

Τα Συστήματα Ηλεκτρονικών Χαρτών για την Πλοήγηση Σκαφών ως Συστήματα Διαδραστικής και Δυναμικής Χαρτογραφίας

Χρήστος ΚΑΣΤΡΙΣΙΟΣ¹, Λύσανδρος ΤΣΟΥΛΟΣ²

(1) Υποψήφιος Διδάκτορας ΕΜΠ
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Εργαστήριο Χαρτογραφίας
Η. Πολυτεχνείου 9 15780 Ζωγράφου, 6936799258, christoskas@hotmail.com

(2) Καθηγητής ΕΜΠ
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Εργαστήριο Χαρτογραφίας
Η. Πολυτεχνείου 9 15780 Ζωγράφου, 210-7722730, lysandro@central.ntua.gr

Λέξεις κλειδιά: Ναυτική χαρτογραφία, Electronic Charts Display and Information Systems - ECDIS, Ηλεκτρονικοί Ναυτιλιακοί Χάρτες - ENC,

Περίληψη

Η δημιουργία του Μερκατορικού χάρτη αποτέλεσε ορόσημο για τη ναυτική χαρτογραφία, δηλαδή τη σύνθεση και παραγωγή χαρτών που έχουν σκοπό την υποβοήθηση των ναυτιλλομένων στην ασφαλή πλοήγηση του σκάφους. Η εξέλιξη και διάδοση των ψηφιακών συστημάτων που συντελέστηκε στις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα δεν μπορούσε παρά να επηρεάσει τη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων του παράκτιου και θαλάσσιου περιβάλλοντος καθώς και τον τομέα της ναυτικής χαρτογραφίας. Στη δεκαετία του 1980, οι υδρογραφικοί φορείς αντιλαμβανόμενοι τις δυνατότητες που προσέφερε η τεχνολογία, στράφηκαν στη δημιουργία Ηλεκτρονικών Χαρτών, αρχικά ψηφιδωτής και ακολούθως διανυσματικής μορφής. Ο ηλεκτρονικός χάρτης σύντομα αποτέλεσε βασικό εργαλείο για τον ναυτιλλόμενο και εν τέλει τμήμα των απαιτήσεων εξοπλισμού των πλοίων (carriage requirement). Συγκεκριμένα, και σύμφωνα με τη σύμβαση SOLAS (Safety Of Life At Sea) για την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα, η χρήση συστημάτων ECDIS (Electronic Chart Display and Information Systems), αποτελεί υποχρέωση των πλοίων, ανάλογα με το μέγεθός τους και το έτος κατασκευής (UN, 1974; IMO, 2000). Τα ECDIS είναι ολοκληρωμένα συστήματα πληροφοριών, τα οποία χρησιμοποιούν για χαρτογραφικό υπόβαθρο τους ηλεκτρονικούς ναυτιλιακούς χάρτες που παράγονται από τους επίσημους υδρογραφικούς φορείς με βάση διεθνείς προδιαγραφές και συνδέονται με άλλα συστήματα του πλοίου για την υποβοήθηση του πλου. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι δυνατότητες των ηλεκτρονικών χαρτών και των ECDIS ως διαδραστικών και δυναμικών συστημάτων χαρτογραφικής απόδοσης, δηλαδή συστημάτων

που επιτρέπουν στον χρήστη να εκτελεί εργασίες για την πλοήγηση του σκάφους, να επεμβαίνει στις ρυθμίσεις του χάρτη, να μεταβάλλει τη χαρτογραφική απόδοση και το είδος/πλήθος των απεικονιζόμενων πληροφοριών καθώς και την ανάδραση που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια του πλου.

Abstract

The creation of the Mercator chart has been a milestone in nautical cartography, namely the composition and production of charts aiding mariners to safely navigate their vessels. The development and propagation of digital systems in the last decades of the 20th century, was instrumental for the collection and processing of data pertaining to the coastal and maritime environment as well as to nautical cartography. In the 1980s, utilizing the capabilities that technology could provide, the hydrographic community turned to the creation of Electronic Charts, initially in raster and subsequently in vector format. Soon, the electronic chart became a key tool for mariners and, in the end, part of a vessel's carriage requirements. In particular, and pursuant to the SOLAS Convention (Safety Of Life At Sea), the use of ECDIS (Electronic Chart Display and Information Systems) is an obligation for vessels, depending to their size and the year they were built (UN, 1974; IMO, 2000). ECDISs are integrated information systems using as cartographic background the electronic navigational charts produced by the official hydrographic organizations on the basis of international specifications, and are interconnected with other systems aboard the vessel to assist navigation. This paper presents the capabilities of electronic charts and ECDIS as interactive and dynamic mapping systems, which allow the user to perform a number of tasks for the vessel's navigation, to modify the chart settings, to change the cartographic representation and the type/number of appearing information as well as the feedback he receives throughout the voyage.

1. Ιστορική Αναδρομή - Ανάπτυξη της ναυτικής χαρτογραφίας

Η εξέλιξη της ναυτικής χαρτογραφίας ξεκινά από την αρχαία Ελλάδα, διακόπτεται από τη λήθη του Μεσαίωνα και συνεχίζεται έκτοτε αρχικά με σταθερά βήματα και στις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα με γοργούς ρυθμούς λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής εξέλιξης. Η συμβολή των αρχαίων Ελλήνων υπήρξε σημαντική με εξέχοντες εκφραστές τον Ερατοσθένη, ο οποίος υπολόγισε την ακτίνα της Γης, τον Ίππαρχο, ο οποίος εισήγαγε τις χαρτογραφικές προβολές και καθιέρωσε τον αστρονομικό προσδιορισμό των συντεταγμένων τόπων επί της Γης, τον Μαρίνο που ανακάλυψε την κυλινδρική προβολή και χρησιμοποίησε το γεωγραφικό μήκος και πλάτος για τον προσδιορισμό της θέσης των τόπων της γης και φυσικά τον Πτολεμαίο, ο οποίος στο έργο του "Γεωγραφία" περιγράφει αναλυτικά το επιστημονικό υπόβαθρο, τις αρχές και κανόνες με βάση τους οποίους συντάσσεται ένας χάρτης.

Επόμενο σημαντικό στάδιο στην εξέλιξη της χαρτογραφίας αποτελεί η ανακάλυψη της μαγνητικής πυξίδας, η οποία οδήγησε στη δημιουργία ενός νέου είδους χαρτών, τους «Πορτολάνους» ή «Πορτολάνες» [πρώτος θεωρείται ο παγκόσμιος του Petrus Vesconte (1311)]. Οι χάρτες αυτοί απεικονίζουν τη σύνδεση διαφόρων τόπων με γραμμές σταθερής μαγνητικής διόπτεισης ενώ περιέχουν και εκτίμηση της απόστασής τους. Οι ευθείες

γραμμές σταθερής μαγνητικής διόπτεισης των Πορτολάνων, οι οποίες εκτείνονταν σε όλη την επιφάνεια του χάρτη δεν αποτελούν πραγματικές λοξοδρομίες, καθώς οι ίδιοι οι Πορτολάνοι δεν αποτελούν προϊόν μαθηματικής χαρτογραφίας και δεν είχαν την ιδιότητα να απεικονίζουν τις λοξοδρομίες ως ευθείες γραμμές. Άλλωστε η έννοια και η σημασία της λοξοδρομίας περιγράφηκε αρκετά αργότερα από τη δημιουργία των Πορτολάνων από τον μαθηματικό και κοσμογράφο Pedro Nunes (1537). Παρόλα αυτά, οι Πορτολάνοι είχαν ικανοποιητική ακρίβεια που εξυπηρετούσε τους σκοπούς της ναυτιλίας με τα μέσα της εποχής και γι' αυτό παρέμειναν σε χρήση για αρκετούς αιώνες.

