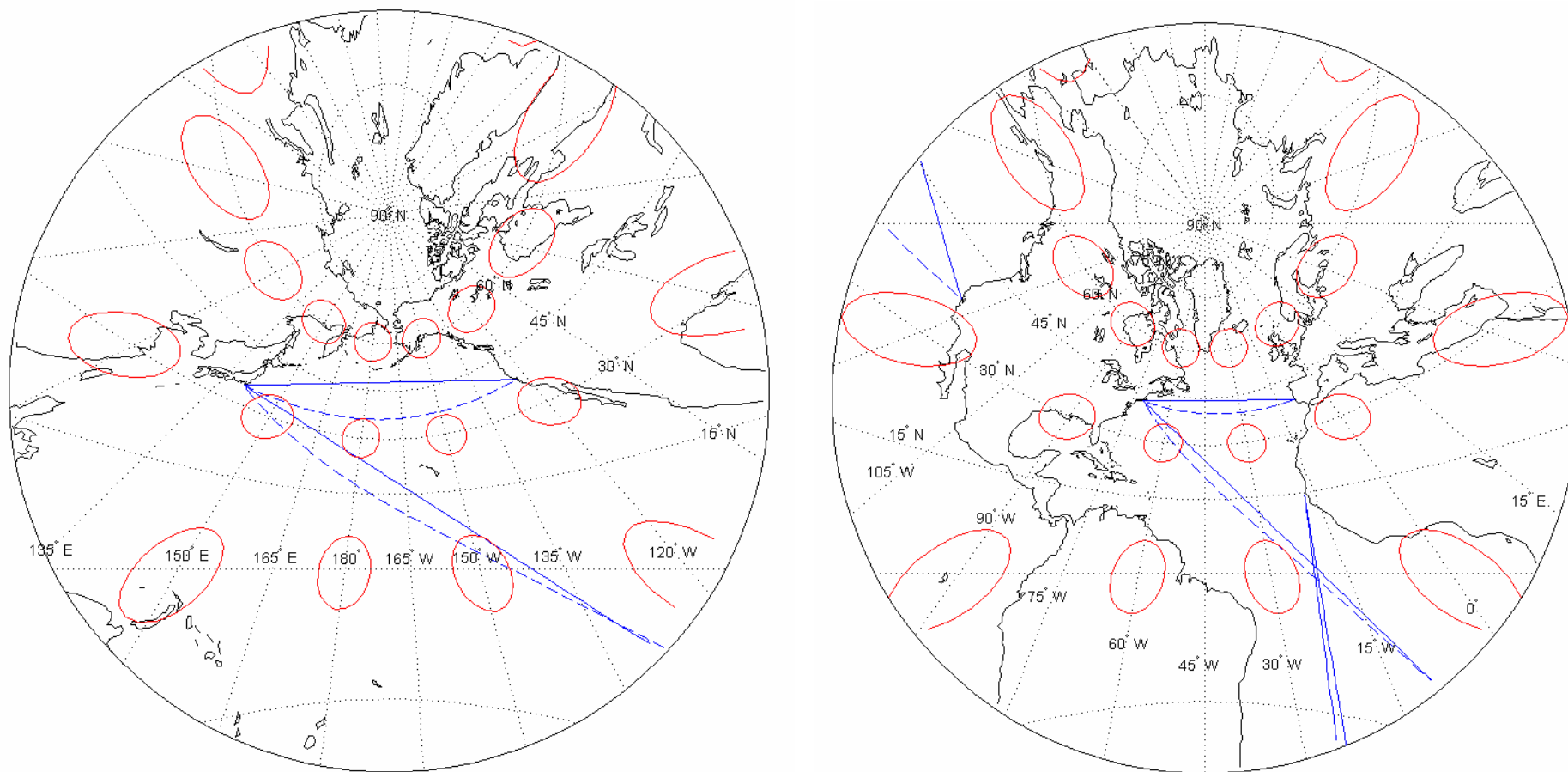
Σχ. Δ-8: Ισημερινή ορθογραφική απεικόνιση



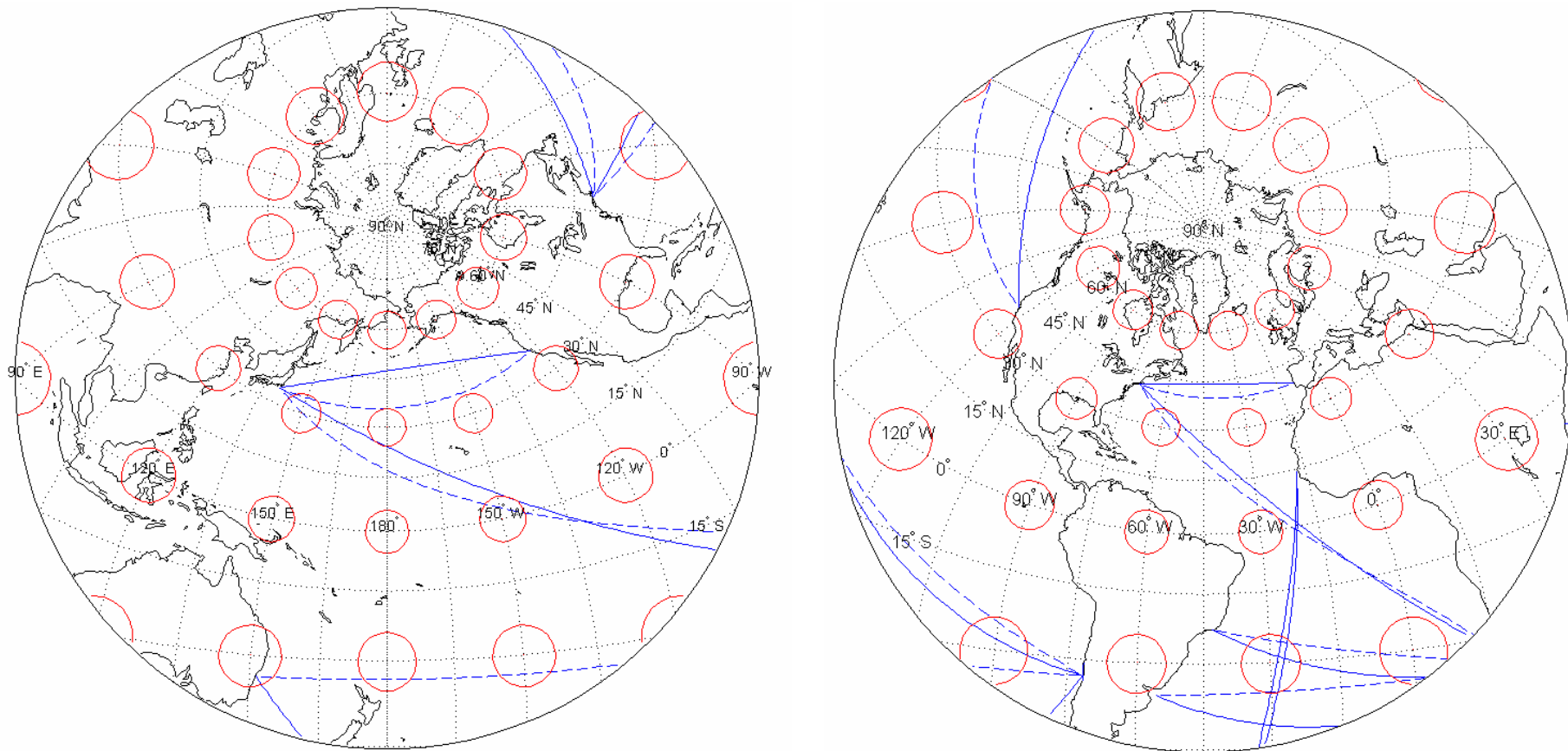
Σχ. Δ-9: Ισημερινή αξιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση



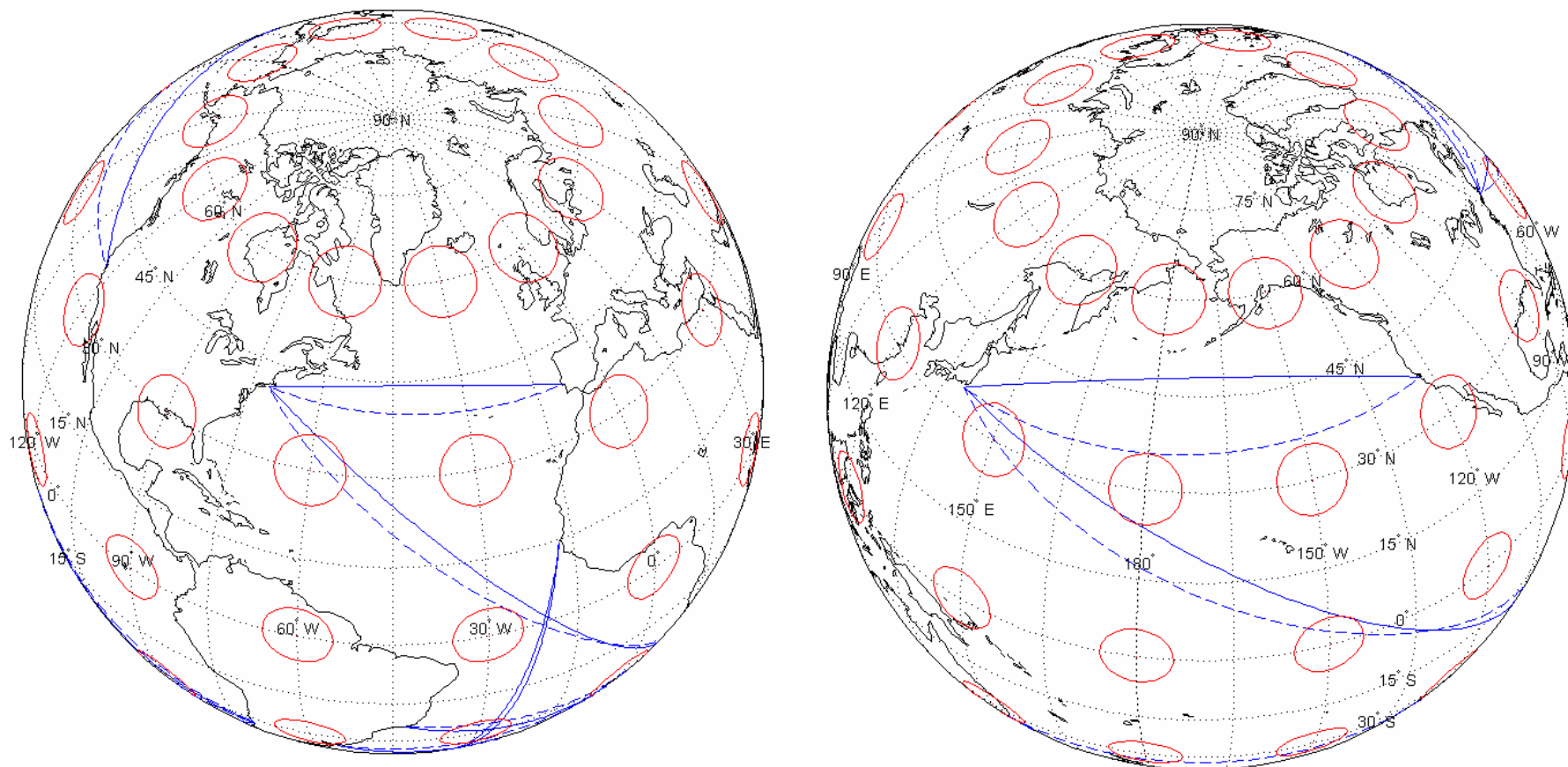
Σχ. Δ-10: Ισημερινή αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση



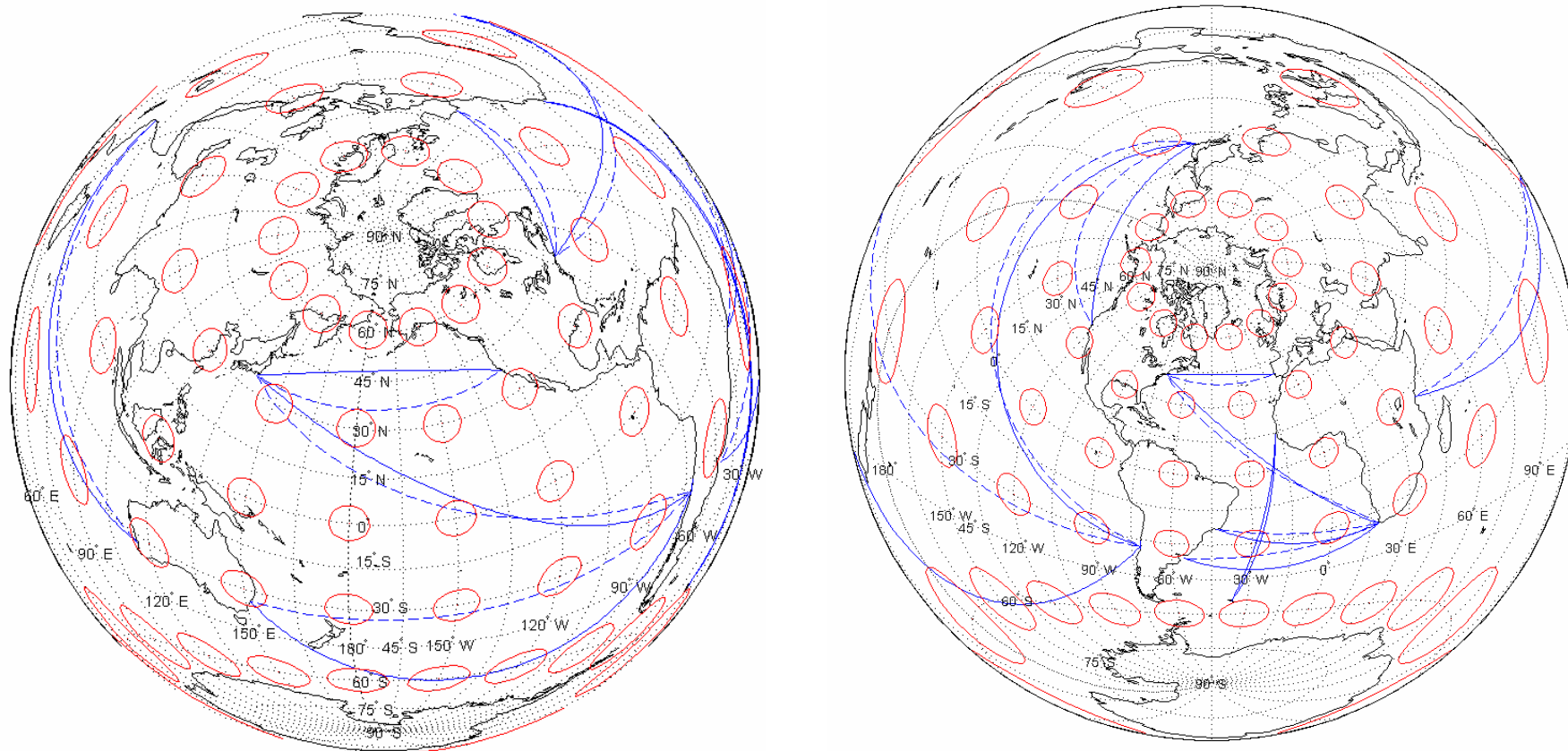
Σχ. Δ-11: Πλάγια γωνιοτική απεικόνιση



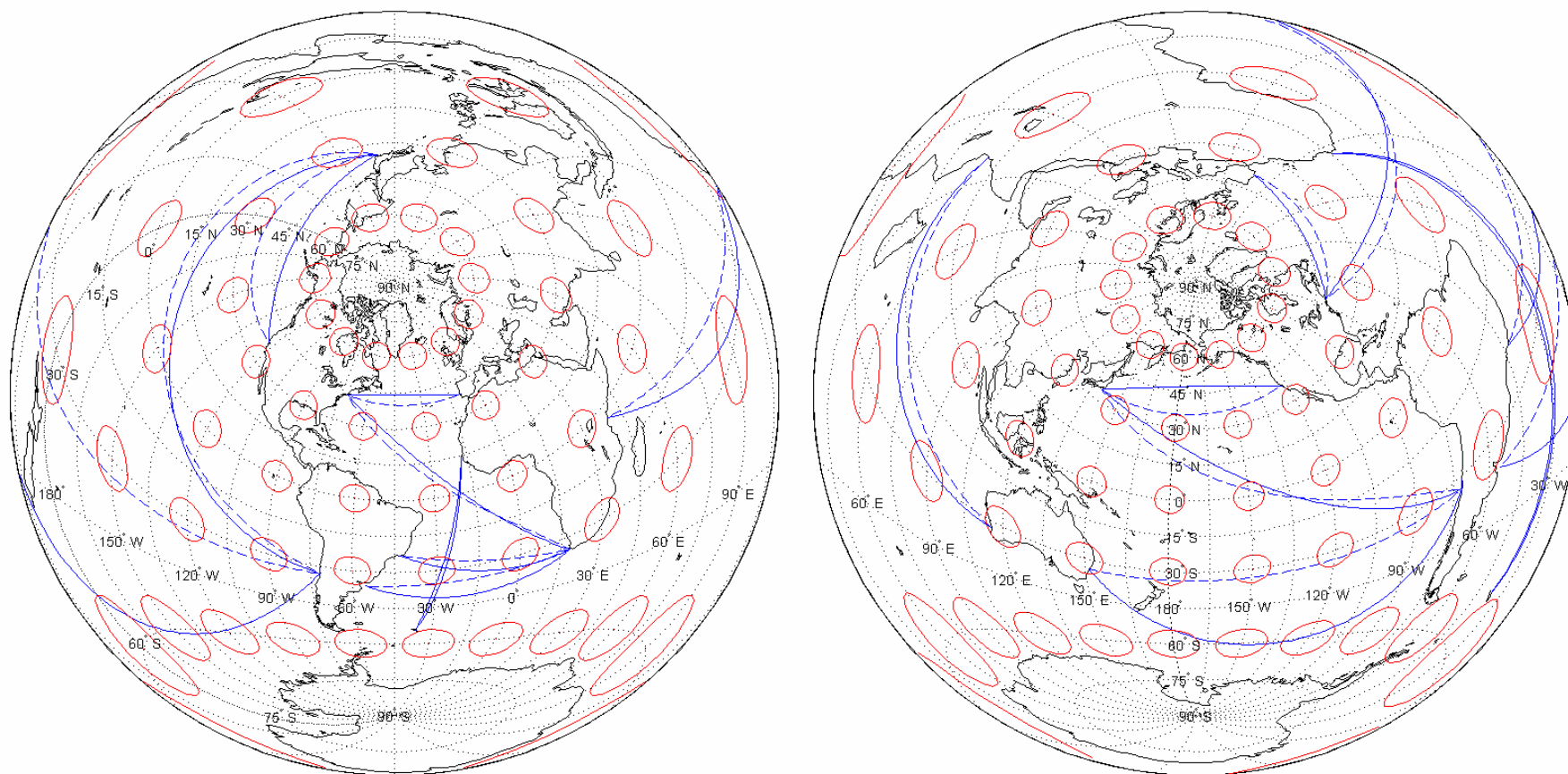
Σχ. Δ-12: Πλάγια στερεογραφική απεικόνιση



Σχ. Δ-13: Πλάγια ορθογραφική απεικόνιση



Σχ. Δ-14: Πλάγια αζιμουθιακή ισοδύναμη απεικόνιση



Σχ. Δ-15: Πλάγια αξιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση

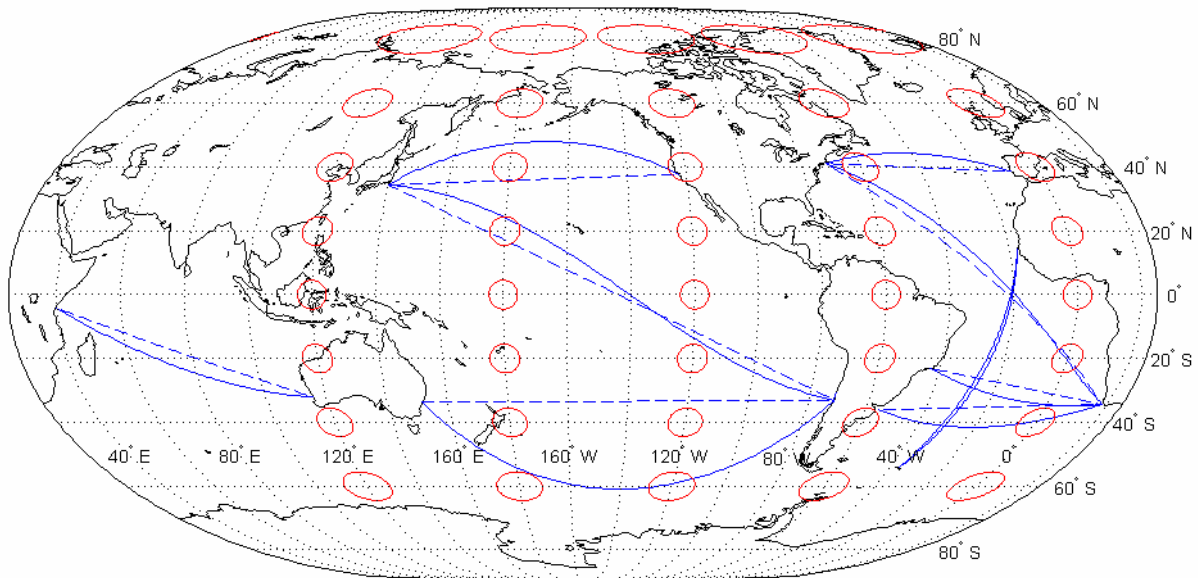
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΟΥ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ
ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΨΕΥΔΟΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

Στους χάρτες ψευδοκυλινδρικών απεικονίσεων του παρόντος παραρτήματος απεικονίζονται επιλεγμένα δρομολόγια ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου μεγάλων αποστάσεων και ελλείψεις παραμόρφωσης για την αρχική εκτίμηση του μεγέθους των παραμορφώσεων και της πιστότητας οπτικοποίησης των δρομολογίων πλου μεγάλων αποστάσεων για κάθε εξεταζόμενη απεικόνιση. Οι χάρτες του παραρτήματος Ε αφορούν τις επόμενες ψευδοκυλινδρικές απεικονίσεις:

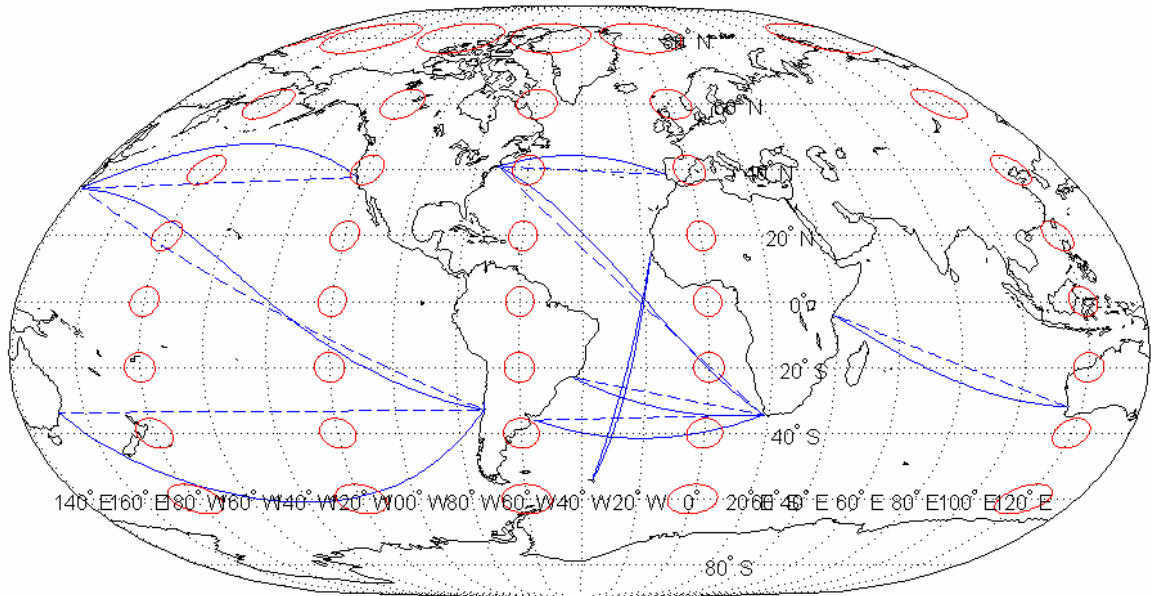
Σχήμα Ε-1: Λοξιμουθιακή ισημερινή απεικόνιση

Σχήμα Ε-2: Λοξιμουθιακή απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=30^\circ$

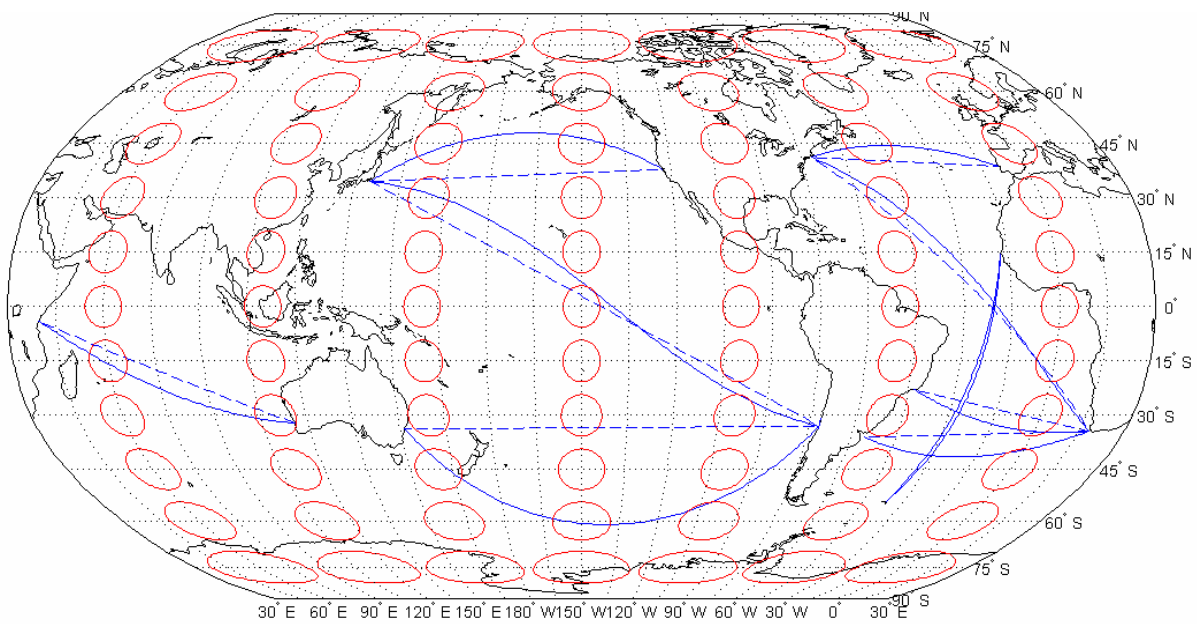
Σχήμα Ε-3: Συμβατική ψευδοκυλινδρική απεικόνιση του Robinson



Σχ. Ε-1: Λοξιμουθιακή ισημερινή απεικόνιση



Σχ. Ε-2: Λοξιμουθιακή απεικόνιση με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=30^\circ$

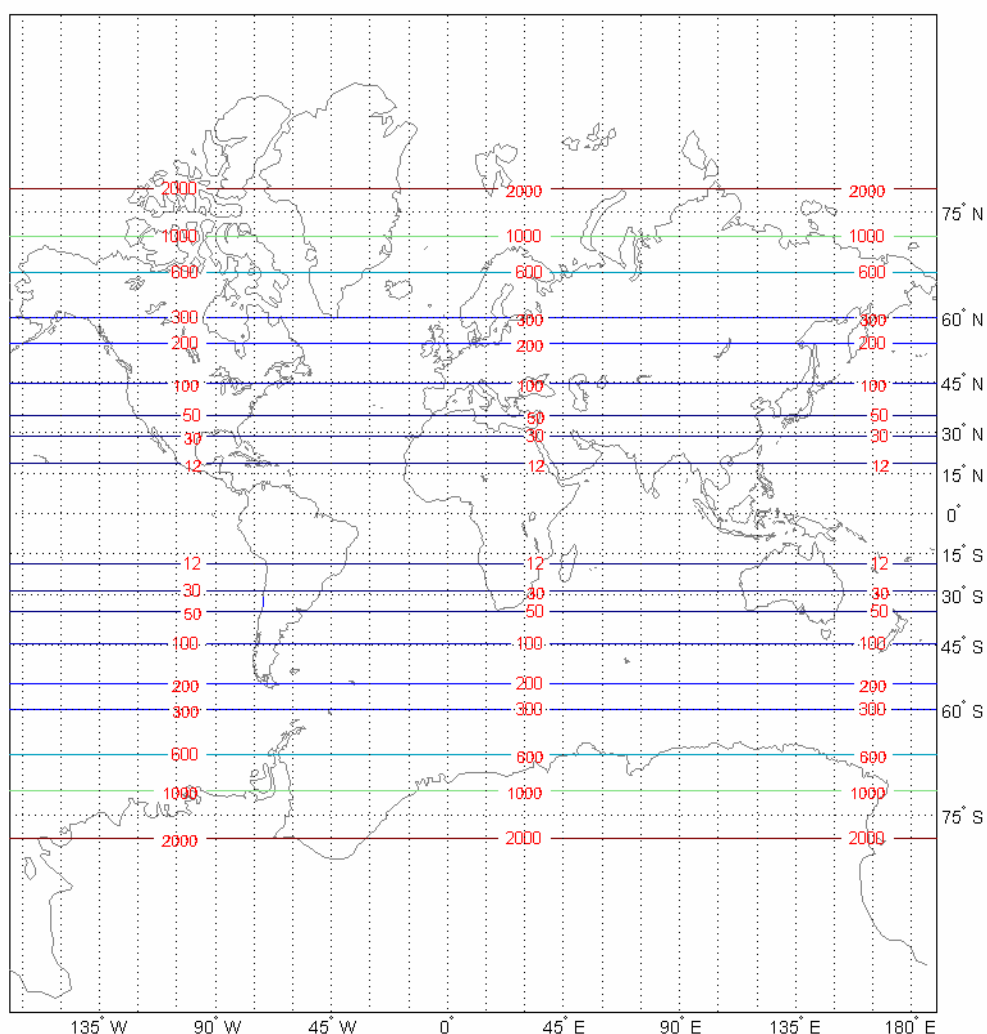


Σχ. Ε-3: Απεικόνιση του Robinson

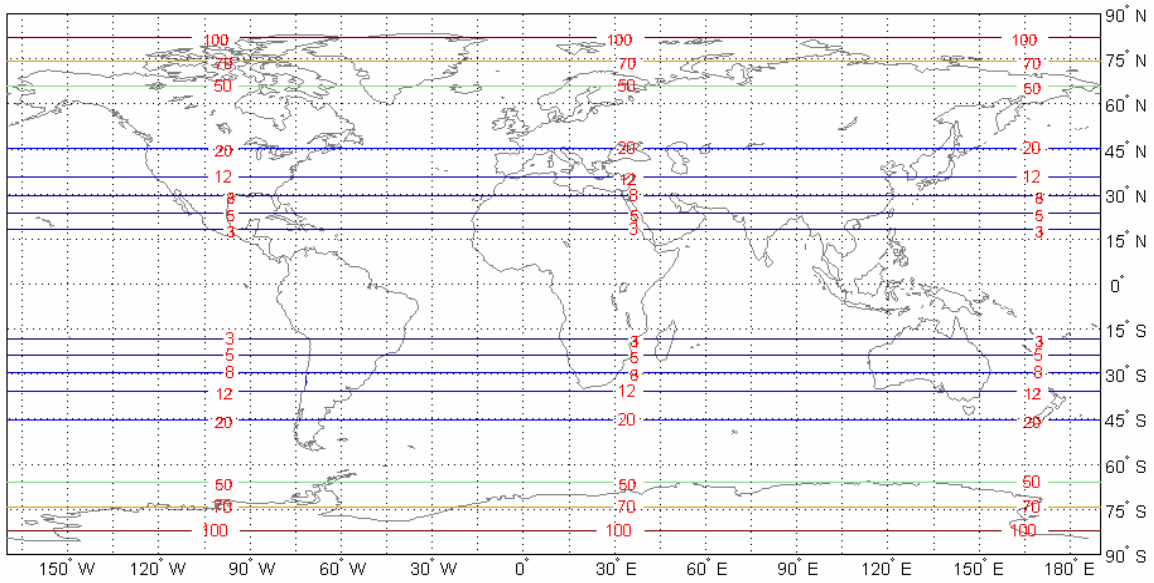
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

Στους χάρτες κυλινδρικών απεικονίσεων του παρόντος παραρτήματος απεικονίζονται ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής και γωνιακής παραμόρφωσης των παρακάτω κυλινδρικών απεικονίσεων:

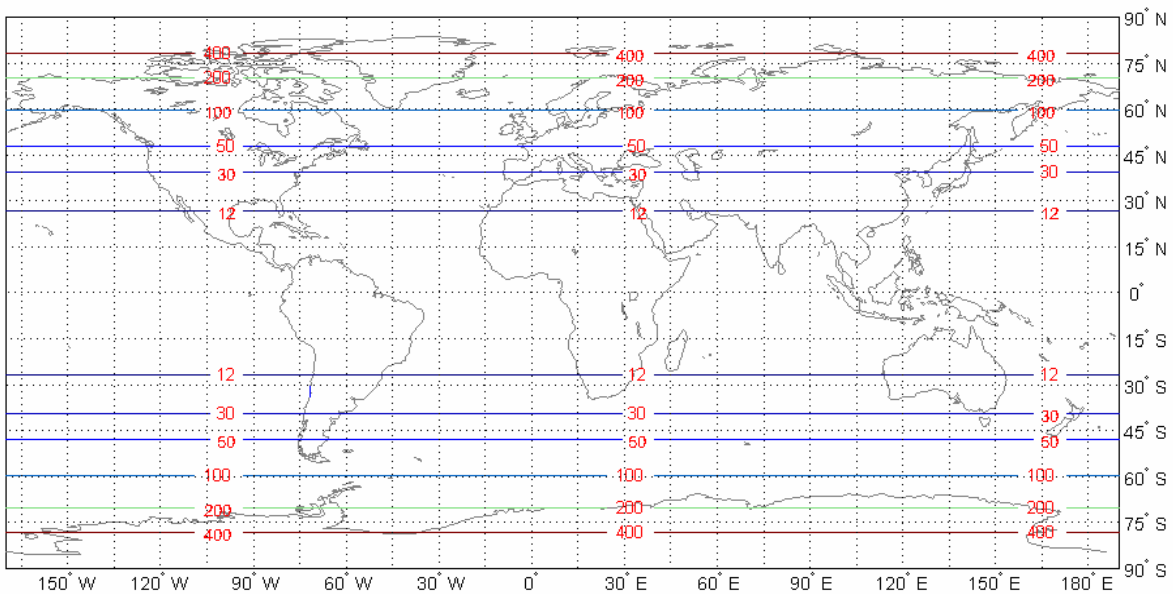
- μερκατορικής ισημερινής (σχήμα, ΣΤ-1),
- κυλινδρικής ισαπέχουσας ισημερινής (σχήματα, ΣΤ-2, ΣΤ-3),
- κυλινδρικής ισημερινής απεικόνισης Miller (σχήματα, ΣΤ-4, ΣΤ-5) και
- κυλινδρικής ισημερινής στερεογραφικής απεικόνισης (σχήματα, ΣΤ-6, ΣΤ-7)



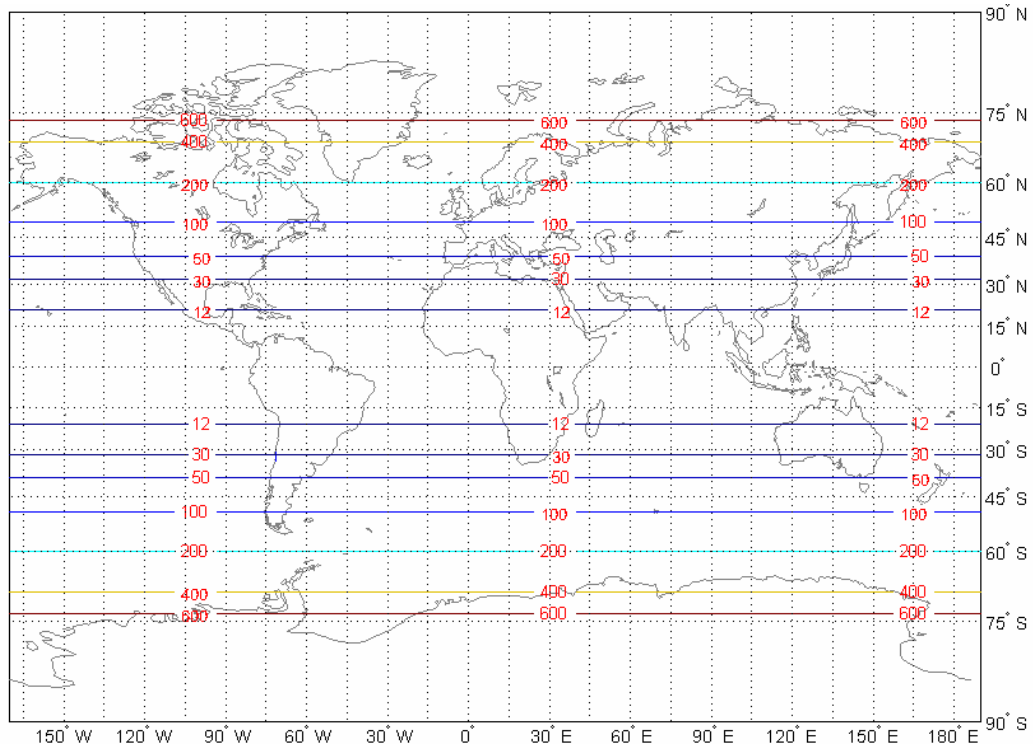
Σχ. ΣΤ-1 : Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης Μερκατορικής ισημερινής απεικόνισης