Ενώ για τις ανάγκες της ακτοπλοΐας η ακρίβεια των πορτολάνων ήταν ικανοποιητική, σε πλόες μεγαλύτερων αποστάσεων οδήγησε πολλούς ναυτιλλόμενους σε εσφαλμένη πορεία. Επιπρόσθετα, οι νέοι τόποι που ανακάλυπταν οι ερευνητές ήταν δύσκολο να απεικονιστούν με ακρίβεια. Αυτό που δεν μπορούσε να προσφέρει ο πορτολάνος, το προσέφερε ο χάρτης που δημιούργησε γραφικά ο Φλαμανδός χαρτογράφος Gerard Kramer (γνωστός ως Gerardus Mercator) το 1569. Ο Mercator παρουσίασε έναν παγκόσμιο χάρτη με βασικό χαρακτηριστικό την απεικόνιση της λοξοδρομίας ως ευθείας γραμμής, ενώ ταυτόχρονα διατηρούσε τη σχετική θέση των αντικειμένων. Ο Μερκατορικός χάρτης βρήκε απήχηση μετά τη δημοσίευση των εξισώσεων που τον υλοποιούν από τον Βρετανό μαθηματικό Edward Wright (1599), οπότε μέσα σε περίπου τριάντα χρόνια είχε γίνει ο πλέον χρησιμοποιούμενος χάρτης για τη ναυτιλία. Ο λόγος ήταν ότι ο Wright με τις εξισώσεις του επέτρεψε στους ναυτιλλόμενους να σταθμίσουν τις παραμορφώσεις των επιφανειών του μερκατορικού χάρτη για τις θαλάσσιες και χερσαίες μάζες, ενώ τους έδωσε τη δυνατότητα να υπολογίζουν την πορεία και την απόσταση που χρειάζονταν για την πλοήγηση του σκάφους.

Ο Μερκατορικός χάρτης αποτέλεσε κι εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό βοήθημα για τους ναυτιλλόμενους, καθώς τους δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάζουν εύκολα και γρήγορα την πορεία τους από τον λιμένα αναχώρησης σε αυτόν του προορισμού, να υπολογίζουν την απόσταση των δρομολογίων από την κλίμακα του πλάτους, καθώς και να χαράσσουν στίγμα με διοπτύσεις από καταφανή σημεία της ξηράς ως τομή των ευθυγράμμων τμημάτων που ορίζουν οι γωνίες (διοπτύσεις) αυτών των σημείων πάνω στο χάρτη. Το μειονέκτημα των Μερκατορικών χαρτών είναι η απεικόνιση των ορθοδρομιών ως καμπύλων γραμμών, κάτι που τους καθιστά ακατάλληλους για τη σχεδίαση μεγάλων πλόων όπου η διαφορά απόστασης μεταξύ λοξοδρομίας και ορθοδρομίας είναι σημαντική. Για τον λόγο αυτό οι ναυτιλλόμενοι εκμεταλλεύτηκαν τα χαρακτηριστικά των γνωμονικών προβολών (πατέρας της ορθής ή πολικής γνωμονικής προβολής θεωρείται ο Θαλής ο Μιλήσιος), οι οποίες διατηρούν τις ορθοδρομίες ως ευθείες και στη συνέχεια προσέγγιζαν τον πλου με λοξοδρομίες επί μερκατορικού χάρτη.

2. Ο έντυπος ναυτικός χάρτης

Ο ναυτικός ή ναυτιλιακός χάρτης είναι ένας χάρτης ειδικά σχεδιασμένος που περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος ώστε ο ναυτιλλόμενος να πλέει ασφαλώς. Τέτοιες χρήσιμες πληροφορίες είναι τα βάθη, αβαθή, ναύαγια, καταφανή σημεία, ποιότητα βυθού, εγκαταστάσεις, τομείς φωτοβολίας φανών, κ.α. Βασικές πληροφορίες που περιέχονται σε κάθε ναυτικό χάρτη είναι ο τίτλος του που

ουσιαστικά περιγράφει την περιοχή κάλυψης, ο αριθμός του χάρτη, οι μονάδες μέτρησης και η ημερομηνία έκδοσης. Για την κατασκευή του χρησιμοποιείται κυρίως η Μερκατορική προβολή λόγω των ιδιοτήτων της που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα, αλλά και η γνωμονική για περιοχές κοντά στους Πόλους ή για σχεδίαση ωκεάνιων πλόων.

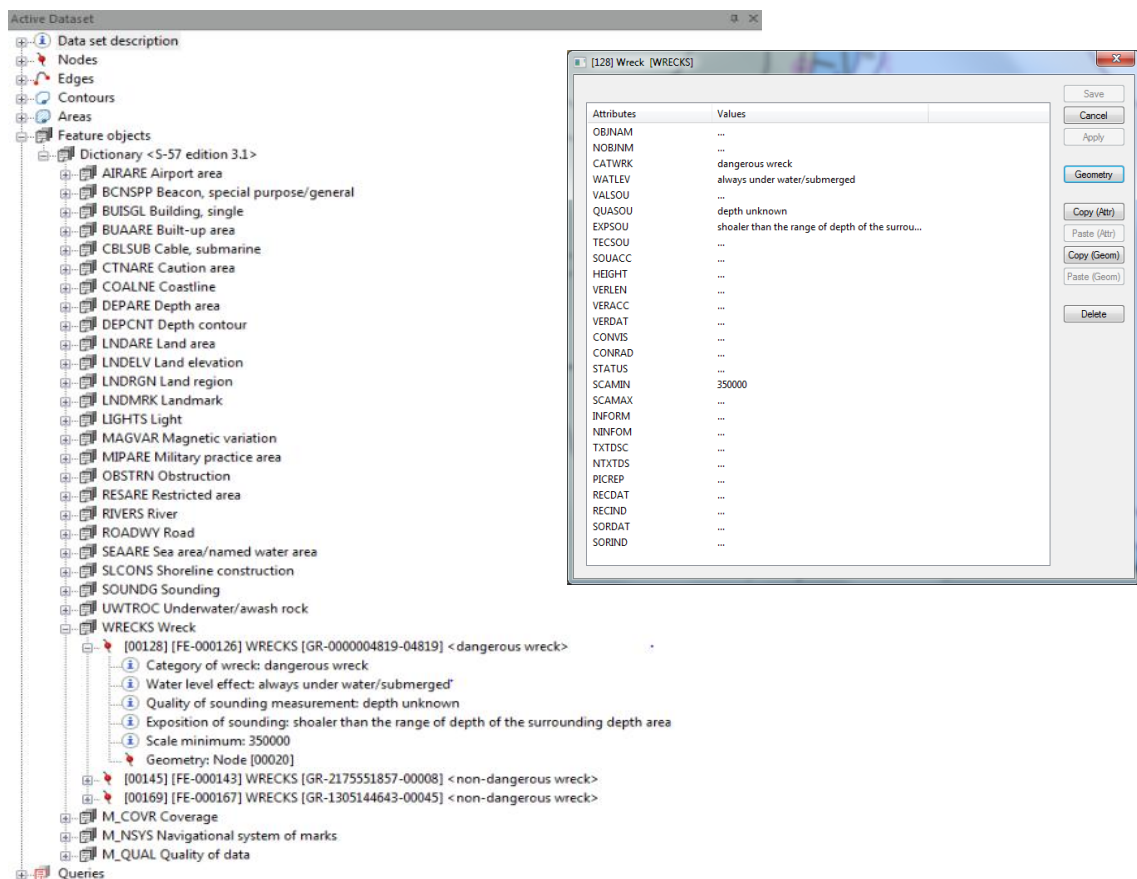
Βασική εργασία επί του ναυτικού χάρτη είναι η σχεδίαση του πλου και η υποτύπωση της θέσης του πλοίου. Με τη χρήση του ανεμολογίου ο ναυτιλλόμενος μετατρέπει τις πορείες και τις διοπτύσεις σε τιμές γωνιών ως προς τον αληθή βορρά. Η τιμή της πορείας είναι αυτή την οποία καλείται να διατηρήσει ο πηδαλιούχος ως ένδειξη της γυροπυξίδας του. Οι διοπτύσεις χρησιμεύουν για την υποτύπωση της θέσης του πλοίου και της προστασίας του από επικίνδυνες περιοχές. Επίσης, με το πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων και τις αντίστοιχες κλίμακες πλάτους και μήκους στο περιθώριο του χάρτη, γίνεται η μέτρηση αποστάσεων και η υποτύπωση θέσης με γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Οι χρησιμοποιούμενες κλίμακες ενός ναυτικού χάρτη διακρίνονται ανάλογα με τη χρήση τους σε έξι (6) κατηγορίες, όπως φαίνεται στον πίνακα 1. Οι δύο πρώτες κατηγορίες είναι χάρτες γενικής χρήσης και αφορούν κυρίως την αρχική σχεδίαση και τον πλου σε ανοιχτή θάλασσα, οι δύο επόμενες χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση πλου πλησίον των ακτών (ακτοπλοΐα), ενώ, τέλος, οι δύο μεγαλύτερης κλίμακας κατηγορίες χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση όρμων και λιμένων.