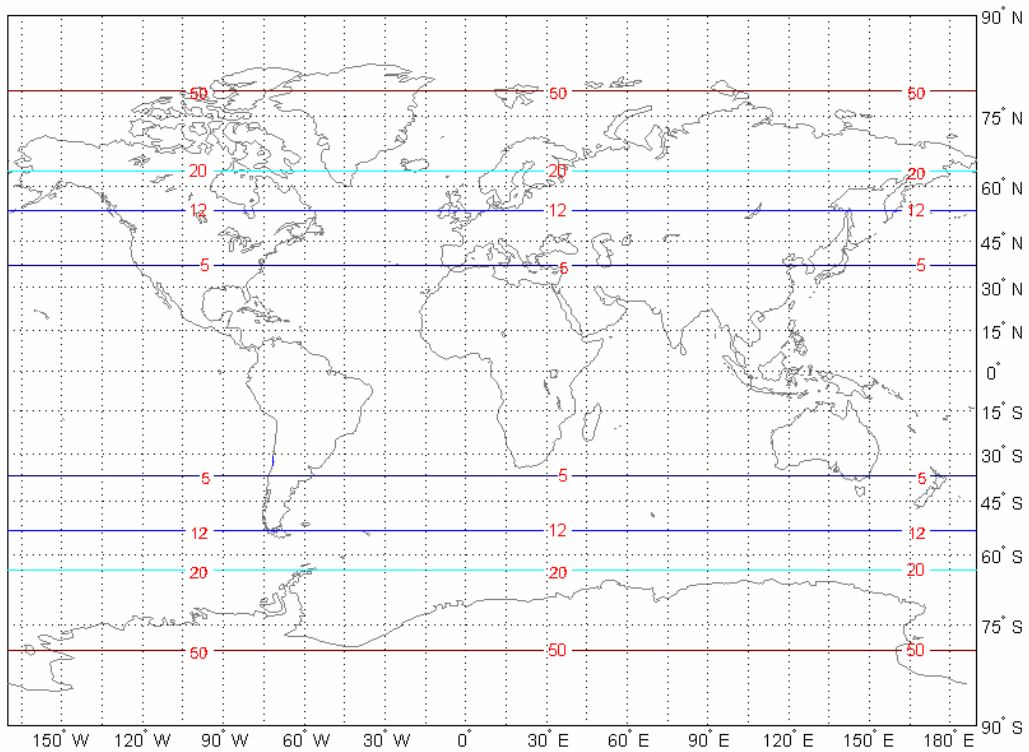
Σχ. ΣΤ-2: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης



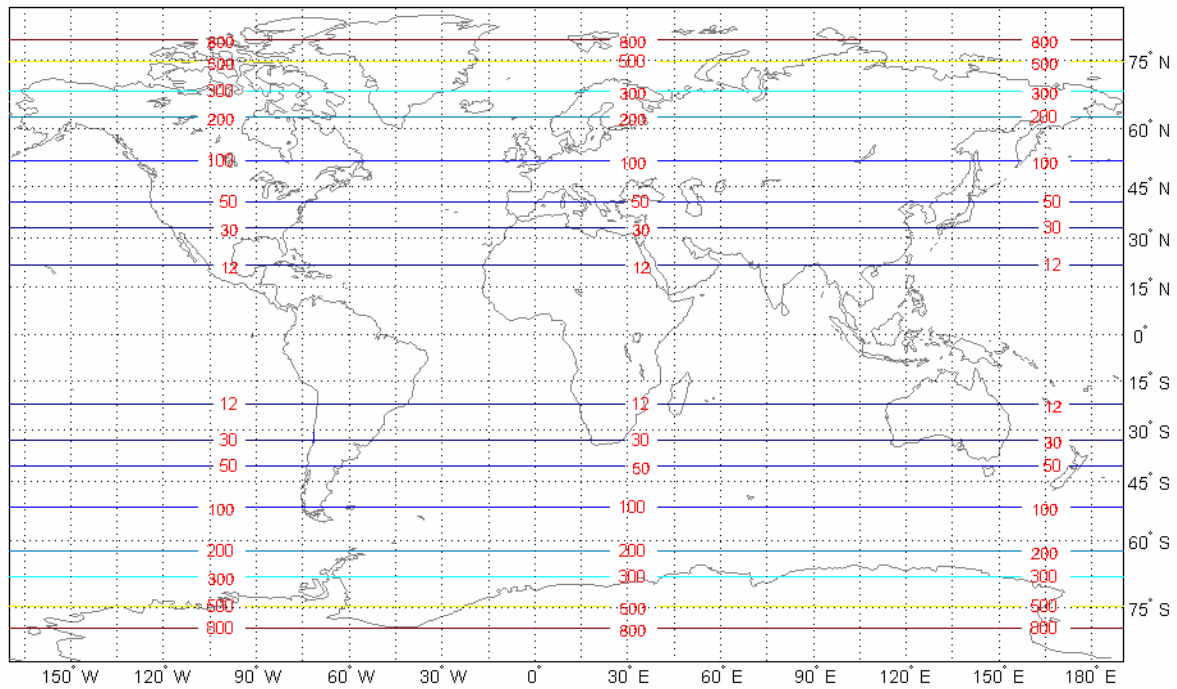
Σχ. ΣΤ-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης



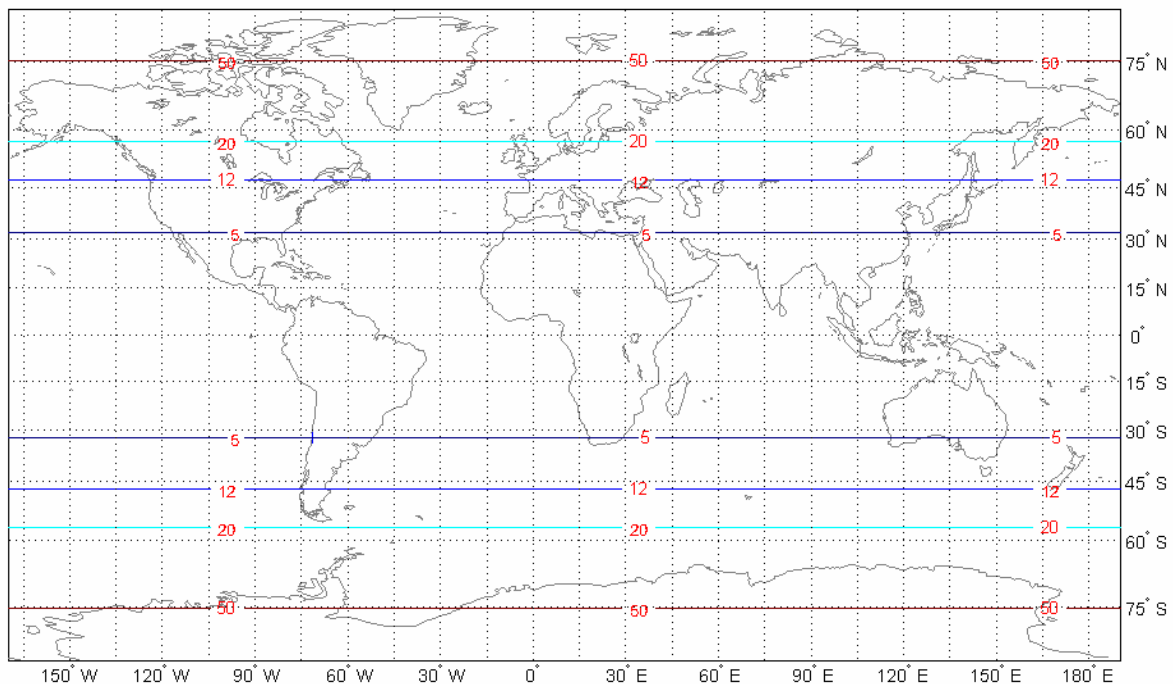
Σχ. ΣΤ-4: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής απεικόνισης Miller



Σχ. ΣΤ-5: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής απεικόνισης Miller

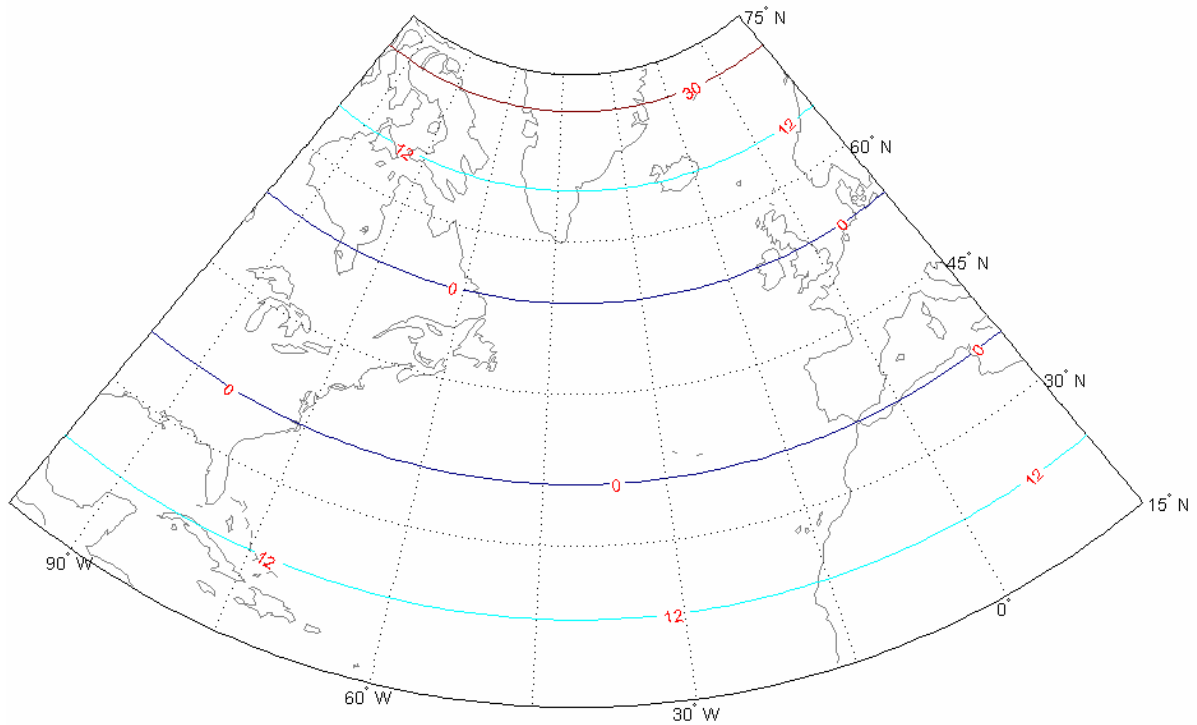


Σχ. ΣΤ-6: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής στερεογραφικής απεικόνισης

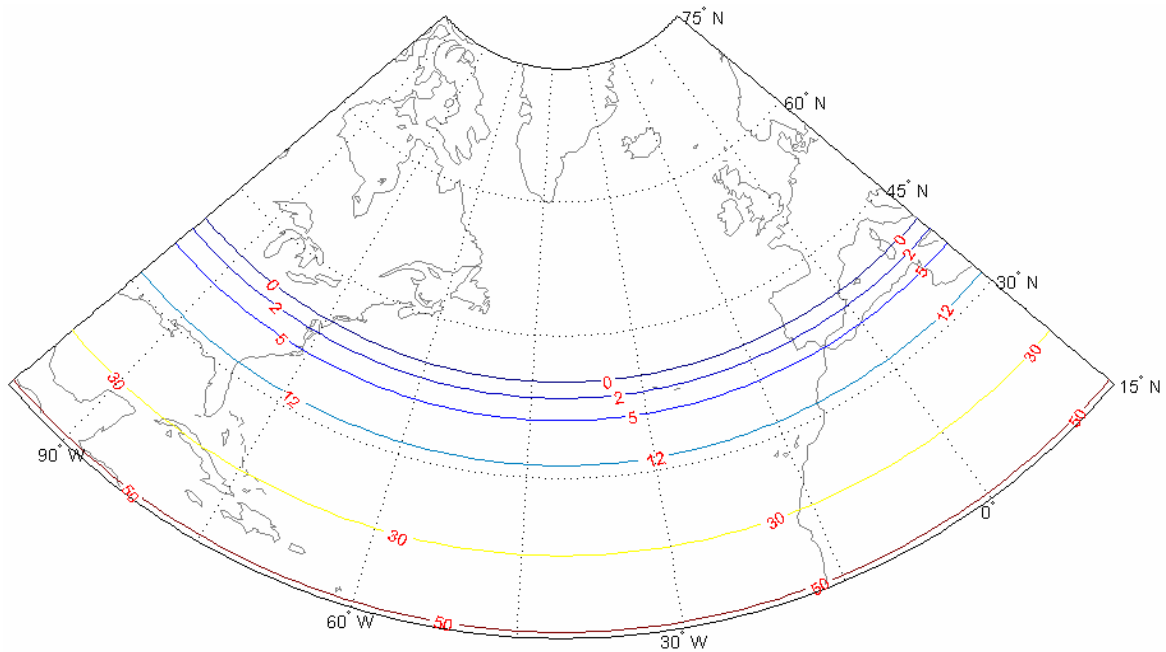


Σχ. ΣΤ-7: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης κυλινδρικής ισημερινής στερεογραφικής απεικόνισης

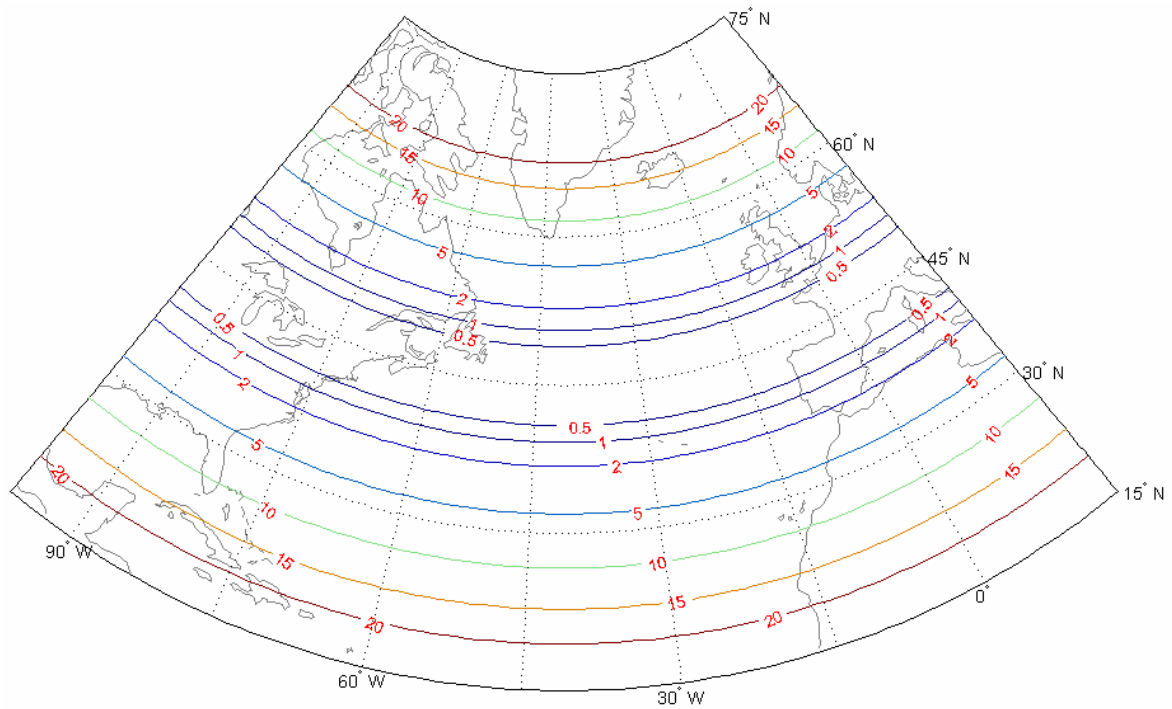
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ
ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΚΩΝΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ



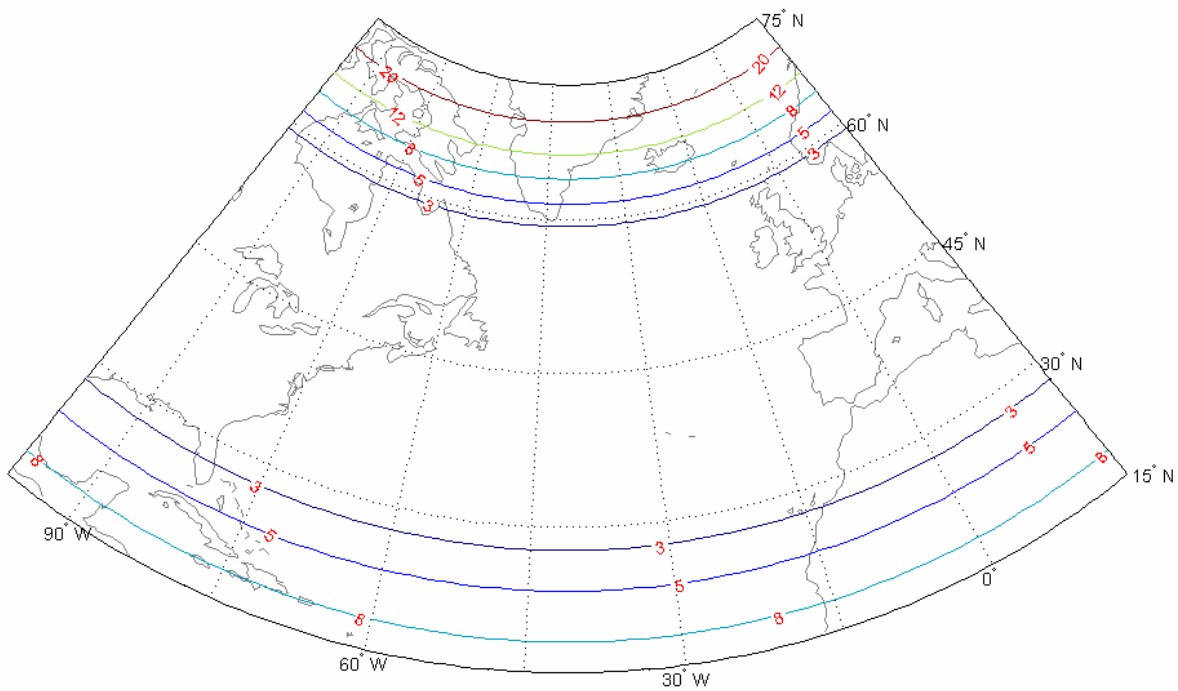
Σχ. Ζ-1: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης σύμμορφης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$



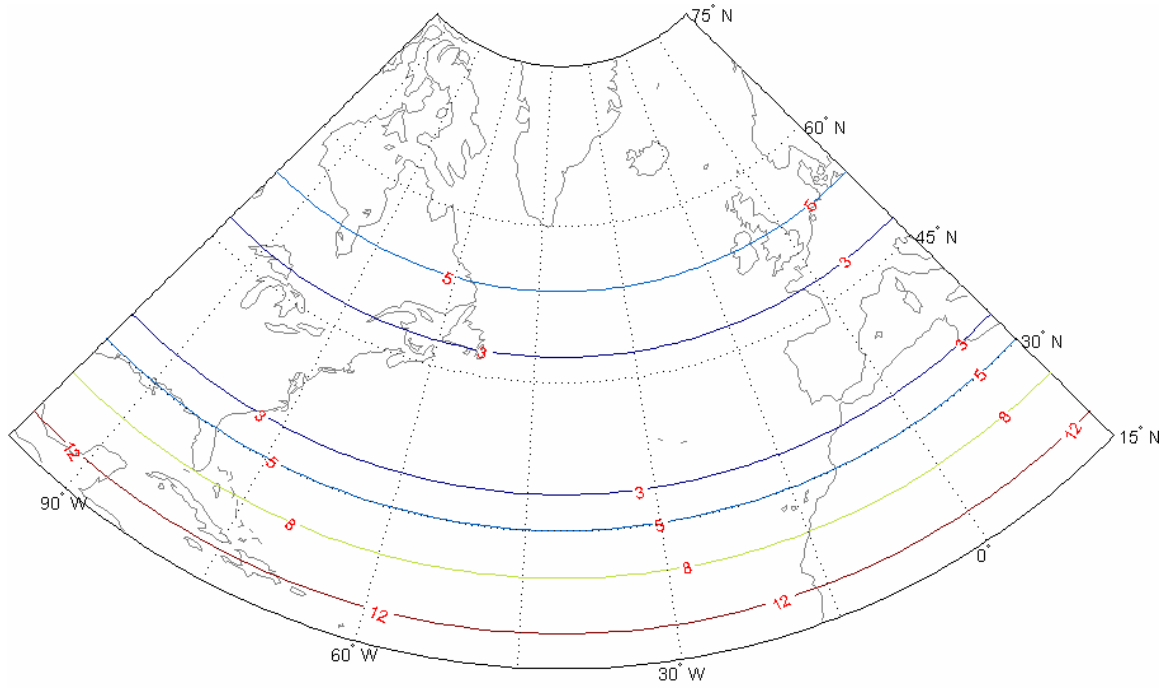
Σχ. Ζ-2: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης σύμμορφης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$



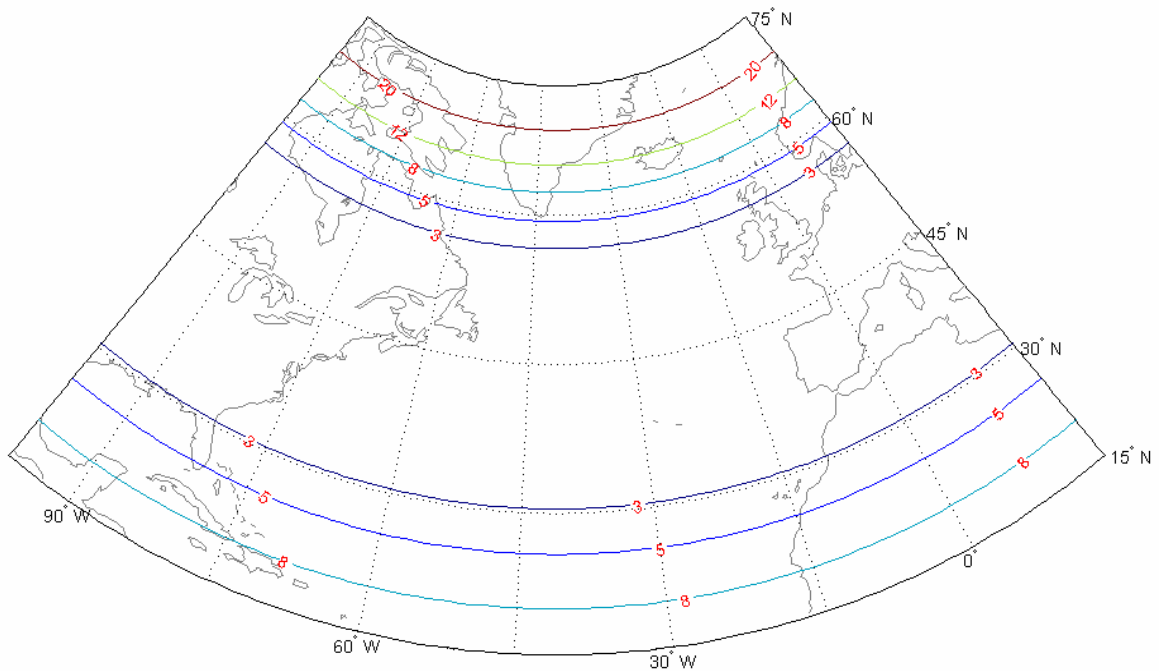
Σχ. Z-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης σύμμορφης κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\phi_0=45^\circ$



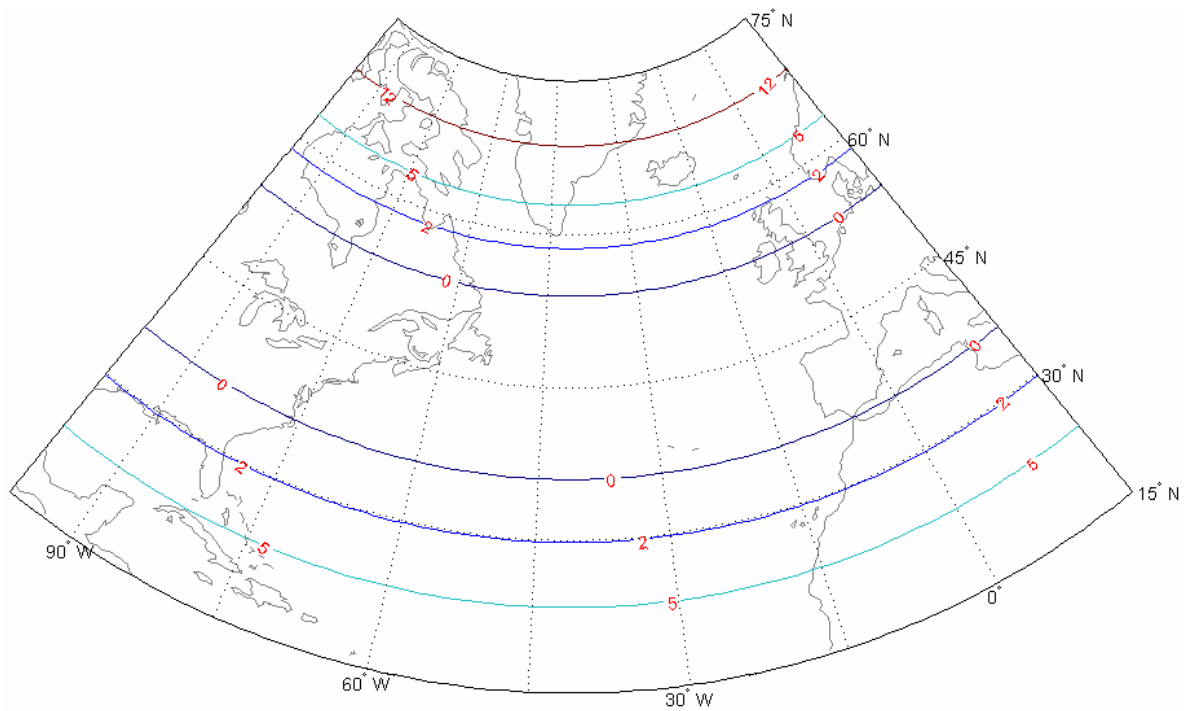
Σχ. Z-4: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισοδύναμης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\phi_1=36^\circ$, $\phi_2=54^\circ$



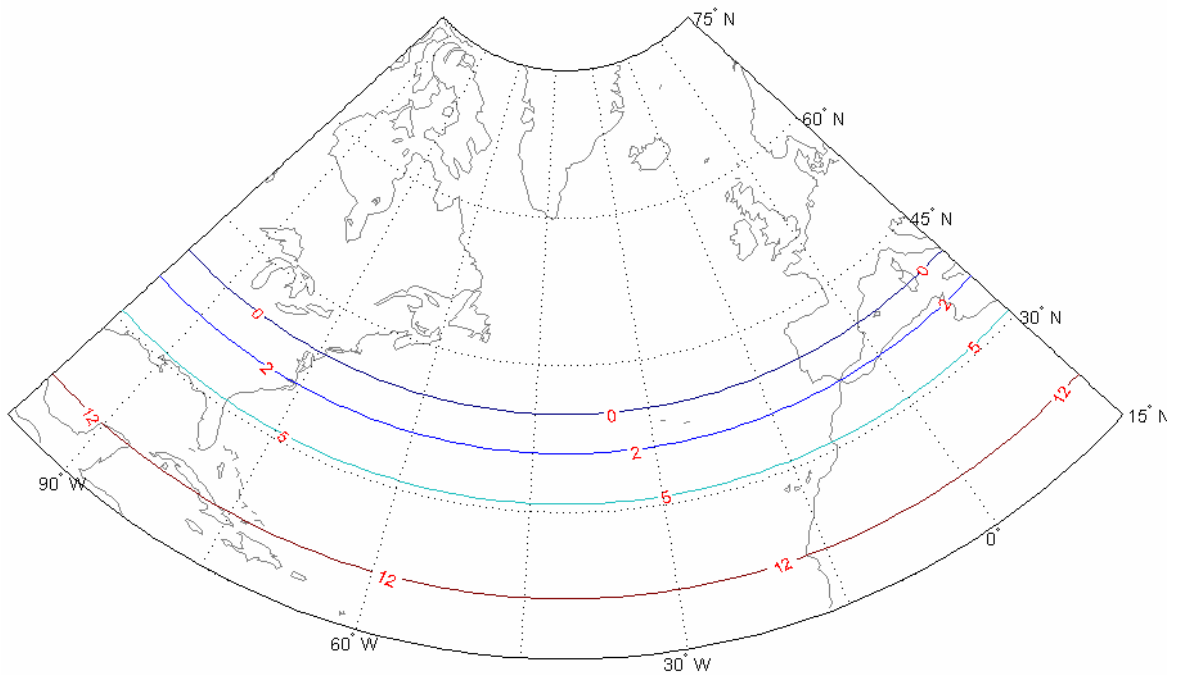
Σχ. Z-5: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισοδύναμης κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\phi_1=40^\circ$, $\phi_2=80^\circ$



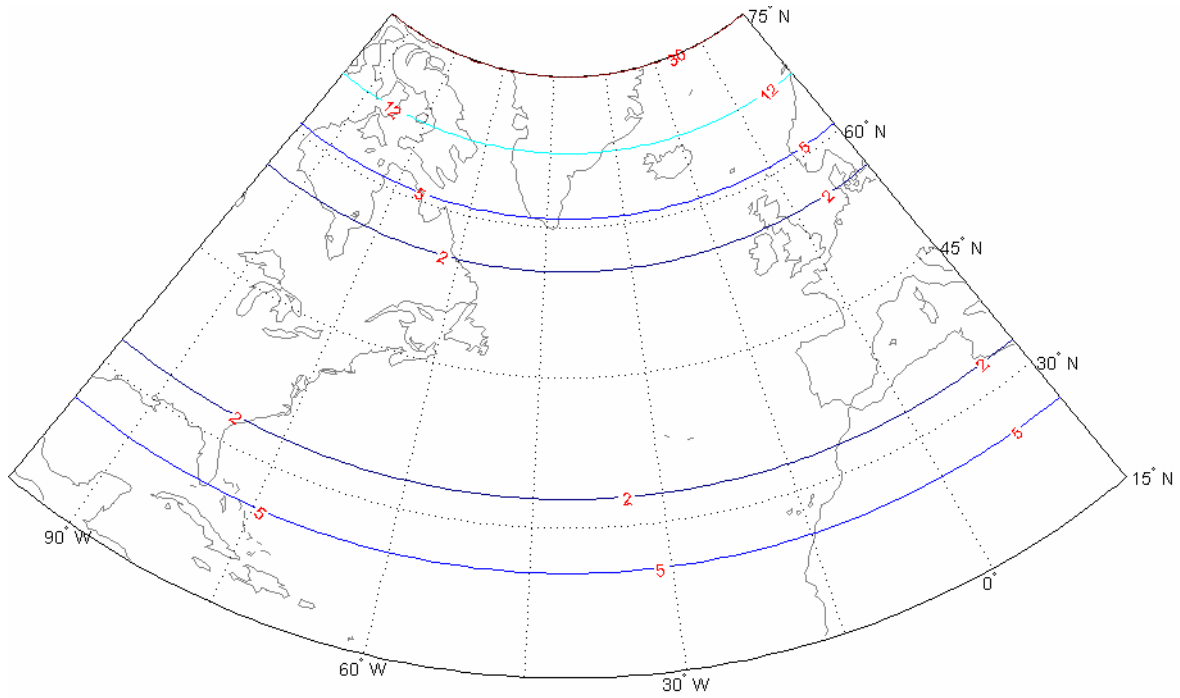
Σχ. Z-6: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισοδύναμης κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\phi_0=45^\circ$



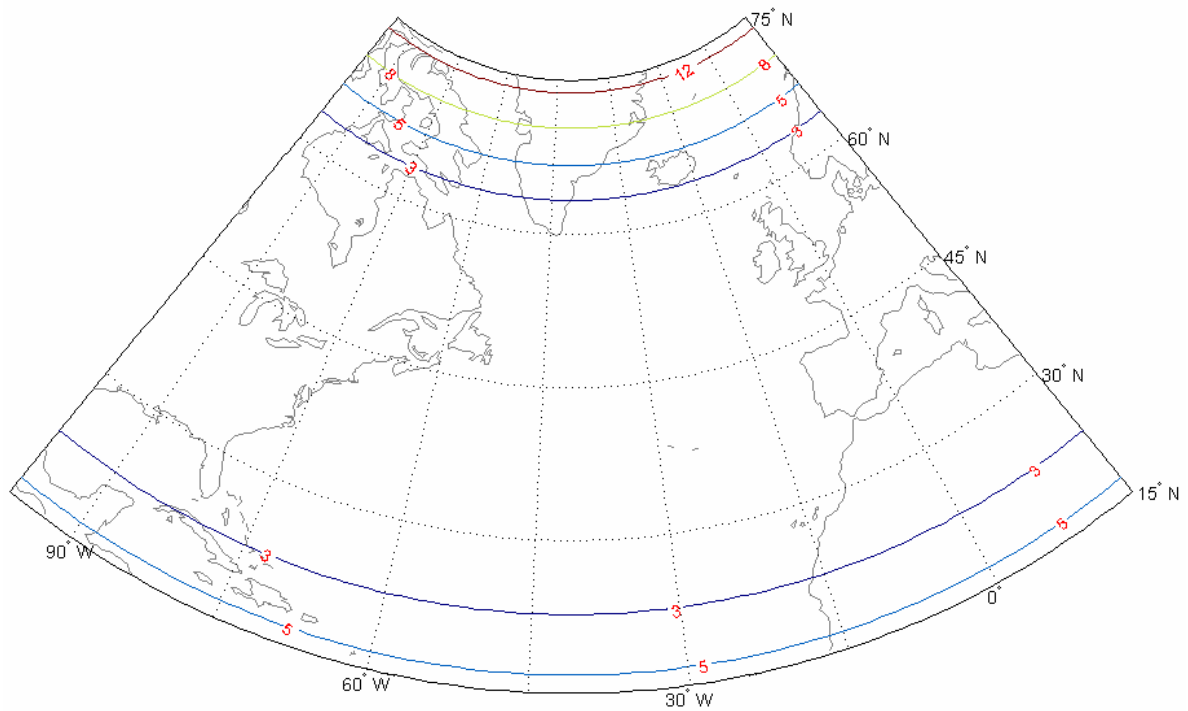
Σχ. Z-7: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=36^\circ$, $\varphi_2=54^\circ$



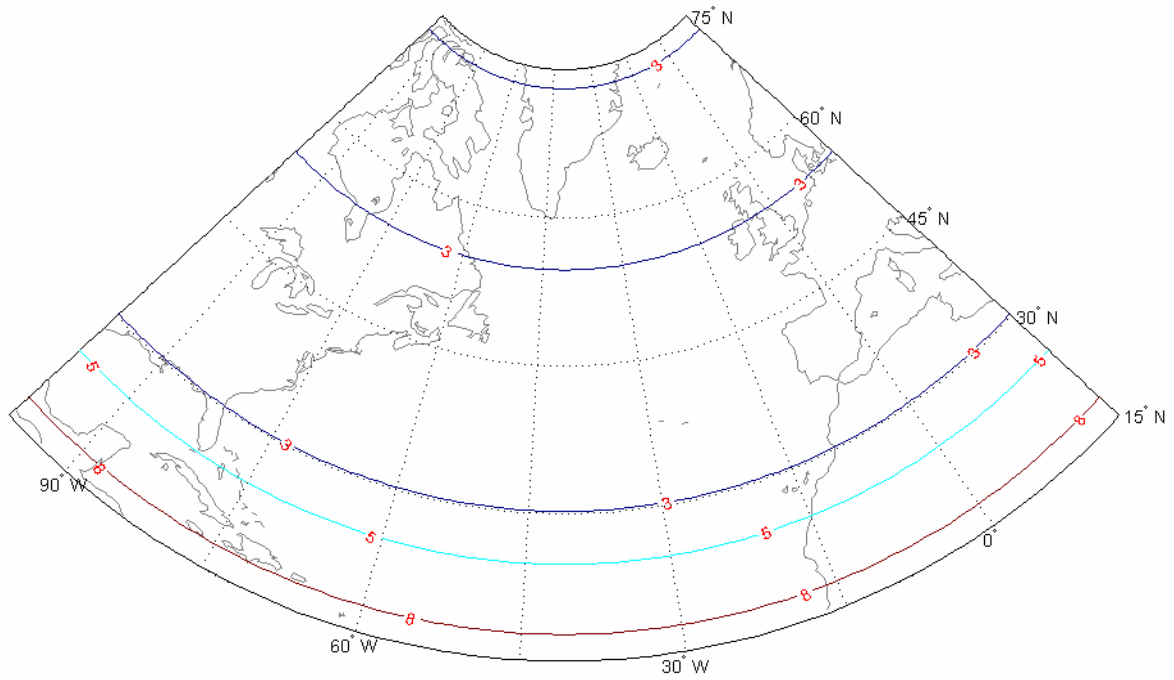
Σχ. Z-8: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$