3. Ο ηλεκτρονικός ναυτιλιακός χάρτης

Οι νέες τεχνολογίες επιφέρουν διαρκείς εξελίξεις στη ναυτιλία και τη ναυτική χαρτογραφία. Εκτός από τις νέες συσκευές συλλογής δεδομένων, όπως τα ηχοβολιστικά πολλαπλής δέσμης και το δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης GPS, αναπτύχθηκαν περιβάλλοντα λογισμικού επεξεργασίας και απόδοσης των δεδομένων, αλλά και δυνατότητες δημιουργίας χάρτη ηλεκτρονικής μορφής και ανάγνωσής του στην οθόνη συστήματος υπολογιστή. Οι ηλεκτρονικοί χάρτες διακρίνονται στους ψηφιδωτές και τους διανυσματικής μορφής. Οι ψηφιδωτές μορφής, γνωστοί ως Raster Navigational Charts (RNC) δημιουργούνται με σάρωση των εντύπων χαρτών σύμφωνα με το πρότυπο S-61 του ΙΗΟ (ΙΗΟ,1999), ενώ οι χάρτες διανυσματικής μορφής (vector charts) προέρχονται είτε από ψηφιοποίηση των εντύπων χαρτών είτε απευθείας από πρωτογενή δεδομένα.

Οι RNCs εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 1980, ενώ το 1992 με την υιοθέτηση του WEND Concept (Worldwide Electronic Navigational Charts Database (WEND)), τα μέλη του ΙΗΟ συμφώνησαν στην ανάπτυξη των χαρτών διανυσματικής μορφής, που είναι γνωστοί και ως Ηλεκτρονικοί Ναυτιλιακοί Χάρτες (Electronic Navigational Charts - ENC). Ο σκοπός του WEND είναι η δημιουργία μιας υψηλής ποιότητας, παγκόσμιας και ενημερωμένης βάσης ENCs. Η παραγωγή ENCs είναι αρκετά δύσκολη και χρονοβόρος διαδικασία, αλλά παρόλα αυτά, η παγκόσμια κάλυψη ανέρχεται σε ποσοστό 100% για μικρής κλίμακας χάρτες, 92% για μεσαίας κλίμακας χάρτες και 97% για τα 800 μεγαλύτερα λιμάνια παγκοσμίως (ΙΗΟ, 2015). Ο κύριος διανομέας ENC είναι το Υδρογραφικό Γραφείο του Ηνωμένου Βασιλείου (United Kingdom Hydrographic Office - UKHO), το οποίο διαθέτει στο εμπόριο περίπου 15.000 φατνία (UKHO, n.d.), εκ των οποίων η υδρογραφική υπηρεσία του ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού (ΥΥ/ΠΝ) έχει κατασκευάσει περίπου 300.

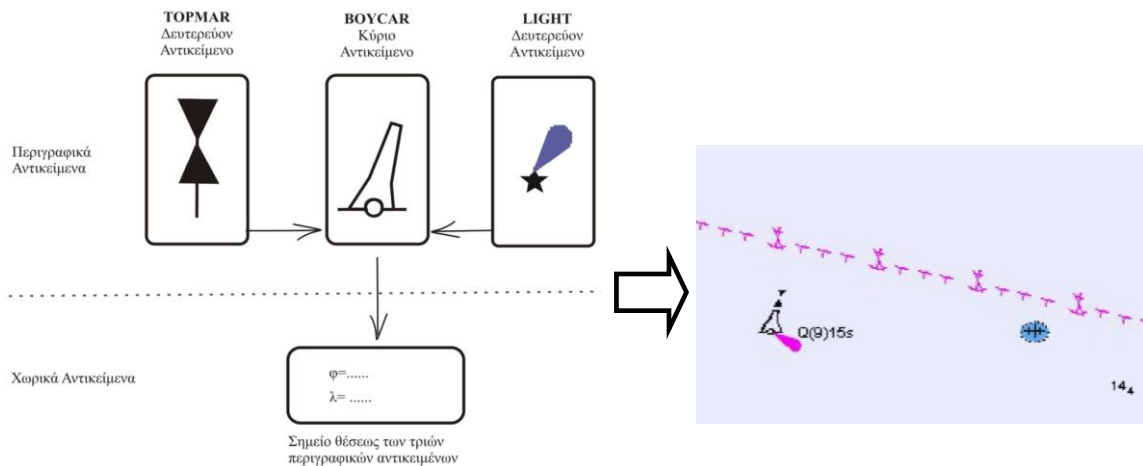
Οι Ηλεκτρονικοί Ναυτιλιακοί Χάρτες είναι ειδικά σχεδιασμένες βάσεις δεδομένων που ακολουθούν το πρότυπο S-57 του ΙΗΟ (ΙΗΟ, 2000) και κατασκευάζονται από τους εξουσιοδοτημένους κρατικούς υδρογραφικούς οργανισμούς. Οι πληροφορίες ενός ENC είναι δομημένες σε θεματικά επίπεδα ακριβώς όπως σε ένα οποιοδήποτε Σύστημα Γεωχωρικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Τα αντικείμενα της αντικειμενοστραφούς βάσης δεδομένων (object-oriented database) ενός ENC χωρίζονται σε χωρικά και περιγραφικά. Δηλαδή σε αυτά που χρησιμοποιούνται για τον χωρικό προσδιορισμό ενός φυσικού αντικείμενου (ήτοι συντεταγμένες), ενώ τα περιγραφικά παρέχουν πληροφορίες/ιδιότητες για το ίδιο το αντικείμενο (π.χ. φανάρι, χρώμα, τομέας, περίοδος φωτοβολίας, κ.α). Τα χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν σε κάθε περιγραφικό αντικείμενο εξαρτώνται από την κατηγορία του αντικείμενου (π.χ. φανάρι) και καθορίζονται από το πρότυπο S-57.