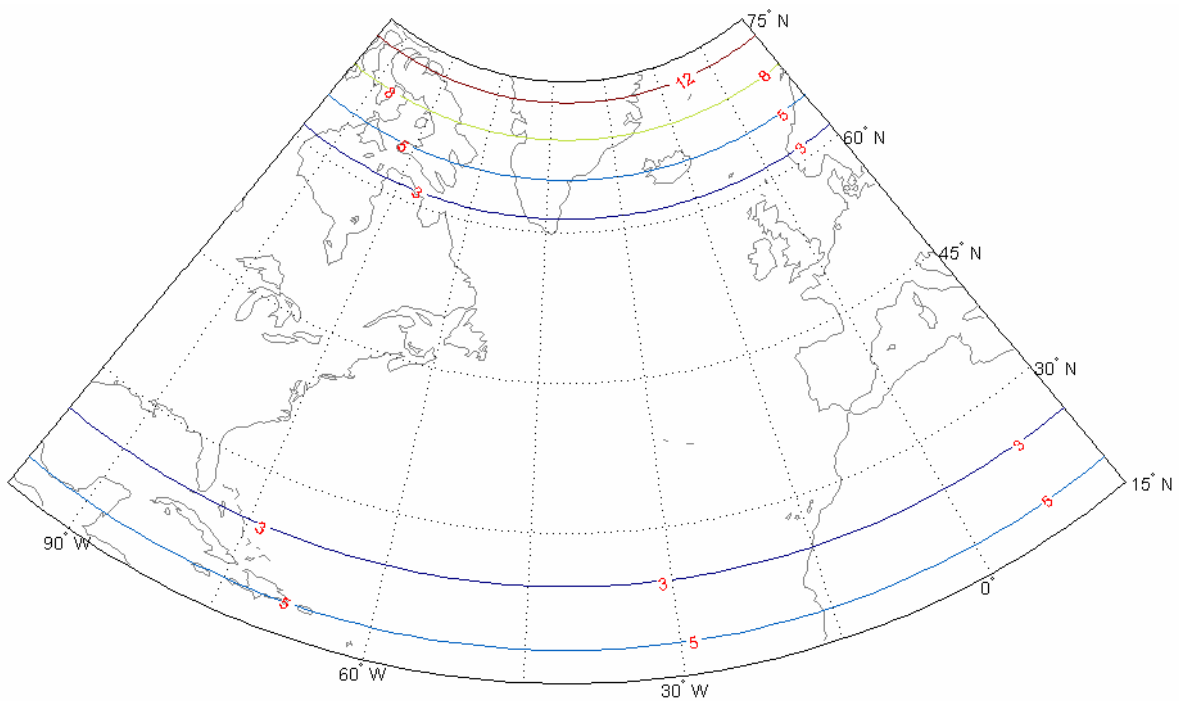
Σχ. Z-9: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\phi_0=45^\circ$



Σχ. Z-10: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παραλλήλους σε $\phi_1=36^\circ$, $\phi_2=54^\circ$

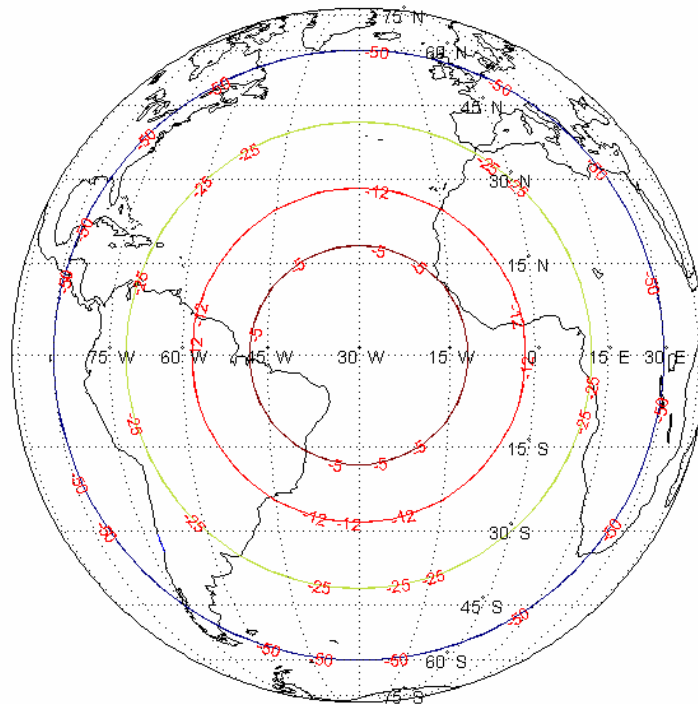


Σχ. Z-11: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με δύο βασικούς παράλληλους σε $\varphi_1=40^\circ$, $\varphi_2=80^\circ$

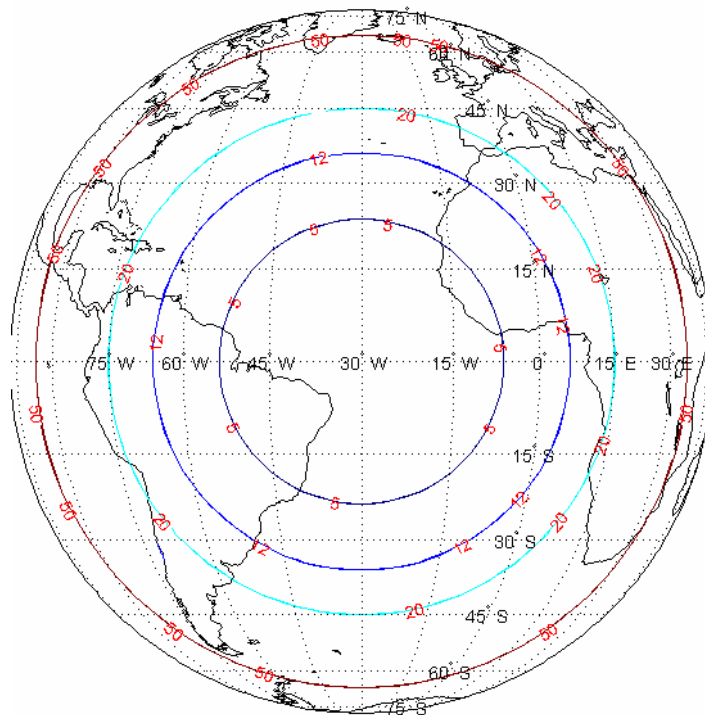


Σχ. Z-12: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισαπέχουσας κωνικής απεικόνισης με ένα βασικό παράλληλο σε $\varphi_0=45^\circ$

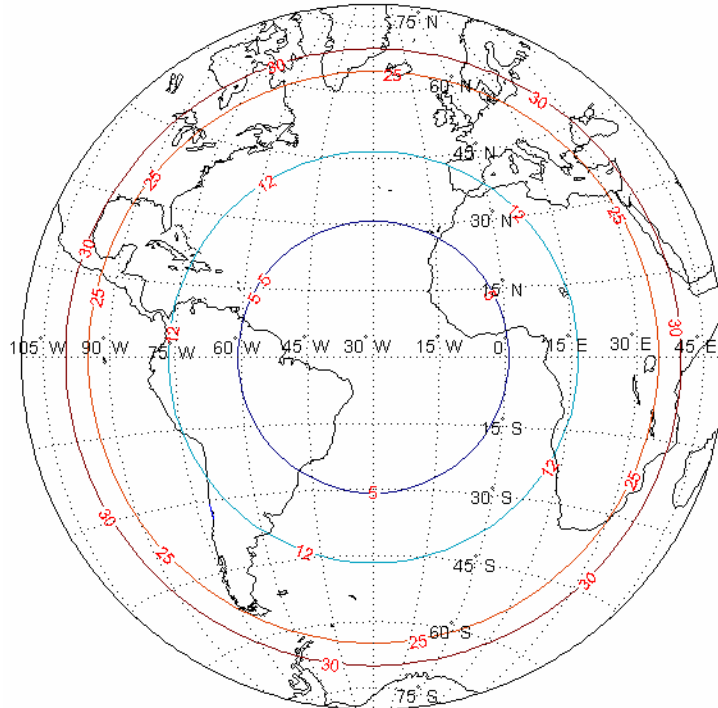
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η
ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ



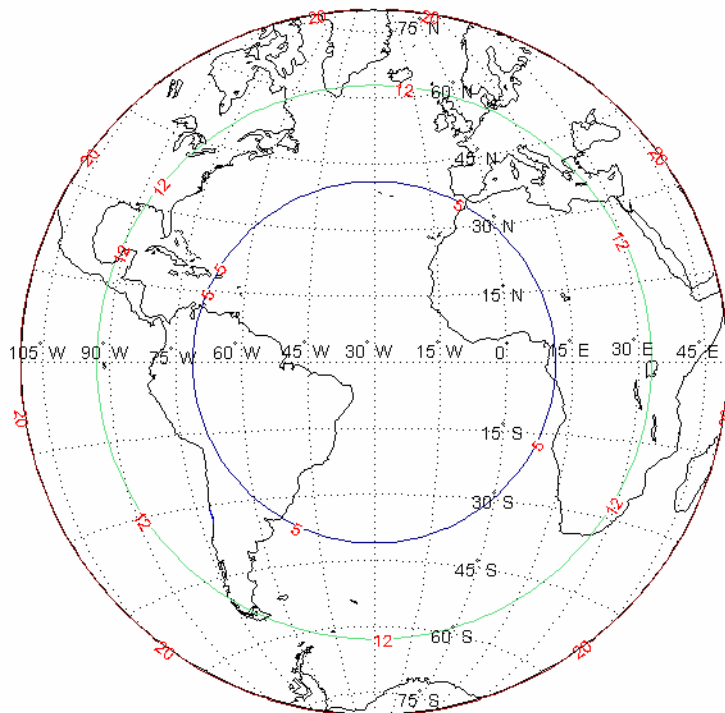
Σχ. Η-1: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισημερινής ορθογραφικής απεικόνισης



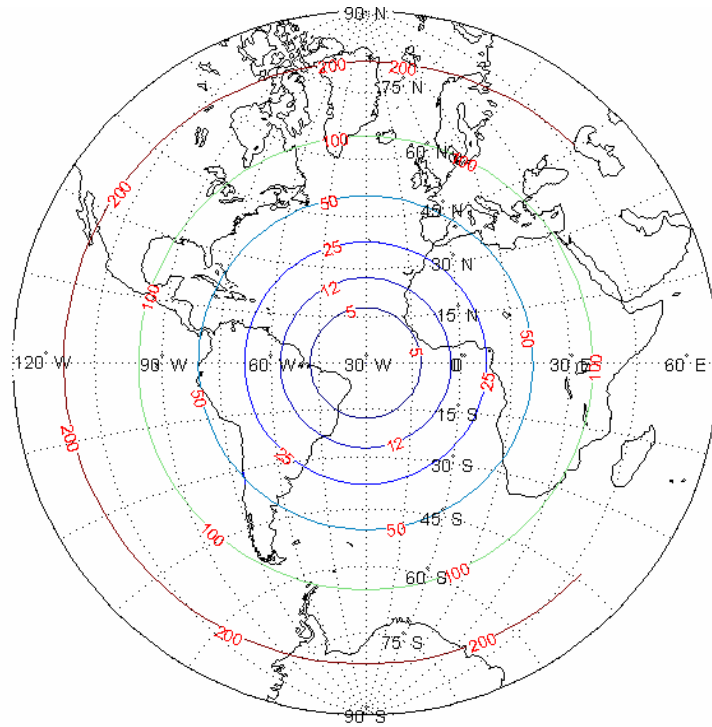
Σχ. Η-2: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισημερινής ορθογραφικής απεικόνισης



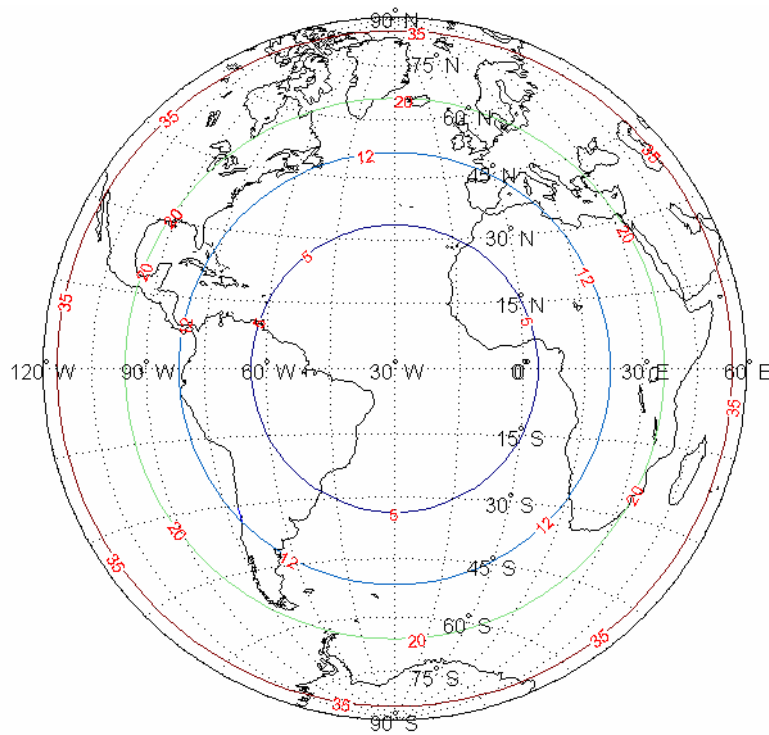
Σχ. Η-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης αζιμουθιακής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης



Σχ. Η-4: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης αζιμουθιακής ισαπέχουσας ισημερινής απεικόνισης



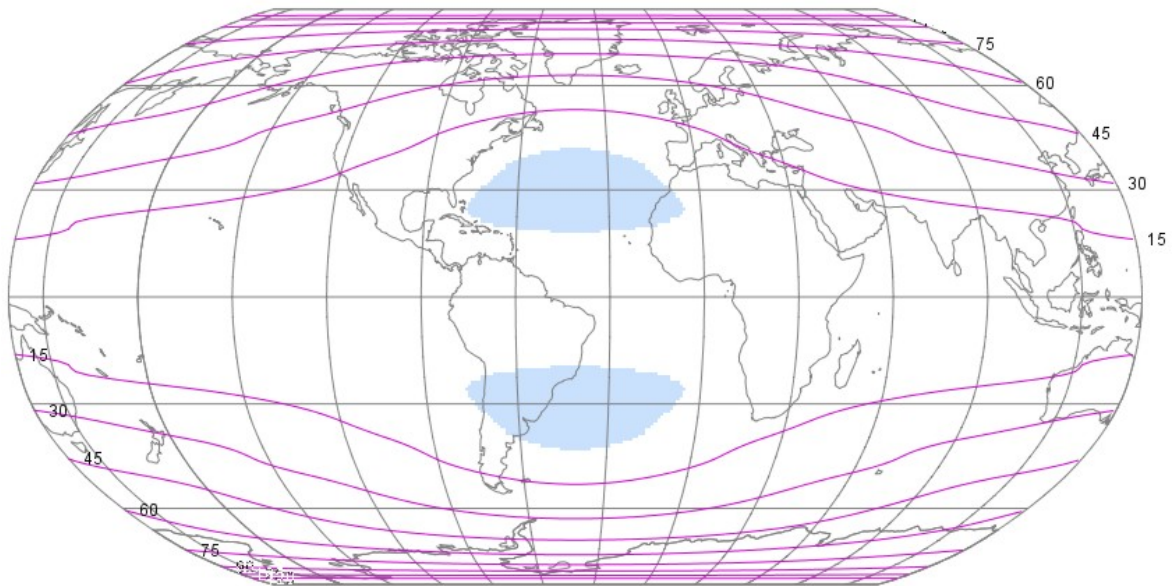
Σχ. Η-5: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισημερινής στερεογραφικής απεικόνισης



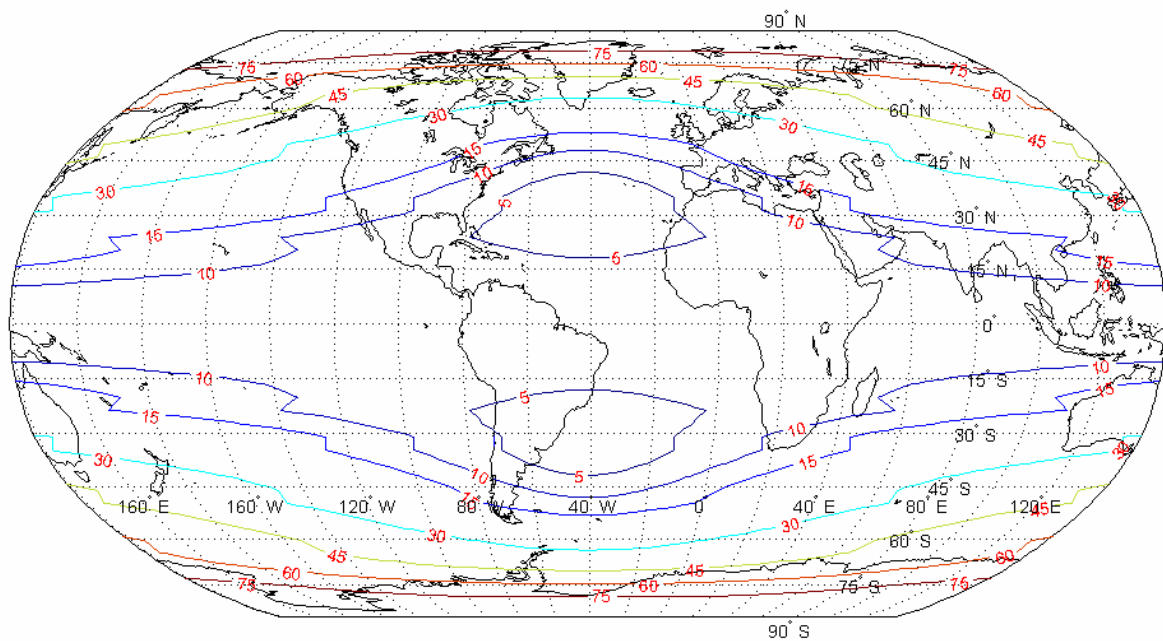
Σχ. Η-6: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης αζιμουθιακής ισοδύναμης ισημερινής απεικόνισης

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ
ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ
ΨΕΥΔΟΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