Εικόνα 1. Παράδειγμα βιβλιοθήκης ηλεκτρονικού χάρτη και των προβλεπόμενων από το S-57 πεδίων για τα ναυάγια.

Για τη δημιουργία των χωρικών αντικειμένων το σύστημα αντλεί τις συντεταγμένες των σημείων τα οποία χρησιμοποιούνται είτε μεμονωμένα (isolated nodes) για την απεικόνιση σημειακών αντικειμένων (π.χ. φανάρι), είτε ως συνδεδεμένα σημεία (connecting nodes) για να ορίσουν γραμμικά αντικείμενα (edges) (π.χ. υποβρύχιο καλώδιο), τα οποία μπορούν να συνδυαστούν για να ορίσουν επιφάνειες (faces) (π.χ. περιοχή ασκήσεως υποβρυχίων). Εν συνεχεία, στη θέση του χωρικού αντικείμενου αντιστοιχίζονται τα περιγραφικά του αντικείμενα, τα οποία αποδίδονται γραφικά με χαρτογραφικά σύμβολα

που αντιστοιχούν στις τιμές των περιγραφικών χαρακτηριστικών και τα οποία καθορίζονται από το πρότυπο S-52 (IHO, 2014). Σε μία φυσική οντότητα μπορούν να αντιστοιχούν περισσότερα από ένα περιγραφικά αντικείμενα που ακολουθούν τη δομή κύριου (master) – δευτερεύοντων (slave) αντικειμένων, τα οποία συντίθενται για τη δημιουργία της τελικής εικόνας στην οθόνη του υπολογιστή (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Σημειακή φυσική οντότητα στην οποία αντιστοιχίζονται το κύριο περιγραφικό αντικείμενο BOYCAR (σημαντήρας), και τα δευτερεύοντα TOPMAR και LIGHT (επίσημο και φανάρι αντίστοιχα) συνθέτοντας τον «δυτικό τεταρτοκυκλικό φωτοσημαντήρα» του σχήματος ο οποίος επισημαίνει το ναυάγιο στα ανατολικά του και τα ασφαλή ύδατα στα δυτικά του (Σύνθεση από Παλληκάρης, 2009).

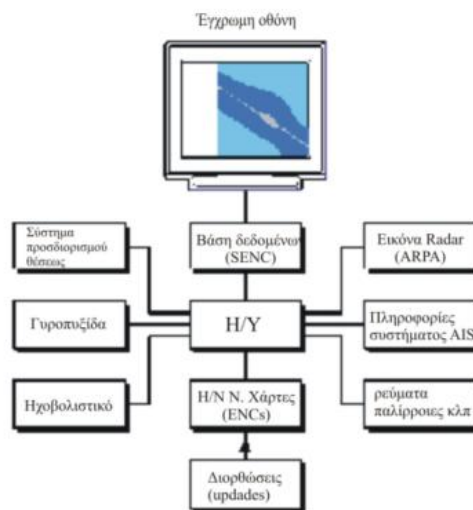
Η δημιουργία των ηλεκτρονικών χαρτών διευκόλυνε την παραγωγή των έντυπων χαρτών, καθώς από το εκάστοτε φατνίο ή συνδυασμό φατνίων, με κατάλληλη επεξεργασία παράγεται το ψηφιακό αρχείο και ακολούθως εκτυπώνεται ο έντυπος χάρτης. Αξίζει, εν τούτοις, να σημειωθεί, ότι υπάρχει διαρκής μείωση της απαίτησης για έντυπους χάρτες, στοιχείο που το 2013 οδήγησε την υπηρεσία National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) των ΗΠΑ να ανακοινώσει ότι καταργεί την παραγωγή έντυπων χαρτών, υπηρεσία η οποία πλέον παρέχεται μόνο από κατά τόπους σημεία διάθεσης χαρτών μέσω της διαδικασίας “Print on demand” (NOAA, 2013).

3.1. Συστήματα Απεικόνισης Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών

Όπως αναφέρθηκε, οι ηλεκτρονικοί ναυτιλιακοί χάρτες αποτελούν ειδικά σχεδιασμένες βάσεις δεδομένων που κατασκευάζονται σύμφωνα με το πρότυπο S-57 του IHO, τυποποιημένες ως προς το περιεχόμενο (content), τη δομή (structure) και τον μορφότυπο (format) για χρήση από τα συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη. Τα διατιθέμενα συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη διακρίνονται στα απλά Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη (Electronic Chart Systems) και στα Συστήματα Απεικόνισης Ηλεκτρονικών Χαρτών και Πληροφοριών, ευρέως γνωστά ως ECDIS (Electronic Charts Display and Information

Systems). Στην παρούσα εργασία περιγράφονται οι δυνατότητες μόνον των πιστοποιημένων συστημάτων ECDIS, τα οποία, σε αντίθεση με τα ECS, πληρούν τις προδιαγραφές κατασκευής που έχει θέσει ο IMO (IMO, 2006) και τα οποία, ως συνέπεια του προηγούμενου, ικανοποιούν τις απαιτήσεις εξοπλισμού σε χάρτες (chart carriage requirements) που θέτει το ενημερωμένο 5^ο κεφάλαιο της Σύμβασης SOLAS (IMO, 2009).

Τα ECDIS αποτελούν πληροφοριακά συστήματα πραγματικού χρόνου εγκατεστημένα στα πλοία, τα οποία εκτός από το να παρουσιάζουν τις πληροφορίες που περιέχει ένας τυπικός έντυπος χάρτης, διαθέτουν και πληροφορίες άλλων ναυτιλιακών εκδόσεων, όπως είναι οι πλοηγοί και φαροδείκτες. Ένα Σύστημα ECDIS έχει την τυπική σύνθεση ενός συστήματος ΣΓΠ, ήτοι το Υλικό (Hardware), το Λογισμικό (Software) και τα Δεδομένα (Data). Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3, οι ENCs αποτελούν μόνον ένα από τα συστατικά στοιχεία ενός συστήματος ECDIS, καθώς αυτά ενσωματώνουν και άλλα συστήματα και αισθητήρες του πλοίου, όπως AIS, GPS, RADAR και ARPA.



Εικόνα 3. Τυπική σύνθεση συστήματος ECDIS (Παλληκάρης, 2009)

3.2. Διαδραστικά και δυναμικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ECDIS

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, οι βασικές εργασίες που εκτελεί ο ναυτιλλόμενος σε έναν χάρτη είναι η χάραξη γραμμών (π.χ. σχεδίαση πλου, σχεδίαση ορίων περιοχών), η μέτρηση αποστάσεων και γωνιών και η υποτύπωση της θέσης του πλοίου (στίγμα). Η υλοποίηση των ανωτέρω στον έντυπο χάρτη εκτελείται γραφικά με τη χρήση κομπάσου και δυπαράλληλου, όμως οι γραφικές εργασίες εισάγουν συστηματικά και μη σφάλματα στις μετρήσεις λόγω χρήστη και υλικού. Ενδεικτικά, για τη μέτρηση αποστάσεων ο ναυτιλλόμενος αντιστοιχίζει το μετρούμενο μήκος σε άνοιγμα του κομπάσου, το οποίο ακολούθως μεταφέρει στην κλίμακα του πλάτους στο, περίπου, μέσο γεωγραφικό πλάτος του μετρούμενου τμήματος για να λάβει την εκτίμηση της τιμής του μήκους σε ναυτικά μίλια. Αντιθέτως, οι μετρήσεις στα συστήματα ECDIS εκτελούνται ταχύτερα και με την ακρίβεια που προσφέρουν οι μετρήσεις επί της επιφάνειας του ελλειψοειδούς. Ομοίως εύκολη είναι η σχεδίαση του δρομολογίου, η οποία πραγματοποιείται εισάγοντας τα σημεία

στροφής τα οποία συνδέονται με σκέλη πορειών και για τα οποία υπολογίζεται αυτόματα το μήκος και το αζιμούθιό τους.

Επιπλέον της δυνατότητας εκτέλεσης των βασικών εργασιών, τα συστήματα ECDIS προσφέρουν και πλήθος άλλων διαδραστικών και δυναμικών δυνατοτήτων που επιτρέπουν στον χρήστη να διαμορφώσει τον χάρτη σύμφωνα με τις προσωπικές του επιλογές, να σχεδιάσει, να παρακολουθεί και να ολοκληρώσει ασφαλώς την πλοήγηση του σκάφους από τον λιμένα αναχώρησης στον λιμένα προορισμού. Μία από τις απλούστερες δυνατότητες των διαδραστικών συστημάτων, και των ECDIS, είναι η δυνατότητα να μεταβάλει ο χρήστης το εύρος της απεικονιζόμενης περιοχής (zoom in / out) και να αλλάζει την περιοχή κάλυψης (pan) του χάρτη. Σημειώνεται ότι η αλλαγή της κλίμακας κατά την μεταβολή του απεικονιζόμενου εύρους υπόκειται στον περιορισμό να ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα, ώστε να ταυτίζεται με τις κλίμακες εμβέλειας του radar (βλέπε Εικόνα 4)¹ και να ικανοποιούνται οι ανάγκες διαλειτουργικότητας των δύο συστημάτων.

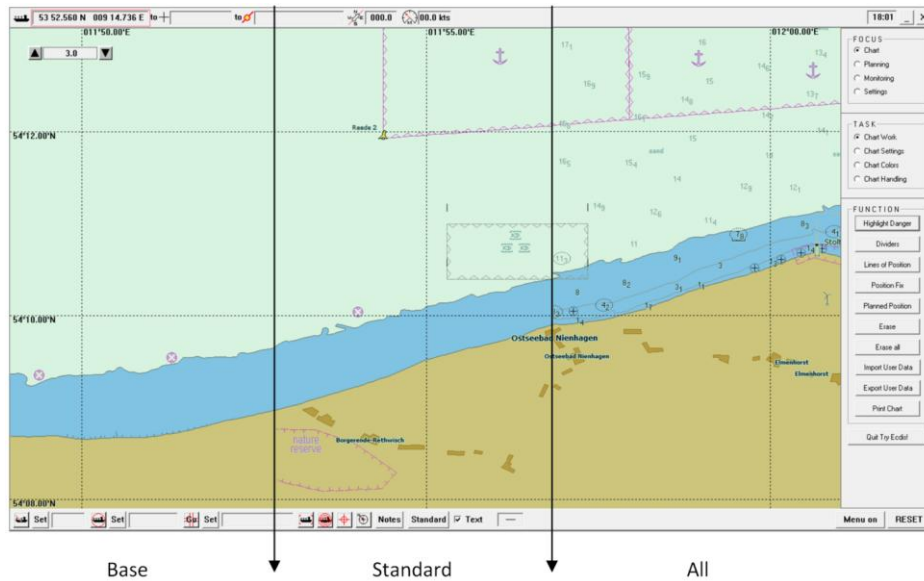
Navigational Purpose	Name	Scale Range	Available Compilation Scales	Matching Scale Ranges
1	Overview	<1:1,499,999	3,000,000 and smaller 1,500,000	200 NM 96 NM
2	General	1:350,000 - 1:1,499,999	700,000 350,000	48 NM 24 NM
3	Coastal	1:90,000 - 1:349,999	180,000 90,000	12 NM 6 NM
4	Approach	1:22,000 - 1:89,999	45,000 22,000	3 NM 1.5 NM
5	Harbour	1:4000 - 1:21,999	12,000 8000 4000	0.75 NM 0.5 NM 0.25 NM
6	Berthing	> 1:4000	3999 and larger	< 0.25 NM

Εικόνα 4. Αντιστοιχία ναυτιλιακού σκοπού χάρτη και κλιμάκων radar και σύνθεσης χάρτη (IHO, 2004).

Άλλο στοιχείο διαδραστικότητας είναι η δυνατότητα επιλογής του επιπέδου λεπτομέρειας των βασικών πληροφοριών υποβάθρου μεταξύ τριών επιπέδων πληροφορίας (Base, Standard και All) (Εικόνα 5). Στο βασικό επίπεδο (“Base”), εμφανίζονται θεμελιώδη στοιχεία του περιβάλλοντος, δηλαδή η ακτογραμμή, η ισοβαθής ασφαλείας (η ισοβαθής που χωρίζει τα πλεύσιμα από τα επισφαλή ύδατα για κάθε σκάφος), ναυάγια, κατασκευές όπως γέφυρες, και πλατφόρμες στη θάλασσα, σταθερά και επιπλέοντα βοηθήματα ναυσιπλοΐας (σημαντήρες και φανάρια), ζώνες διαχωρισμού θαλάσσιας κυκλοφορίας. Στο τυπικό επίπεδο λεπτομέρειας (“Standard”), επιπλέον των ανωτέρω παρουσιάζονται πληροφορίες όπως κτίρια και ονοματολογία επί της ξηράς, απαγορευμένες και περιοχές ειδικού σκοπού (πχ. αγκυροβόλια) για τη ναυσιπλοΐα, όρια χάρτη και σημειώσεις (cautionary notes). Τέλος, στο πλήρες επίπεδο λεπτομέρειας (“All”) απεικονίζονται όλες οι

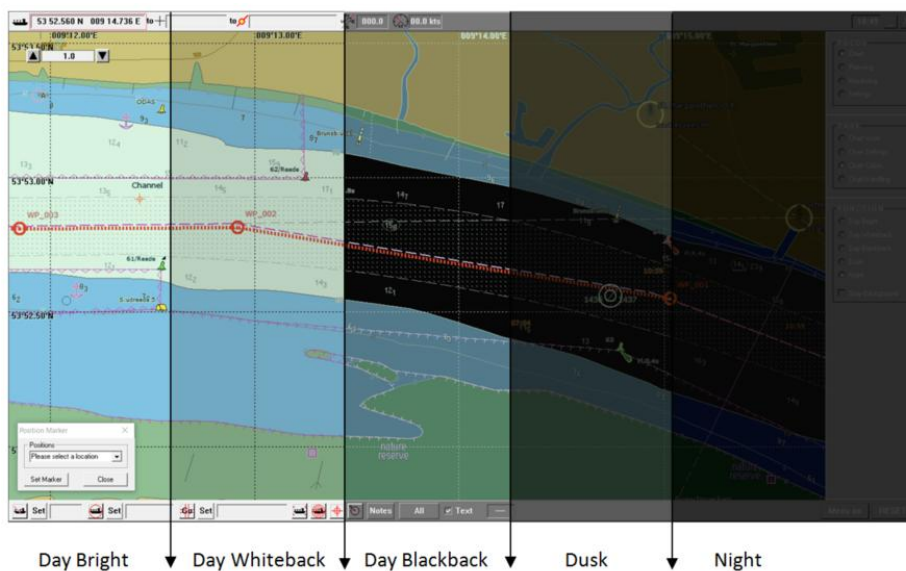
¹ Για τους σκοπούς της εισήγησης χρησιμοποιούνται εικόνες από το TryECDIS, το οποίο αποτελεί λογισμικό προσομοίωσης συστήματος ECDIS, χωρίς όμως τις διασυνδέσεις ενός τυπικού συστήματος.