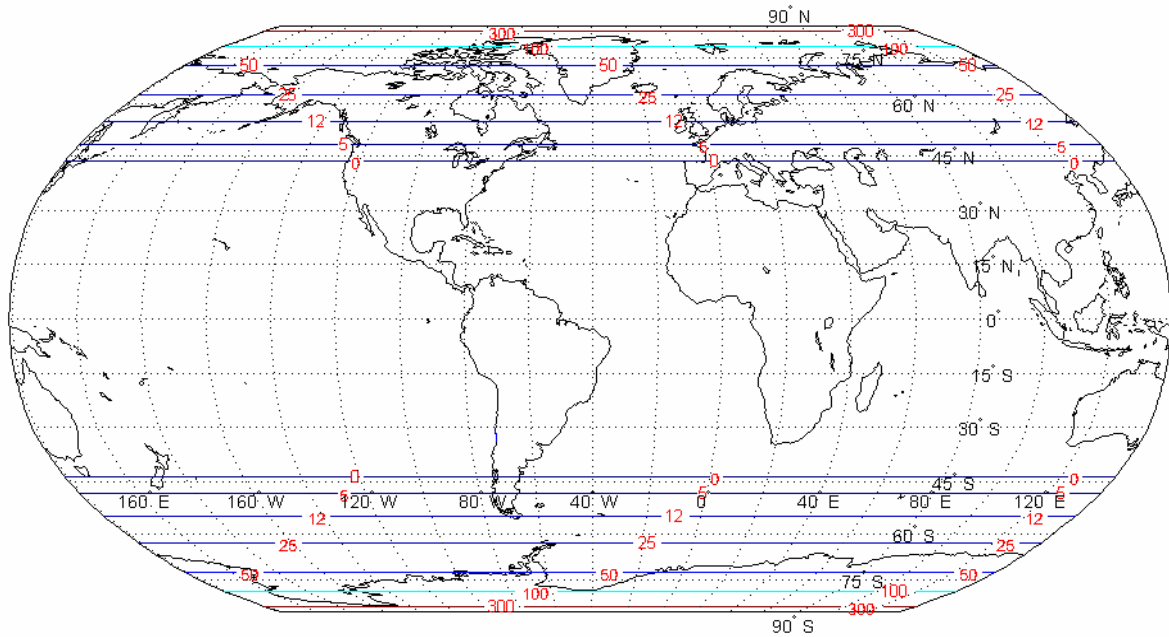


α. Σχεδίαση ισარიθμικών γραμμών μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης με το λογισμικό Flex Projector

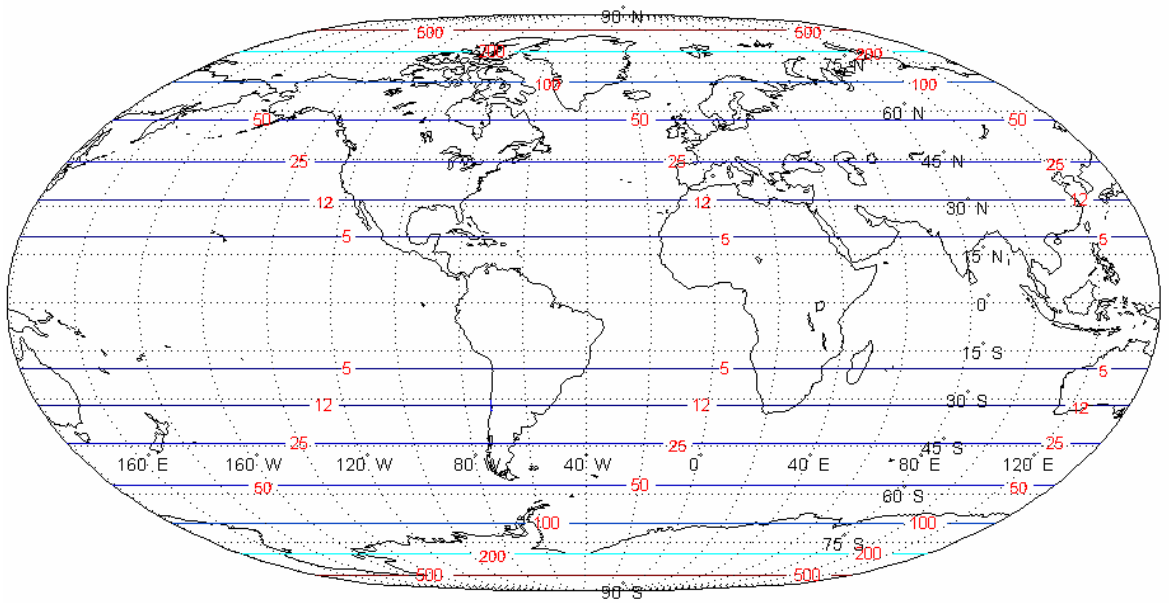


α. Σχεδίαση ισარიθμικών γραμμών μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης με το λογισμικό Matlab/Mapping

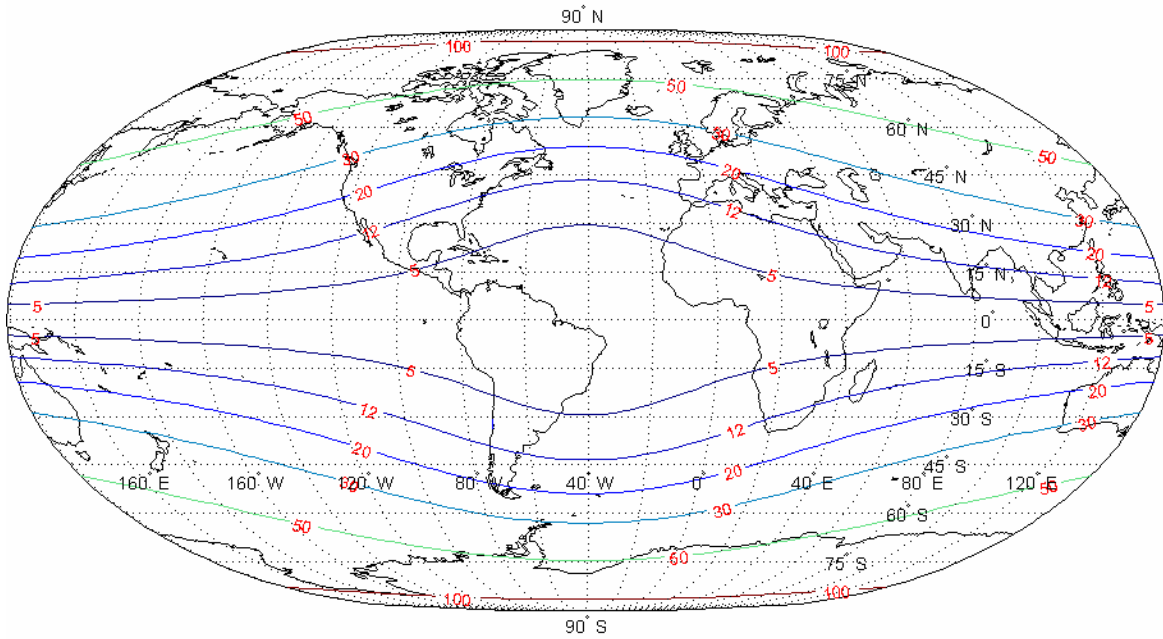
Σχ. Θ-1: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης απεικόνισης Robinson



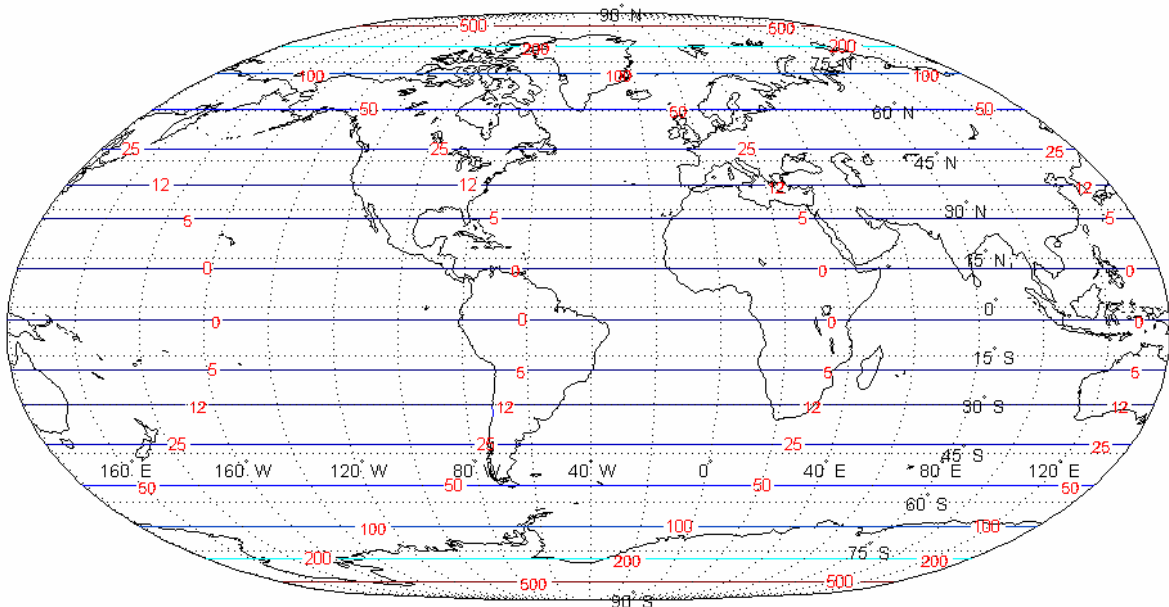
Σχ. Θ-2: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης απεικόνισης Robinson



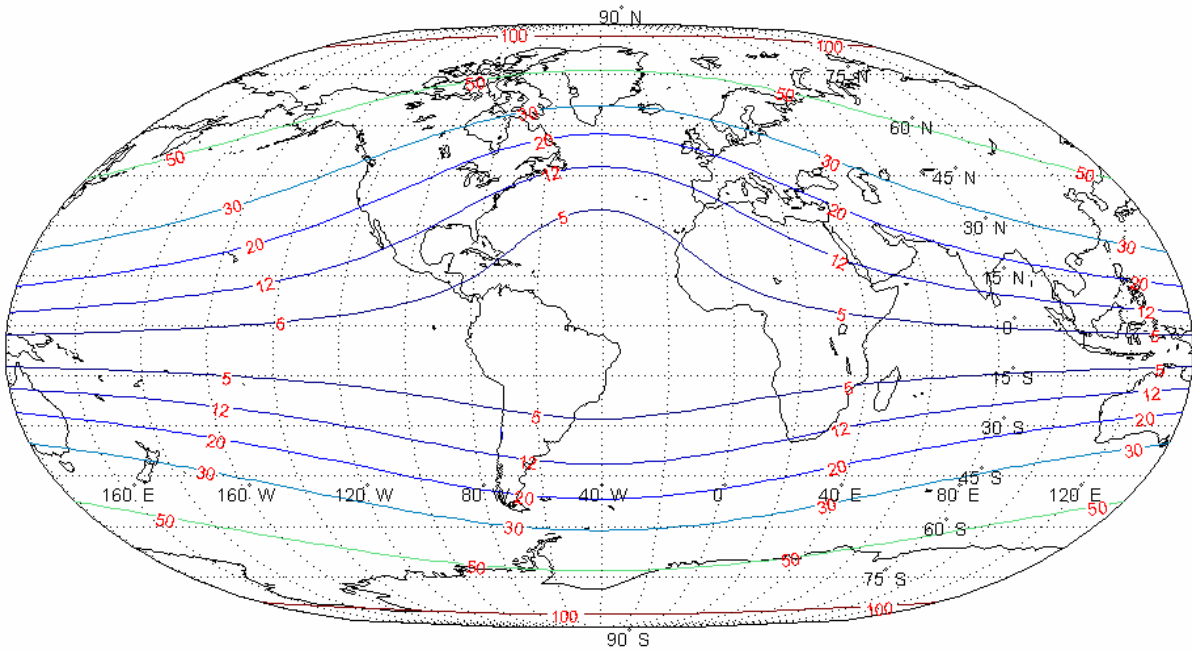
Σχ. Θ-3: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης ισημερινής λοξιμουθιακής απεικόνισης



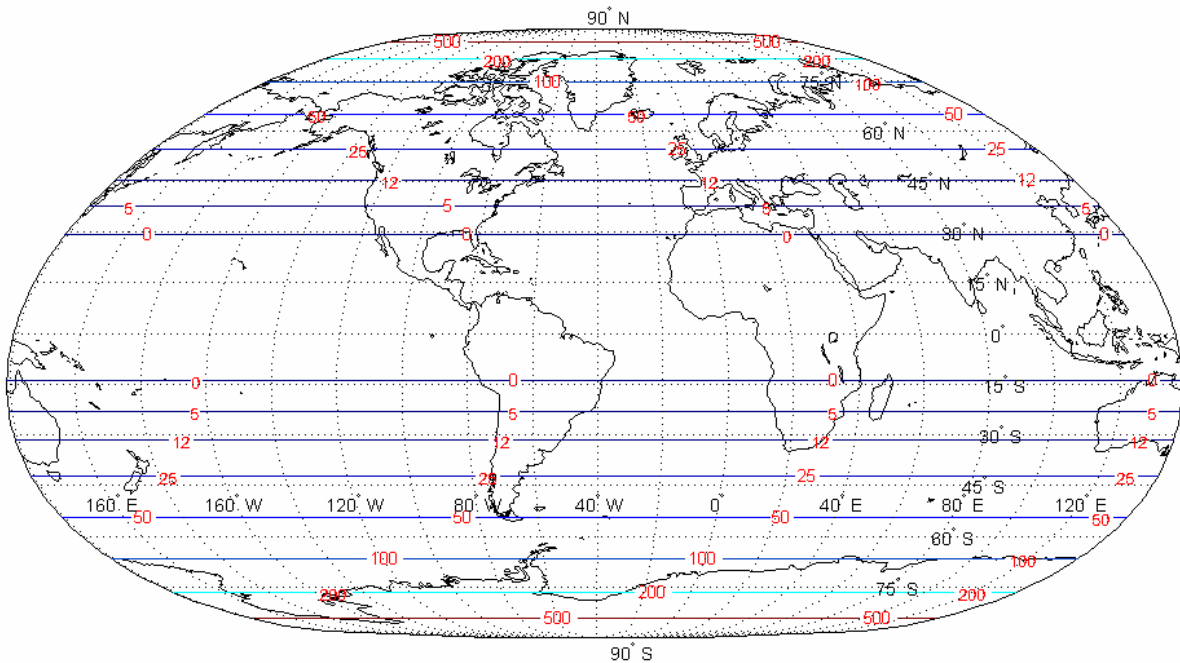
Σχ. Θ-4: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης ισημερινής λοξιμουθιακής απεικόνισης



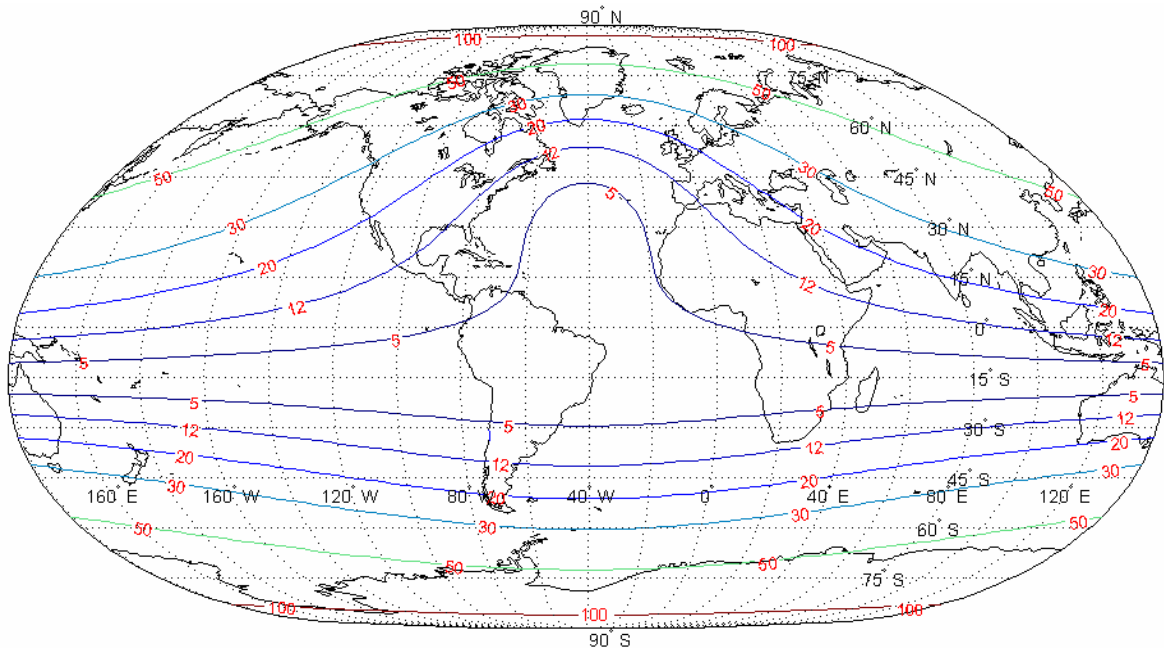
Σχ. Θ-5: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=15^\circ$



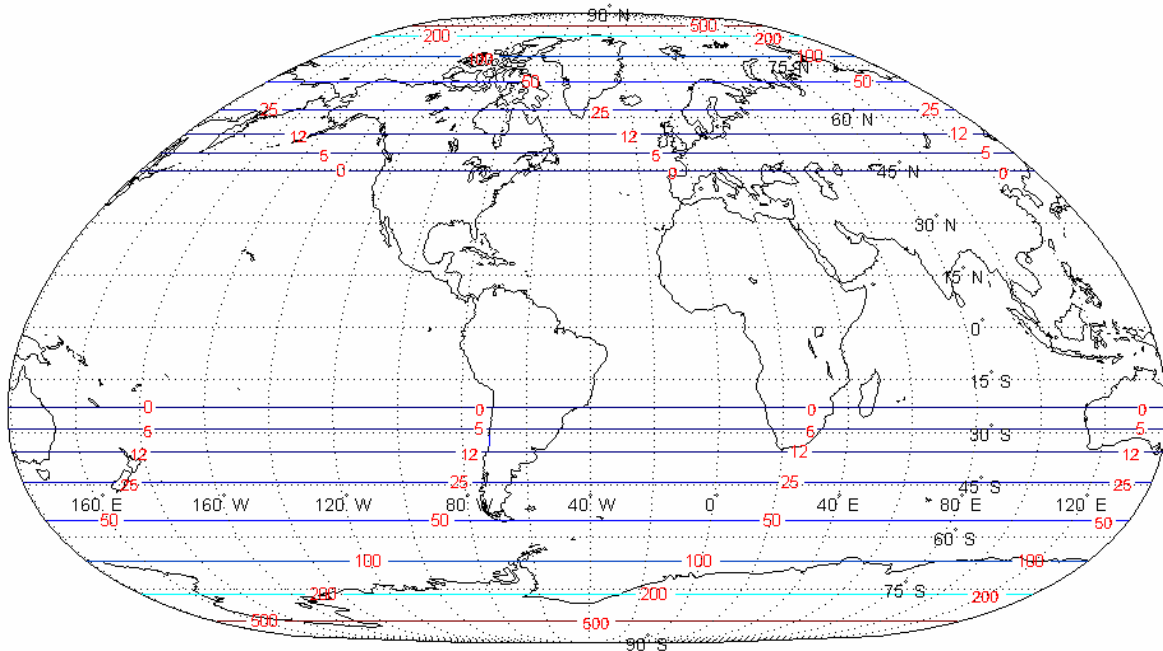
Σχ. Θ-6: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=15^\circ$