εναπομένουσες πληροφορίες, όπως βυθίσματα, υποβρύχια καλώδια και υποβρύχιοι αγωγοί, καταφανή αντικείμενα (πχ. καπνοδόχοι, εκκλησίες) και δρομολόγια πλοίων.



Εικόνα 5. Περιεχόμενο των τριών επιπέδων λεπτομέρειας της απεικονιζόμενης πληροφορίας μιας περιοχής

Μία άλλη πολύ χρήσιμη επιλογή είναι η δυνατότητα επιλογής μεταξύ πέντε χρωματικών συνδυασμών, ώστε η απεικόνιση στην οθόνη του συστήματος να είναι ανάλογης φωτεινότητας με αυτήν του περιβάλλοντος (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Οι διαφορετικές χρωματικές επιλογές για την αντιστάθμιση του φωτεινότητας του χώρου

Στις ανωτέρω εικόνες 5 και 6 διακρίνονται οι γραμμές πληροφοριών (στην κορυφή της οθόνης του συστήματος) και λειτουργιών (στο κάτω τμήμα). Η γραμμή πληροφοριών

παρέχει στον ναυτιλλόμενο χρήσιμες και δυναμικές πληροφορίες του πλου, και συγκεκριμένα την εκάστοτε θέση του πλοίου με τη μορφή γεωγραφικών συντεταγμένων του συστήματος WGS84, την απόσταση και διόπτυση του κέρσορα από το πλοίο, απόσταση και διόπτυση από το επόμενο σημείο στροφής, πορεία και ταχύτητα ως προς τον βυθό², τις συντεταγμένες της θέσης του κέρσορα και τέλος την ώρα UTM. Με τα εικονίδια της γραμμής λειτουργιών ο ναυτιλλόμενος μπορεί να σχεδιάσει κύκλους αποστάσεων και γραμμές διόπτυσης από το πλοίο, ή να δημιουργήσει σημειώσεις, ακριβώς όπως θα έπραττε στον έντυπο χάρτη.

Άλλα στοιχεία με τα οποία ο χρήστης τροποποιεί τον χάρτη σύμφωνα με τις προτιμήσεις του, είναι η δυνατότητα εμφάνισης/απόκρυψης του πλέγματος μεσημβρινών και παραλλήλων, η επιλογή μεταξύ δύο και τεσσάρων αποχρώσεων για τον διαχωρισμό πλεύσιμων και επικίνδυνων υδάτων, η εμφάνιση/απόκρυψη τομέων φωτοβολίας φανών και ένδειξης της τιμής των ισοβαθών, η επιλογή μεταξύ των παραδοσιακών συμβόλων της ναυτικής χαρτογραφίας του INT1 (IHO, 2016) και απλοποιημένων συμβόλων και, τέλος, αλλαγής του συμβόλου του πλοίου από το τυποποιημένο κυκλικό σύμβολο σε περίγραμμα του πλοίου όπως φαίνεται στην Εικόνα 7³.

Όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα, για κάθε αντικείμενο του χάρτη ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ανάκτησης περιγραφικών στοιχείων καταχωρημένων στη βάση δεδομένων. Με απλή επιλογή του αντικειμένου αναδύεται το παράθυρο πληροφοριών που περιλαμβάνει τη γεωγραφική θέση του αντικειμένου σε WGS84, το βάθος, εικόνα του χρησιμοποιούμενου χαρτογραφικού συμβόλου, διόπτυση και απόσταση από το πλοίο, ονομασία και περιγραφή αυτού (π.χ. χρώμα, περίοδος αναλαμπών, ύψος κατασκευής φαναριού).

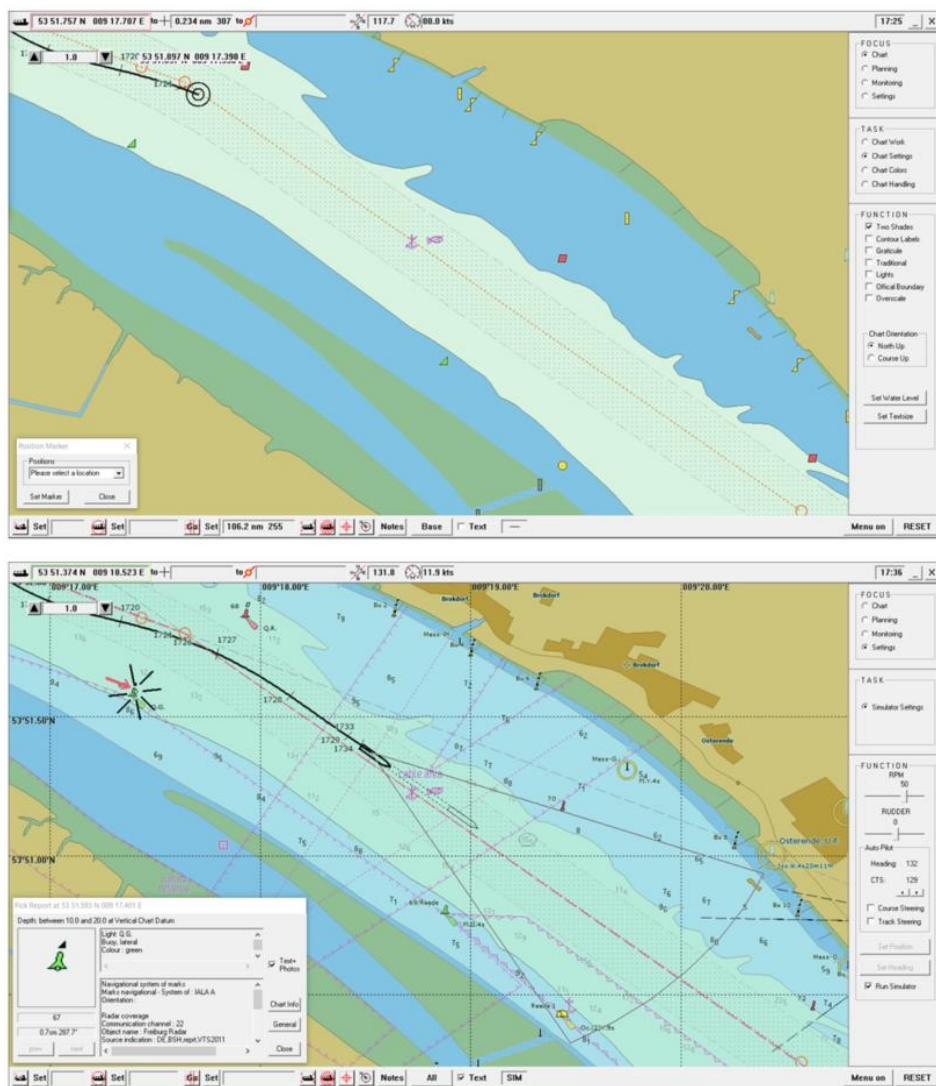
Εκτός από τις διαφορετικές επιλογές μορφοποίησης της τελικής εικόνας του χάρτη στην οθόνη του συστήματος και εκτέλεσης των βασικών εργασιών σχεδίασης και μετρήσεων, ο ναυτιλλόμενος έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί απλές και σύνθετες εργασίες και ρυθμίσεις που συμβάλλουν στην ασφαλή εκτέλεση του πλου. Μία από αυτές είναι η εισαγωγή της τιμής της παλίρροιας και η συνακόλουθη διόρθωση των βαθών του χάρτη⁴. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να εισάγει τιμές ασφαλείας και συγκεκριμένα την

² Τυπικά η πορεία ως προς τον βυθό διαφέρει από την τηρούμενη από τον πηδαλιούχο λόγω ρευμάτων, καιρού ή/και χειρισμού. Ομοίως για την ταχύτητα.

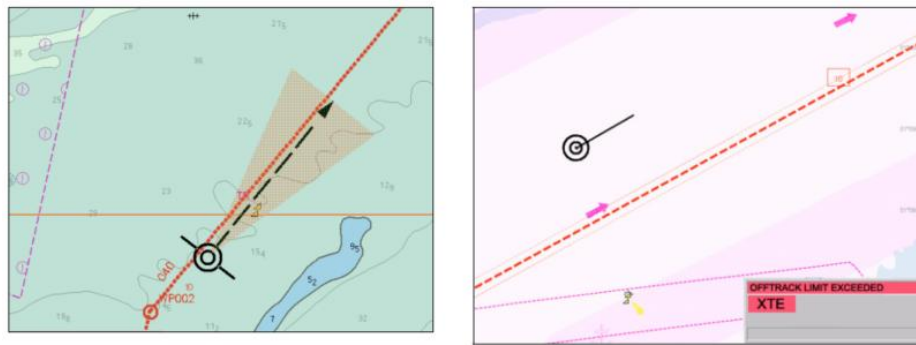
³ Η απεικόνιση ως περίγραμμα με τις πραγματικές διαστάσεις του σκάφους είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιοχές περιορισμένων υδάτων (π.χ. κανάλια) που οι διαστάσεις του πλοίου - τις οποίες εισάγει ο χρήστης στο σύστημα - είναι κρίσιμες για την ασφάλεια των χειρισμών.

⁴ Τα βάθη στους ναυτικούς χάρτες, έντυπους και ηλεκτρονικούς, μετρώνται από το κατακόρυφο επίπεδο αναφοράς του χάρτη (vertical chart datum) που χρησιμοποιεί ο υδρογραφικός φορέας της χώρας. Η επιλογή του chart datum γίνεται με κριτήριο την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας κατά τρόπο ώστε το ελάχιστο βάθος που θα φτάσει η θάλασσα υπό κανονικές συνθήκες να μην υπερβεί την απεικονιζόμενη τιμή του βάθους. Για τον λόγο αυτό επιλέγονται συντηρητικά επίπεδα αναφοράς, όπως η κατώτατη αστρονομική παλίρροια (Lowest Astronomical Tide – LAT) ή και η πλέον συντηρητική τιμή της κατώτατης ρηχίας (Lowest Low Water Line – LLWL) που έχει παρατηρηθεί, επίπεδο το οποίο χρησιμοποιείται και στην Ελλάδα.

ισοβαθή ασφαλείας, το ύψος ασφαλείας και την απόσταση ασφαλείας από την οποία μπορεί το πλοίο να διέλθει πλησίον εμποδίου/κινδύνου ασφαλώς. Ακολούθως, δίνεται η δυνατότητα εκτέλεσης ελέγχου για την ύπαρξη κινδύνων κατά μήκος της διαδρομής. Το σύστημα εντοπίζει και επισημαίνει τους κινδύνους τους οποίους ο χρήστης μπορεί είτε να διορθώσει είτε να λάβει υπόψη του κατά τον πλου, ανάλογα με την κρισιμότητά τους. Επιπρόσθετα, το σύστημα ενημερώνει με ηχητικές και φωτεινές προειδοποιήσεις τον ναυτιλλόμενο κατά τη διάρκεια του πλου στις περιπτώσεις που το πλοίο διασχίσει την ισοβαθή ασφαλείας, εισχωρήσει σε απαγορευμένη περιοχή ή διέλθει πλησίον αντικειμένου (π.χ. σημαντήρας).



Εικόνα 6. Δύο επιλογές με την ελάχιστη και τη μέγιστη δυνατή λεπτομέρεια απεικονιζόμενης πληροφορίας. Το πλοίο στην πρώτη περίπτωση απεικονίζεται με απλό σχήμα ενώ στη δεύτερη με το περιγράμματά του. Στη δεύτερη εικόνα φαίνεται και η προβολή της μελλοντικής θέσης του πλοίου καθώς και το αναδυόμενο παράθυρο πληροφοριών.



Εικόνα 7. Ένδειξη σημάτων κινδύνου για την προσέγγιση σε σημαντήρα (αριστερό τμήμα εικόνας) και για την πλεύση του πλοίου εκτός των ορίων απόκλισης από την πορεία (Παλληκάρης, 2009)

Κατά τη διάρκεια του πλου, το σύστημα παρακολουθεί τη θέση του πλοίου και ανανεώνει διαρκώς τον απεικονιζόμενο χάρτη ανακτώντας μόνο το τμήμα εκείνο της βάσης δεδομένων που απαιτείται για τη σύνθεση του χάρτη της περιοχής. Επίσης, απεικονίζει τα στοιχεία που λαμβάνονται από τα διασυνδεδεμένα συστήματα (AIS, RADAR, ARPA). Τα τρία αυτά συστήματα μαζί με το χαρτογραφικό υπόβαθρο του ηλεκτρονικού χάρτη και τις προσφερόμενες λειτουργίες, δημιουργούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα που παρέχει σημαντική βοήθεια στον ναυτιλλόμενο. Μία άλλη ιδιαιτέρως χρήσιμη λειτουργία των ECDIS, είναι η δυνατότητα επιλογής ως προς το εάν ο κατακόρυφος άξονας της οθόνης θα ταυτίζεται με τον άξονα Βορράς-Νότος (“North Up”), ή εάν θα ταυτίζεται με τη γραμμή πορείας (“Course Up”). Η εν λόγω λειτουργία είναι εξαιρετικά χρήσιμη κατά τον πλου σε περιορισμένα ύδατα όπου ο ναυτιλλόμενος ταυτίζει την απεικόνιση του χάρτη με την οπτική παρατήρηση του πραγματικού κόσμου. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα συστήματα ECDIS λειτουργούν και ως “μαύρα κουτιά” καταγράφοντας τα σημαντικότερα στοιχεία του πλου, δηλαδή χρόνο, στίγμα, πορεία, ταχύτητα του σκάφους και βάθος.

4. Προβληματισμοί – Μελλοντικές Εξελίξεις

α. Τα συστήματα ECDIS, παρότι δεν είναι έντυποι χάρτες, πρέπει να προβάλλουν τα δεδομένα στην οθόνη του υπολογιστή με χρήση της κατάλληλης χαρτογραφικής προβολής. Στα διεθνή πρότυπα κατασκευής των ECDIS δεν υπάρχει πρόβλεψη για την προβολή που πρέπει να χρησιμοποιούν τα συστήματα, επιλογή η οποία επαφίεται στη διακριτική ευχέρεια των κατασκευαστών. Στην πράξη δεν υφίσταται πρόβλημα ασφάλειας ναυσιπλοΐας, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, οι υπολογισμοί στα συστήματα ECDIS εκτελούνται επί του ελλειψοειδούς χωρίς γραφική εργασία που θα δημιουργούσε σφάλματα. Εντούτοις, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να δημιουργηθούν οξείες οπτικές παραμορφώσεις που οδηγούν σε παρερμηνείες της πραγματικότητας (Pallikaris & Tsoulos, 2010).