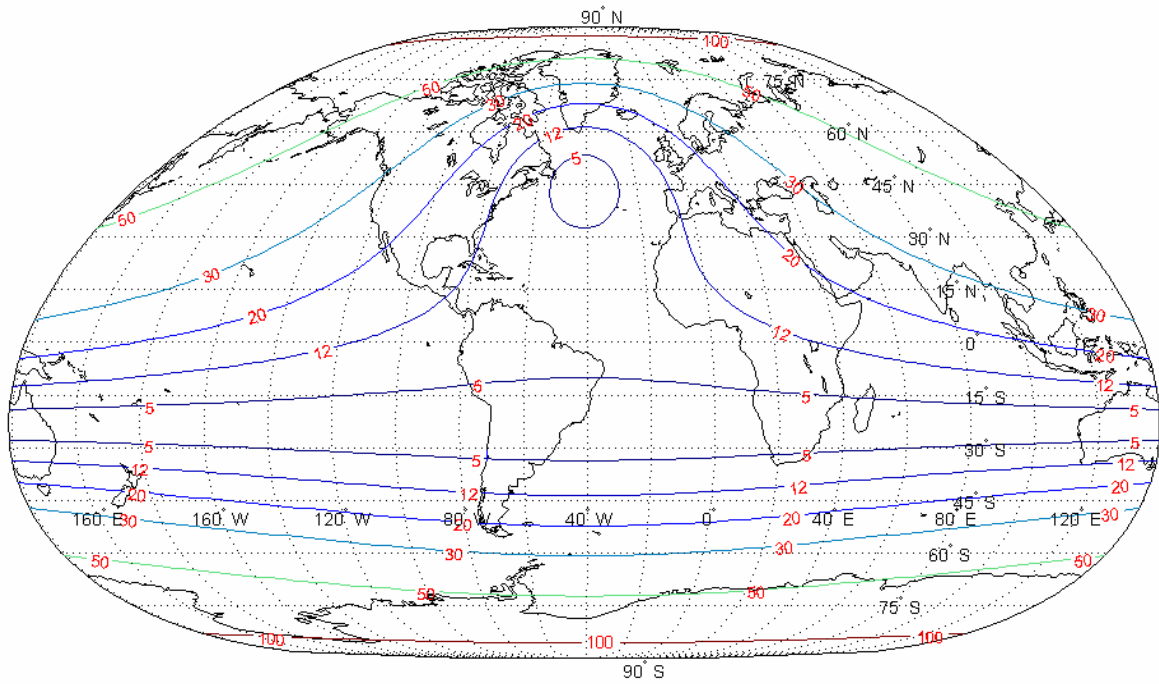
Σχ. Θ-7: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=30^\circ$



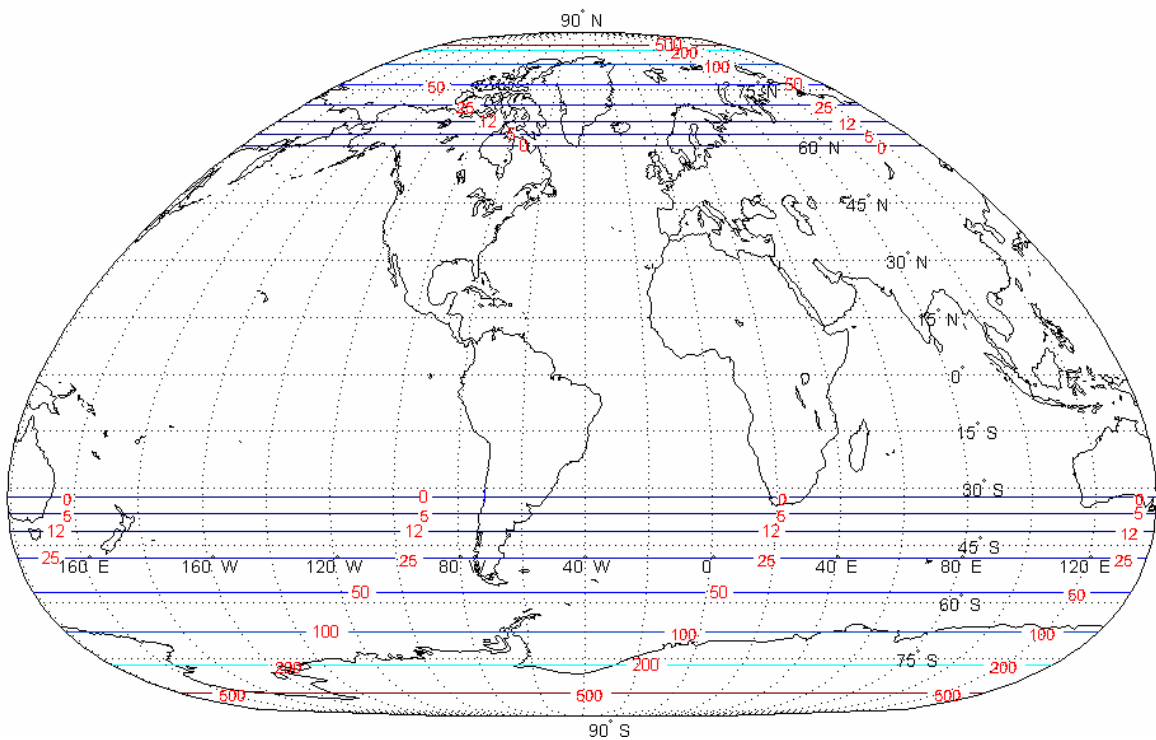
Σχ. Θ-8: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0 = 30^\circ$



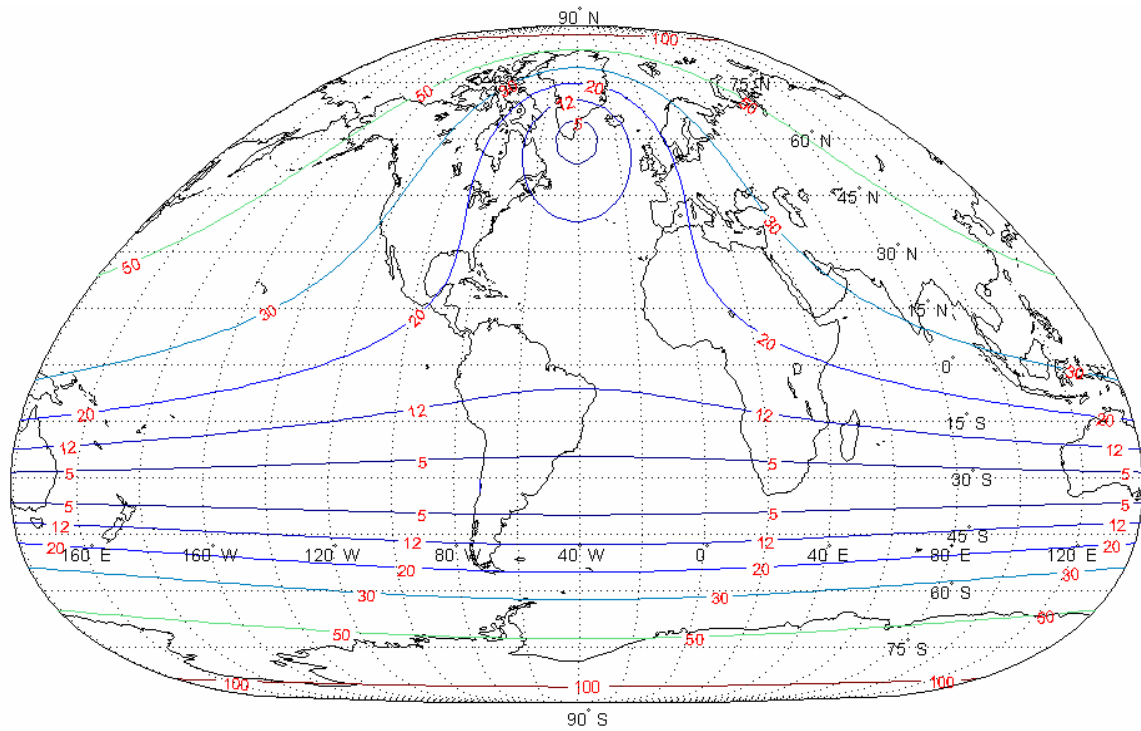
Σχ. Θ-9: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0 = 45^\circ$



Σχ. Θ-10: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=45^\circ$



Σχ. Θ-11: Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=60^\circ$



Σχ. Θ-12: Ισαριθμικές καμπύλες μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης λοξιμουθιακής απεικόνισης με κεντρικό σημείο σε $\phi_0=60^\circ$

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΘΟΡΙΣΘΕΝΤΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ

Περίπτωση εφαρμογής δρομολογίου πλου “Πειραιάς - Διώρυγα Παναμά”

Το δρομολόγιο αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους εξής λόγους:

- Τα σκέλη του διέρχονται τόσο σε κλειστή θάλασσα «από λιμένα Πειραιά μέχρι Στενό Γιβραλτάρ», όσο και σε ανοικτό ωκεανό «από Στενό Γιβραλτάρ μέχρι Διώρυγα Παναμά».
- Αποτελεί ένα πολύ συνηθισμένο και σημαντικό δρομολόγιο για τη ναυτιλία, ιδιαίτερα δε την Ελληνική.

I.1 Απεικόνιση του δρομολογίου σε τυπικό εμπορικό ΣΗΝΧ, στο οποίο η επιλογή της απεικόνισης εκτελείται αυτόματα

Στο σχήμα I-1 φαίνεται η σχεδίαση του εξεταζόμενου δρομολογίου σε τυπικό ΣΗΝΧ, στο οποίο η επιλογή της χαρτογραφικής απεικόνισης εκτελείται αυτόματα χωρίς καμία δυνατότητα παρέμβασης του χρήστη.

Για την απεικόνιση ολόκληρου του δρομολογίου «Πειραιάς-Διώρυγα Παναμά» στην οθόνη του συστήματος επιλέχτηκε η μικρότερη δυνατή κλίμακα απεικόνισης του συστήματος, η οποία αντιστοιχεί σε τιμή του ΕΑΠ¹ (Range Scale) ίση με 2.000 ναυτικά μίλια. Για το συγκεκριμένο ΣΗΝΧ η τιμή αυτή του ΕΑΠ αντιστοιχεί σε αριθμητική κλίμακα 1:31.523.404.

Η απεικόνιση που επιλέχτηκε αυτόματα από το σύστημα με την ανωτέρω τιμή της ΕΑΠ είναι η στερεογραφική αζιμουθιακή. Η απεικόνιση αυτή αντιστοιχεί σε κεντρικό σημείο στο καθοριζόμενο με το δείκτη (κέρσορα) κέντρο της απεικονιζόμενης στην οθόνη γεωγραφικής περιοχής. Με αυτή τη διαδικασία απεικόνισης η εικόνα της περιοχής στην οθόνη του συστήματος προσαρμόζεται αυτόματα σε κάθε νέα επιλογή κεντρικού σημείου από το χρήστη, με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορετική κατά περίπτωση οπτική αντίληψη ως προς το σχετικό προσανατολισμό τμημάτων της εμφανιζόμενης στην οθόνη γεωγραφικής περιοχής, κταναλογία με την περίπτωση του σχήματος 1.21 (κεφ.1).

Στο σχήμα I-1 απεικονίζονται σκέλη του δρομολογίου τόσο για λοξοδρομικό, όσο και ορθοδρομικό πλου. Εκτός από το μεγαλύτερο σκέλος που αντιστοιχεί στο διάπλου του Ατλαντικού, σε όλα τα υπόλοιπα σκέλη του πλου η ορθοδρομία και η λοξοδρομία πρακτικά ταυτίζονται και προσεγγίζονται με ευθύγραμμα τμήματα.

I.2 Απεικόνιση του δρομολογίου σε απεικόνιση η οποία επιλέγεται με τους καθορισθέντες κανόνες επιλογής

Για να καταστεί δυνατή η εφαρμογή των καθορισθέντων κανόνων επιλογής απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ, πρέπει να προσδιοριστεί το εύρος του γεωγραφικού πλάτους της απεικονιζόμενης στην οθόνη θαλάσσιας περιοχής. Για τον προσδιορισμό αυτό χρησιμοποιείται ως αφετηρία η τιμή του ΕΑΠ των 2.000 ναυτικών μιλίων με την οποία εξασφαλίζεται η απεικόνιση ολόκληρου του δρομολογίου «Πειραιάς-Διώρυγα Παναμά» στην οθόνη ενός τυπικού ΣΗΝΧ.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το εύρος της απεικονιζόμενης περιοχής (ΕΑΠ) αντιστοιχεί στην απόσταση του κέντρου της απεικονιζόμενης περιοχής από το άνω και κάτω όριο του παραθύρου της οθόνης που απεικονίζεται ο ηλεκτρονικός χάρτης (κεφάλαιο 4/ § 4.5/ σχήμα 4.4), προκύπτει ότι η τιμή του ΕΑΠ των 2.000 ναυτικών μιλίων αντιστοιχεί σε διαφορά γεωγραφικού πλάτους Δφ του

¹ ΕΑΠ (Εύρος απεικονιζόμενης περιοχής - Range Scale): Παράμετρος καθορισμού της κλίμακας απεικόνισης στα ΣΗΝΧ, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 (§ 4.5, Σχ. 4.4).

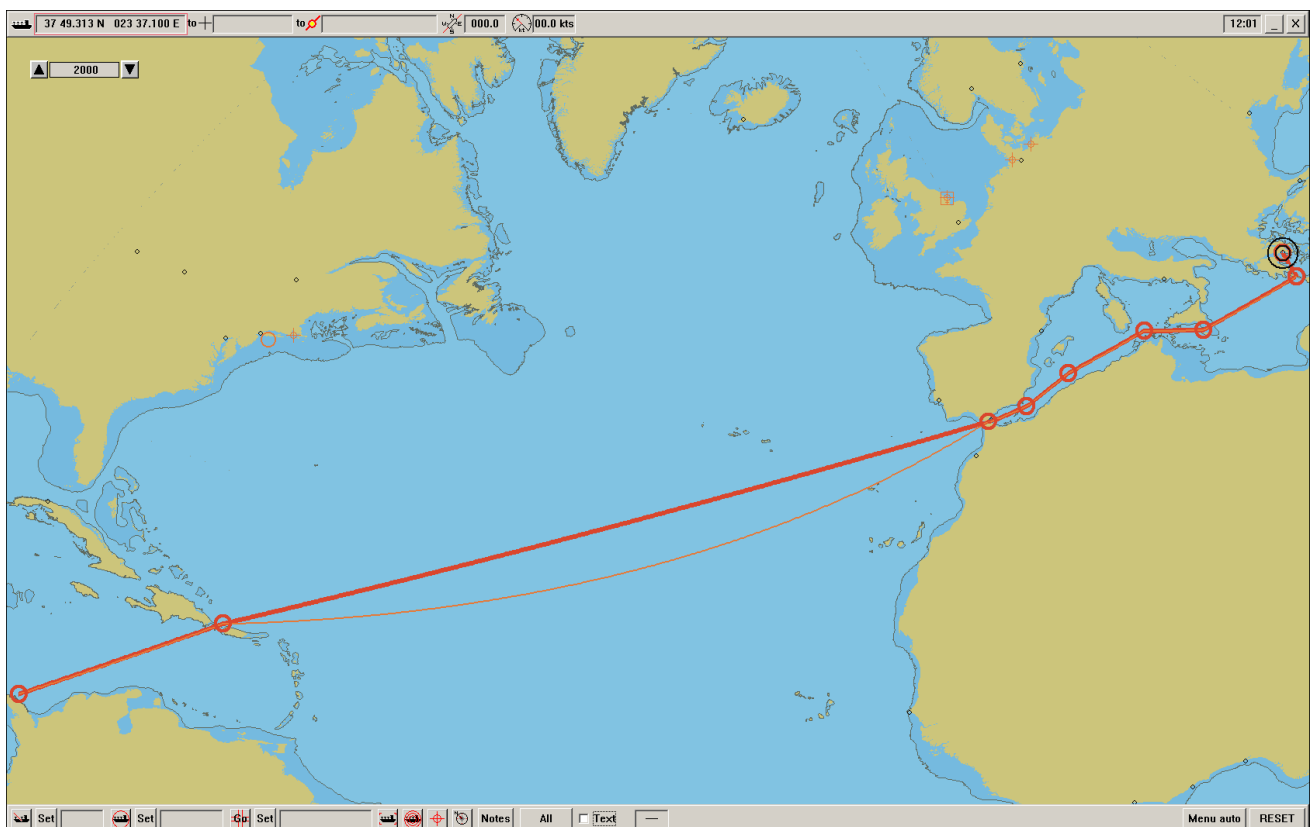
κέντρου της απεικονιζόμενης περιοχής από το άνω και κάτω όριο του παραθύρου της οθόνης που απεικονίζεται ο ηλεκτρονικός χάρτης ίση με 2000 πρώτα λεπτά της μοίρας ή $33,33^\circ$ περίπου [$2.000/60 \approx 33,33$].