β. Παρά τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα, τα οποία αναφέρθηκαν νωρίτερα, τα συστήματα ECDIS έχουν μειονεκτήματα όπως: αυξημένο κόστος, ότι η περιοχή απεικόνισης περιορίζεται από το μέγεθος της οθόνης, κακή επιλογή ρυθμίσεων και θεματικών επιπέδων από τον χρήστη μπορεί να έχει ως συνέπεια την απόκρυψη κρίσιμων

πληροφοριών, ενώ επίσης υφίσταται και η πιθανότητα αστοχίας ή διακοπής λειτουργίας, όπως άλλωστε για κάθε ηλεκτρονικό σύστημα που φέρεται από πλοίο (π.χ. AIS, GPS). Για την αντιμετώπιση αυτής της δυνητικά επικίνδυνης για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας κατάστασης, το carriage requirement απαιτεί την ύπαρξη εναλλακτικού μέσου, είτε με τη μορφή φύλλου ενημερωμένων εντύπων χαρτών, είτε με την ύπαρξη ενός δεύτερου ανεξάρτητου συστήματος ECDIS.

γ. Προβλήματα στη λειτουργία των συστημάτων ECDIS ανακύπτουν από την ύπαρξη κενών αλλά κυρίως επικαλύψεων στα δεδομένα μεταξύ δύο γειτονικών φατνίων. Όταν οι επικαλύψεις οφείλονται σε καθαρά τεχνικούς λόγους (πχ. διαφορετικές ακτογραμμές σε χρήση από τις δύο χώρες) τότε το πρόβλημα είναι εύκολα αντιμετωπίσιμο από τις δύο πλευρές. Όταν όμως είναι συνέπεια της αμφισβήτησης των χαρτογραφικών αρμοδιοτήτων μιας χώρας, τότε ανάγεται σε πολιτικό και είναι δύσκολο στη διαχείριση και την αντιμετώπισή του. Ο σεβασμός των εμπλεκόμενων στο διεθνές δίκαιο και στις αποφάσεις των διεθνών οργανισμών (IHO, IMO) αποτελεί τη βάση για την αντιμετώπιση του προβλήματος, το οποίο ενέχει κινδύνους για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας (Kastrisios & Pilikou, 2016).

δ. Σημαντική έρευνα στην εξέλιξη των ηλεκτρονικών χαρτών και των συστημάτων ηλεκτρονικού χάρτη πραγματοποιείται στο Center of Coastal and Ocean Mapping (CCOM) του πανεπιστημίου του New Hampshire, σε συνεργασία με την υπηρεσία NOAA των ΗΠΑ. Επί του παρόντος το κέντρο ερευνά την ανάπτυξη του “Χάρτη του μέλλοντος” (Chart of the Future), που αποτελείται από αρκετά επί μέρους ερευνητικά έργα, όπως το “Panoramic Imaging” το οποίο στην κορυφή της οθόνης δημιουργεί μία απεικόνιση του πραγματικού κόσμου με σύνθεση πανοραμικών φωτογραφιών όπως φαίνεται από τη γέφυρα του πλοίου κατά την προσέγγιση της ακτής/λιμένα (UNH, n.d.).

5. Σύνοψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των συστημάτων ECDIS ως συστημάτων διαδραστικής και δυναμικής χαρτογραφίας. Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών, τα οποία τα τελευταία χρόνια αντικαθιστούν σταδιακά τους έντυπους ναυτικούς χάρτες, είναι αδιαμφισβήτητα, καθώς παρέχουν στον χρήστη τη δυνατότητα να εκτελεί ταχύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια τους απαιτούμενους υπολογισμούς με τη χρήση ενός υπολογιστικού συστήματος, αντί των παραδοσιακών γραφικών μεθόδων. Ως διαδραστικά συστήματα δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη να προσαρμόσει τον χάρτη στις δικές του προτιμήσεις με την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση θεματικών επιπέδων, αλλαγής χαρτογραφικών συμβόλων και επιπέδου λεπτομέρειας πληροφοριών του χαρτογραφικού υποβάθρου. Με τον τρόπο αυτό απεικονίζονται μόνον οι απαραίτητες για την εκτέλεση του πλου πληροφορίες χωρίς την ύπαρξη περιττής πληροφορίας. Τέλος, ως δυναμικά συστήματα παρακολουθούν διαρκώς την κίνηση του πλοίου, ανανεώνουν την απεικονιζόμενη περιοχή, τροφοδοτούν με στοιχεία από τα συνδεδεμένα ναυτιλιακά συστήματα του πλοίου και προειδοποιούν για την εγγύτητα κινδύνων. Εντούτοις, παρά τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματα των συστημάτων της κατηγορίας αυτής απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς αμελής χρήση του συστήματος και επιλογή λανθασμένων ρυθμίσεων μπορεί να οδηγήσει σε ναυτικά ατυχήματα.

Βιβλιογραφία

IHO, 1999. Product specification for raster navigational charts (RNC), Special Publication S-61, 1st ed., January 1999, IHB, Monaco.

IHO, 2000. IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, Publication S-57, Edition 3.1, IHO, Monaco.

IHO, 2004. Improving ENC consistency, Circular Letter CL47/2004 dated 5 July 2004, IHB, Monaco.

IHO, 2014. Specifications for chart content and display aspects of ECDIS, Publication S-52, ed. 6.1(1), with clarifications up to June 2015, October 2014, IHO, Monaco.

IHO, 2015. Report on monitoring of ECDIS issues by the IHO, Paper presented at the 3rd Session of the Sub-Committee on navigation, communication and search and rescue (NCSR 3/28), 18 December, 2015

IHO, 2016. Regulations of the IHO for international (INT) charts and chart specifications of the IHO, Publication S-4, ed. 4.6.0, April 2016, IHO, Monaco.

IMO, 2000. Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, Revision to Chapter V – *Safety of Navigation*, IMO Resolution MSC.99(73), adopted on 5 December, 2000. IMO, London.

IMO, 2006. Adoption of the revised performance standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS), IMO Resolution MSC.232(82), adopted on 5 December, 2006. IMO, London.

IMO, 2009. Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended, IMO Resolution MSC.282(86), adopted on 5 June, 2009. IMO, London.

Kastrisios C., Pilikou M., 2017. “The Effect of nautical cartography competences to the realization of a worldwide official ENC database, the performance of ECDIS and the fulfillment of IMO chart carriage requirement”, *Marine Policy*, Volume 75, Pages 29–40. doi: 10.1016/j.marpol.2016.10.007.

NOAA, 2013. NOAA announces end of traditional paper nautical charts. Accessed on 28 September 2016. Available from: <http://www.noaanews.noaa.gov/stories/2013/20131022_nauticalcharts.html>

Παλληκάρης, Α., 2009, *Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη*, 3η Έκδοση, Ανατύπωση με μικρές διορθώσεις - Οκτώβριος 2012, Πειραιάς: Σχολή Ναυτικών Δοκίμων.

Pallikaris A., Tsoulos L., 2010. "Map projections and visualization of navigational paths in electronic chart systems", 3rd International conference on cartography and GIS, 15-20 June, 2010, Nessebar, Bulgaria.

UKHO, n.d.. Admiralty Vector Chart Service. Accessed on 28 September 2016. Available from: <<https://www.admiralty.co.uk/digital-services/digital-charts/ admiralty-vector-chart-service>>

UN, 1974. United Nations International Convention for the Safety of Life at Sea (signed 1 November 1974, entered into force 25 May 1980) 1184 U.N.T.S. 278; 1978 Protocol Relating to the International Convention for the Safety of Life at Sea (signed 17 February 1978, entered into force 1 May 1981) [1983] ATS 28; Protocol Relating to the International Convention for the Safety of Life at Sea, (signed 11 November 1988, entered into force 3 February 2000) [2000] ATS 3.

UNH, n.d.. Chart of the Future. Maximizing mariner effectiveness through fusion of marine and visualization technologies. Accessed on 28 September 2016. Available from: <http://ccom.unh.edu/vislab/projects/chart_of_the_future.html>