Λαμβάνοντας επίσης υπόψη ότι το γεωγραφικό πλάτος του κέντρου της περιοχής του απεικονιζόμενου δρομολογίου είναι περίπου 33° Βορ, προκύπτει ότι το γεωγραφικό πλάτος για το νότιο και βόρειο όριο της απεικονιζόμενης περιοχής (φ_B και φ_N αντιστοίχως) είναι:

$$\varphi_N = 33^\circ - 33.33^\circ = 0^\circ \text{ και } \varphi_B = 33^\circ + 33.33^\circ = 66,66^\circ.$$

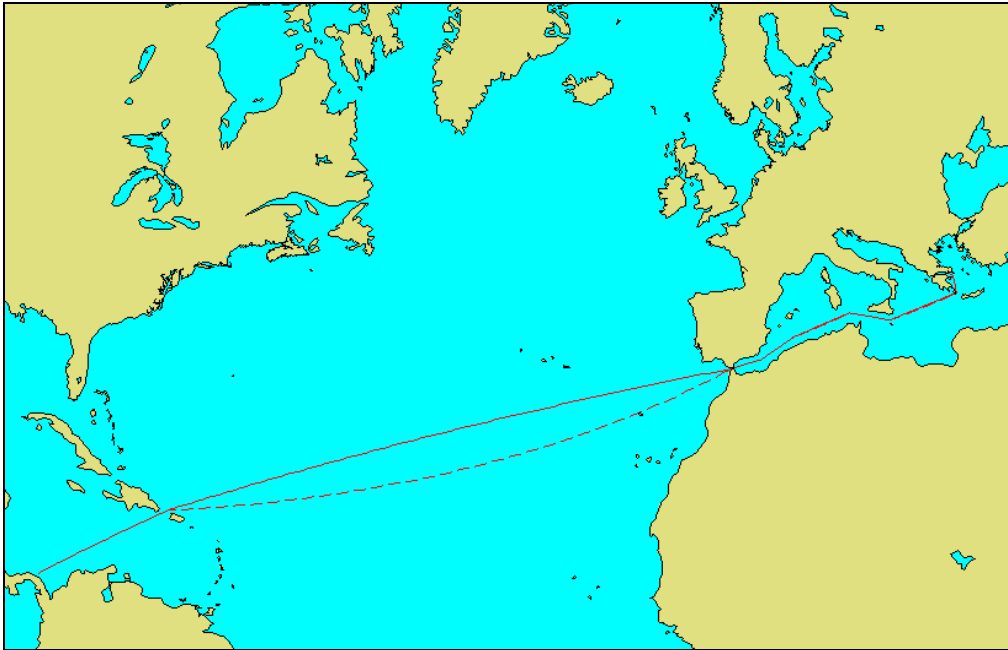
Για τα προσδιορισθέντα με την ανωτέρω ανάλυση όρια της ζώνης γεωγραφικού πλάτους της απεικονιζόμενης θαλάσσιας περιοχής [$0 \ 66^\circ$], σύμφωνα με τους καθορισθέντες κανόνες επιλογής χαρτογραφικών απεικονίσεων σε ΣΗΝΧ (κεφάλαιο 6, § 6.6), η καταλληλότερη απεικόνιση για το εξεταζόμενο δρομολόγιο είναι η αξιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή.

Η αξιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση που επιλέχτηκε με την ανωτέρω διαδικασία εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων και την πιστότερη οπτικοποίηση της μορφής των γραμμών της ορθοδομίας και της λοξοδρομίας. Εν τούτοις αν είναι επιθυμητή η εξασφάλιση της μορφής των μεσημβρινών και παραλλήλων ως ορθογώνια τεμνόμενων ευθειών, προκειμένου να αποκλειστεί το ενδεχόμενο δημιουργίας εσφαλμένων εντυπώσεων ως προς το σχετικό προσανατολισμό διαφόρων σημείων, καταλληλότερη απεικόνιση είναι η τροποποιημένη μορφή της κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0 = 30^\circ$.



Σχ. Ι-1: Δρομολόγιο “Πειραιάς-Στενό Παναμά” σε ΣΗΝΧ, στο οποίο η επιλογή της χαρτογραφικής απεικόνισης (αξιμουθιακή στερεογραφική) εκτελείται αυτόματα από το σύστημα

Στο σχήμα Ι-2 φαίνεται το εξεταζόμενο δρομολόγιο “Πειραιάς - Διώρυγα Παναμά” στην αξιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση και στο σχήμα Ι-3 φαίνεται το ίδιο δρομολόγιο στην τροποποιημένη μορφή της κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0 = 30^\circ$.



Σχ. Ι-2: Δρομολόγιο “Πειραιάς - Στενό Παναμά” σε ΣΗΝΧ στην αζιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση



Σχ. Ι-3: Δρομολόγιο “Πειραιάς - Στενό Παναμά” σε ΣΗΝΧ στην τροποποιημένη μορφή της κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\phi_0=30^\circ$

Από την επισκόπηση και ανάλυση των απεικονίσεων των σχημάτων I-1, I-2 και I-3 σε συσχέτισμό και με τα συμπεράσματα της ανάλυσης των κεφαλαίων 5 και 6, προκύπτουν τα εξής:

- Η εμφανιζόμενη στην οθόνη του συστήματος εικόνα του συγκεκριμένου δρομολογίου “Πειραιάς - Στενό Παναμά” και των γειτονικών γεωγραφικών περιοχών με τις τρεις χαρτογραφικές απεικονίσεις² είναι διαφορετική.
- Η καλύτερη προσέγγιση της εικόνας της πραγματικότητας παρέχεται με την αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση του σχήματος I-2.
- Η πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου παρέχεται με την αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση του σχήματος I-2.
- Η δυνατότητα άμεσου σχετικού προσανατολισμού με βάση τη σχετική θέση δύο σημείων της οθόνης εξασφαλίζεται με την τροποποιημένη μορφή της κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$.
- Η αζιμουθιακή στερεογραφική απεικόνιση, η οποία επιλέγεται αυτόματα σε αρκετά εμπορικά συστήματα υστερεί ως προς την αζιμουθιακή ισαπέχουσα τόσο στην καλύτερη προσέγγιση της εικόνας της πραγματικότητας, όσο και στην πιστότερη απεικόνιση των δρομολογίων του ορθοδρομικού και λοξοδρομικού πλου με την αζιμουθιακή ισαπέχουσα ισημερινή απεικόνιση.

² Αζιμουθιακή στερεογραφική (Σχ. I-1), αζιμουθιακή ισαπέχουσα (Σχ. I-2) και τροποποιημένη μορφή της κυλινδρικής απεικόνισης Miller με βασικό παράλληλο σε πλάτος $\varphi_0=30^\circ$ (Σχ. I-3)

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Alexander, J. 2004. *Loxodromes. A Rhumb Way to Go*. Mathematics Magazine, Vol. 77, no. 5.
- [2] AMN [Admiralty Manual of Navigation] 1987. Vol. I. TSO [The Stationary Office]. London.
- [3] APN [American Practical Navigator (The)] Bowditch, N. 2002. NIMA Pub. no. 9.
- [4] Awange, J. Grafarend, E. 2005. *Solving Algebraic Computational Problems in Geodesy and Geoinformatics: The Answer to Modern Challenges*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- [5] Βέης, Γ. Μπυλλήρης, Χ. Παπαζήση, Κ. 1992. *Ανώτερη Γεωδαισία*. ΕΜΠ/ΤΑΤΜ.
- [6] Bennet, G. 1996. *Practical Rhumb Line Calculations on the Spheroid*. Journal of Navigation, Vol. 49 no. 1, 112-119.
- [7] Bermejo, M. Otero, J. 2005. *Minimum conformal mapping distortion according to Chebyshev's principle: a case study over peninsular Spain*. Journal of Geodesy, 79, 124-134.
- [8] Blance A.G. 1994. *Norie's Nautical Tables*. Imray Lorie Norie and Wilson.
- [9] Bourbon, R. 1990. *Geodesic Line on the Surface of a Spheroid*. Journal of Navigation, Vol. 43, no. 1.
- [10] Bowring, B. R. 1983a. *The Geodesic Inverse Problem*. Bulletin Geodesique 57, 109-120.
- [11] Bowring, B. R. 1983b. *New Equations for Meridional Distance*. Bulletin Geodesique 57, 374-381.
- [12] Bowring, B. R. 1984. *The Direct and Inverse Solutions for the Great Elliptic Line on the Reference Ellipsoid*. Bulletin Geodesique 58, 101-108.
- [13] Bowring, B. 1985. *The geometry of Loxodrome on the Ellipsoid*. The Canadian Surveyor, Vol. 39, no. 3.
- [14] Bugayevskiy, L. M., Snyder, J. P. 1998. *Map Projections – A Reference Manual*, Taylor & Francis, London.
- [15] Capek, R. 2001. *Which is the best projection for the world map?* In: Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, August 6-10, 2001. Vol. 5, 3084-93.
- [16] Chih-Li Chen, Tien-Pen Hsu, Jiang-Ren Chang. 2004. *A Novel Approach to Great Circle Sailings: The Great Circle Equation*. Journal of Navigation, Vol. 57, no. 2.
- [17] Davis, H. Snider, A. D. 1979. *Introduction to Vector Analysis*. Allyn and Bacon Inc.
- [18] Delmelle, E. 2001. *Map Projection Properties: Considerations for small-scale GIS applications*. Master of Arts Thesis. University of New York. Buffalo.
- [19] Earle, M. 2000. *A Vector Solution for Navigation on a Great Ellipse*. Journal of Navigation, Vol. 53, no. 03.
- [20] Earle, M. 2005. *Vector Solutions for Great Circle Navigation*. Journal of Navigation, Vol. 58, no. 03.
- [21] Earle, M. 2006. *Sphere to Spheroid Comparisons*. Journal of Navigation, Vol. 59, no. 03, 491-496.
- [22] Earle, M. 2008. *Vector Solutions for Azimuth*. Journal of Navigation, Vol. 61, 537-545.
- [23] Feeman, T. G. 2001. *Conformality, the Exponential Function, and World Map Projections*. The College Mathematics Journal Vol. 32, no. 5.
- [24] Finn M. et al. 2004. *A Decision Support System for Map Projections of Small Scale Data*. Scientific Investigations Report 5297. U.S. Geological Survey.

- [25] Grafarend, E. W. Krumm, F. 2006. *Map projections - Cartographic Information Systems*. Springer Verlag.
- [26] Grafarend, E. Syffus, R. 1997. *Mixed cylindric map projections of the ellipsoid of revolution*. Journal of Geodesy 71, 685-694.
- [27] Hiraiwa, T. 1987. *Proposal on the modification of sailing calculations*. Journal of Navigation, Vol. 40.
- [28] Hecht, H. et. al. 2006. *The Electronic Chart – Functions, Potential and Limitations of a new Marine Navigation System*. GITC bv, 2nd Edition 2006. The Netherlands.
- [29] Hohenkerk, C.Y. Yallop, B. D. 2004. *NavPac and Compact Data 2006 – 2010 Astro-Navigation Methods and Software for the PC*. TSO, London.
- [30] IEC [International Electro-technical Commission]. 2001. Publication 61174. Maritime Navigation and Radiocommunication Equipment Systems. *Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). Operational and performance requirements, methods of testing and required test results*.
- [31] IHO S-100. 2010. International Hydrographic Organization. *Universal Hydrographic Data Model*, Edition 1.0.0.
- [32] IHO S-52/Ap. 1. 1996. [International Hydrographic Organization. Special Publication no. 52/ Appendix 1]. *Guidance on Updating the Electronic Navigational Chart*, 3rd Edition.
- [33] IHO S-52/Ap. 2. 1997. [International Hydrographic Organization. Special Publication no. 52 Appendix 2]. *Colour & Symbols Specifications for ECDIS*. 4th Edition.
- [34] IHO S-57. 2000. International Hydrographic Organization *Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*, Edition 3.1.
- [35] IHO S-63. 2003. International Hydrographic Organization: *IHO Data Protection Scheme* Edition 1.
- [36] Iliffe, J.C. 2002. *Datums and map projections for remote sensing, GIS, and surveying*. Whittles Publishing, UK.
- [37] IMO. 1996. Resolution MSC. 64(67). *Recommendation on Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS) Annex 5*.
- [38] IMO. 2006. *Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)*. IMO Resolution MSC 82/24/Add.2/Annex 24 International Maritime Organization, London.
- [39] IMO. 1998. Resolution MSC. 86(70): *Adoption of New and Ammended Performance Standards for Navigational Equipment*.
- [40] Ipbuker, C. 2004. *Numerical Evaluation of the Robinson Projection*, Cartography and Geographic Information Science, 79-88.
- [41] Jenny, B. Patterson, T. Hurni, L. 2008. *Flex Projector–Interactive Software for Designing World Map Projections*. Cartographic Perspectives, Number 59.
- [42] Kos, Sergio. Duško Vranic. Damir Zec. 1999. *Differential Equation of a Loxodrome on a Sphere*. Journal of Navigation, Vol. 52, no. 3.
- [43] Maling, D. H. 1973. *Coordinate Systems and Map Projections*. George Philip and Son Ltd., 2nd ed., Pergamon Press, Oxford.
- [44] Ντούνης, Χ. Δημαράκης, Α. 2001. *Ναυτιλία*. Ίδρυμα Ευγενίδου.
- [45] Οικονομόπουλος, Ι. 2004. *Γενική Ναυτιλία Ακτοπλοΐα Πλοήγηση*. Αθήνα.
- [46] Παλληκάρης, Α. 2009. *Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη*. ΣΝΔ.

- [47] Παλληκάρης, Α. 2007. *Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς και Εφαρμογές στη Ναυτιλία*. ΣΝΔ.
- [48] Παλληκάρης, Α. Κατσούλης, Γ. Δαλακλής, Δ. 2008. *Ναυτικά Ηλεκτρονικά Όργανα*. Ίδρυμα Ευγενίδου. ISBN 978-960-337-086-4.
- [49] Παλληκάρης, Α. Κατσούλης, Γ. 2008. *Ιστορική Εξέλιξη και Προοπτικές Ηλεκτρονικής Ναυτιλίας*. Ναυσίβιος Χώρα, Τεύχος 2. ΣΝΔ.
- [50] Pallikaris, A. Tsoulos, L. Paradissis, D. 2009a. *New calculation algorithms for for GIS navigational systems and receivers*. Proceedings of the European Navigational Conference ENC-GNSS 2009. Naples Italy.
- [51] Pallikaris, A. Tsoulos, L. Paradissis, D. 2009b. *New meridian arc formulas for sailing calculations in GIS*, International Hydrographic Review, no. 1, 24-34.
- [52] Pallikaris, A. Tsoulos, L. Paradissis, D. 2010. *Improved algorithms for sailing calculations in navigational systems*. Coordinates Vol. VI, Issue 5, 15-19.
- [53] Pallikaris, A. Tsoulos, L. 2010. *Map Projections and Visualization of Navigational Paths in Electronic Chart Systems*. Proceedings of the 3rd International Conference on Cartography and GIS. Nessebar, Bulgaria.
- [54] Pallikaris, A. Latsas, G. 2009. *New algorithm for Great Elliptic Sailing (GES)*. Journal of Navigation, Vol. 62, no. 3. 493-507.
- [55] Pearson, F. II. 1990. *Map Projections: Theory and Applications*. CRC Press. ISBN 0-8493-6888-X.
- [56] Porathe, T. (2006). *3-D Nautical Charts and Safe Navigation*. Doctoral Dissertation no. 27, Malardalen University Press.
- [57] Rainsford, H. F. 1955. *Long Geodesics on the Ellipsoid*. Bulletin Geodesique, no. 37 12-21.
- [58] Randles, W. 1997. *Pedro Nune' Discovery of the Loxodromic Curve 1537*. Journal of Navigation, Vol. 50, no. 1.
- [59] Rapp, R. H. 1987. *Geometric Geodesy, Part II*, Dept. of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University.
- [60] Richardson, R. T. 1989. *Area deformation on the Robinson projection*. The American Cartographer (16). 294-296.
- [61] Richardus, P. Adler, R. K. 1972. *Map projections for Goedesists, Cartographers and Geographers*. North-Holland Pub. Co. Amsterdam, 20-21.
- [62] Robinson, A. ed al. 1995. *Elements of Cartography*. 6th Edition. John Wiley & Sons inc.
- [63] Sadler, D. H. 1956. *Spheroidal Sailing and the middle latitude*. Journal of Navigation, Vol. 9, 371.
- [64] Smart, W. M. 1946. *On a problem in navigation*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 106, no 2, 124-127.
- [65] Snyder, J. P. 1987. *Map Projections: A Working Manual*. U. S. Geological Survey Professional Paper 1395, Washington.
- [66] Snyder, J. P. 1978. *Calculating Map Projections for the Ellipsoid*. The American Cartographer 6(1), 67-76.
- [67] Snyder, J. P. 1984. *Minimum error map projections bounded by polygons*. Cartographic Journal 22(2), 112-20, with corrections in 1985, 22(1), 73.
- [68] Snyder, J. P. Voxland, P. M. 1989. *An album of map projections*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1453.

- [69] Sodano, E. M. 1965. *General Non-Iterative Solution of the Inverse and Direct Geodetic Problems*, Bulletin Geodesique. no. 75, 69-89.
- [70] Τσοῦλος, Λ. 1989. *Ο Ηλεκτρονικός Χάρτης και η Χρήση του στη Ναυτιλία*. Διδακτορική Διατριβή ΕΜΠ/ΤΑΤΜ.
- [71] Tobler, W. R. 1961. *Map Transformation of Geographic Space*. Phd Thesis. University of Washington.
- [72] Tobler, W. R. 1962. *A classification of map projections* Assoc. Am. Geographers, Annals, Vol. 52, 167-175.
- [73] Tobler, W. R. 1964. *A comparison of spherical and ellipsoidal measures*. The Professional Geographer, Vol. XVI, no. 4, 9-12.
- [74] Torge, W. 2001. *Geodesy*. 3rd Edition. Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- [75] Vincenty, T. 1975. *Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of Nested Equations*. Survey Review, Vol. XXII no. 176. 88-93.
- [76] Walwyn P. R. 1999. *The Great Ellipse Solution for Distances and Headings to Steer between Waypoints*. Journal of Navigation, Vol. 52, no. 03.
- [77] Ward, R. Alexander, L. Greenslade, B. Pharaoh, A. 2008. *The New Hydrographic Geospatial Standard for Marine Data and Information*. Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference and National Surveyors Conference 2008.
- [78] Wei-Kuo Tseng. Hsuan-Shih Lee. 2007. *The Vector Function for Distance Travelled in Great Circle Navigation*. Journal of Navigation Vol. 60 no. 1.
- [79] Weisstein, E. W. "*Spherical Spiral*." From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/SphericalSpiral.html>
- [80] Williams, J. E. D. 1950. *Loxodromic Distances on the Spheroid*. Journal of Navigation, Vol. 3.
- [81] Williams, R. 1981. *A table of latitude parts*. Journal of Navigation, Vol. 34.
- [82] Williams, R. 1996. *The Great Ellipse on the surface of the spheroid*. Journal of Navigation, Vol. 49, no. 2, 229-234.
- [83] Williams, R. 1998. *Middle Latitude Sailing Revisited*. Journal of Navigation, Vol. 51, no. 1.
- [84] Williams, R. Plythian, J. E. 1989. *Navigating along geodesic paths on the surface of a spheroid*. Journal of Navigation, Vol. 42.
- [85] Wirpen, C. 1988. *Surface Navigation and Geodesy - A Parametric Approach*. AFSPACECOM.
- [86] Yang, Q. Snyder, J. P. Tobler, W. R. 2000. *Map Projection Transformation, Principles and Applications*. Taylor & Francis, London.
- [87] Zukas, T. 1994. *Shortest Spheroidal Distance*. Journal of Navigation, Vol. 47, 107-108.