

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ»



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Επιχειρησιακές διαδικασίες αυτόνομου offshore σκάφους  
για την επιτυχή προσέγγιση σε υπεράκτια εξέδρα  
εξόρυξης πετρελαίου και αερίου.**



Όνοματεπώνυμο Φοιτητή: Τζαβάρας Αναστάσιος  
ΑΜ: 08118826

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Π. Βεντικός, Αναπληρωτής Καθηγητής  
ΕΜΠ

Επιτροπή: Κ. Μπελιμπασάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

Γ. Παπαλάμπρου, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Φεβρουάριος 2021

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα Μεταπτυχιακή εργασία είναι το τελευταίο βήμα σε μια διαδρομή ευχάριστη όσο και δύσκολη η οποία ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2018 με την εγγραφή μου στο Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η παρακολούθηση εν και ολοκλήρωση εν λόγω ΔΜΠΣ με δεδομένο τον εργασιακό μου φόρτο συνιστά ένα δύσκολο εγχείρημα στο οποίο αρωγοί στάθηκαν οι ακόλουθοι για τους οποίους αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές μου ευχαριστίες.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Νικόλαο Π. Βεντίκο ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία και με καθοδήγησε να αναλάβω την συγγραφή ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κύριο Αλέξανδρο Κοϊμτζόγλου για τον σημαντικό χρόνο που διέθεσε προκειμένου να παρακολουθεί την εξέλιξη της εργασίας σε όλα τα στάδια, την αρμονική συνεργασία και για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο των καθηγητών του ΔΜΠΣ, τα μαθήματα των οποίων παρακολούθησα κατά την διάρκεια αυτού όπου με συνέπεια ανάλαβαν το έργο της μεταλαμπάδευσης των γνώσεων και συνέβαλλαν στην ατομική μου βελτίωση.

Ομοίως ευχαριστώ τους συμφοιτητές μου για την ευχάριστη και συναδελφική συνύπαρξη όλο αυτό το διάστημα.

Κυρίως όμως ευχαριστώ την σύζυγό μου Άννα και τα παιδιά μου Βασίλη και Μανώλη για την συμπαράσταση και υπομονή τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου και την ισορροπία που με βοήθησαν να κρατήσω μεταξύ οικογένειας, εργασίας και σπουδών. Χωρίς την συμβολή τους η ολοκλήρωση της διαδρομής αυτής θα ήταν ανέφικτη.

## Περίληψη

Η αυτόνομη ναυτιλία ακόμα και ως όρος μετρά λίγα χρόνια εμφάνισης πλην όμως η επιτευχθείσα έως σήμερα πρόοδος έχει ως αποτέλεσμα οι ανά την υφήλιο ναυτιλιακές να βλέπουν σε αυτή το μέλλον τους όποιου είδους πλοία και αν επιχειρούν. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία ασχολείται το αυτόνομο offshore σκάφος υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας εξόρυξης πετρελαίου και αερίου και συγκεκριμένα με τον καθορισμό των Επιχειρησιακών διαδικασιών για την επιτυχή προσέγγιση σε αυτή. Η ιδιαιτερότητα σε σχέση με το έργο κάθε άλλου αυτόνομου πλοίου οφείλεται στο γεγονός ότι η εργασία του αφορά σε κίνηση εγγύς κατασκευής μεγάλης επικινδυνότητας σε αντιδιαστολή με την ωκεανοπλοία. Την ίδια όμως στιγμή βρίσκεται στην ανοιχτή θάλασσα όπου τα έντονα καιρικά στοιχεία δυσχεραίνουν περαιτέρω το έργο του.

Η επίλυση των ιδιαίτερων αυτών προβλημάτων απαίτησε το συγκερασμό των δυνατοτήτων του υλικού με λεπτομερείς διαδικασίες. Για τον λόγο αυτό, πρώτα ανιχνεύθηκαν τα έως τώρα επιτεύγματα στον χώρο της αυτόνομης ναυτιλίας, αναγνωρίστηκαν οι δυνατότητες που υφίστανται και επιλέχθηκε ο επιθυμητός βαθμός αυτονομίας. Ακολούθως διερευνήθηκε κατά πόσο τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί συγκεκριμένα για τα πλοία υποστήριξης εξέδρας αλλά και για μεγαλύτερη ασφάλεια στο χώρο της ναυτιλίας, δύνανται να εξασφαλίσουν την ψηφιακή αντίληψη του περιβάλλοντος και την υποκατάσταση των ανθρώπων στο χειρισμό του πλοίου. Αφού επιβεβαιώθηκε η δυνατότητα για τα ανωτέρω καταρτίστηκε ένα σχέδιο πλατφόρμας που ενσωματώνει όλα τα απαιτούμενα συστήματα και επισημάνθηκαν οι ιδιαιτερότητες. Στο στάδιο αυτό καθορίστηκε και ο τρόπος αυτοελέγχου του συστήματος για λάθη. Έπειτα έγινε κατάρτιση των επιχειρησιακών διαδικασιών ώστε το πλοίο μετά την άφιξη στην περιοχή της εξέδρας, να προσεγγίσει ασφαλώς σε αυτήν, να εκτελέσει τις προκαθορισμένες εργασίες και ακολούθως να απομακρυνθεί. Στη διαδικασία αυτή εκτελέστηκε προσαρμογή στις ήδη ακολουθούμενες διαδικασίες οι οποίες έχουν προκύψει ως η μετουσίωση της μακρόχρονης εμπειρίας και των συμβάντων δεκαετιών. Έτσι λοιπόν, στην ήδη βηματιστική διαδικασία, αναγνωρίστηκαν επιμέρους στάδια τα οποία μεταφράστηκαν σε επιμέρους λειτουργίες. Σε αυτές, η πλήρωση ενός κριτηρίου μεταφράζεται σε σωστό ή λάθος ενώ η θέσπιση ορίων σε ένα μετρήσιμο μέγεθος οδηγεί σε συγκεκριμένες ενέργειες.

Σε όλη τη διαδικασία ανέκυψαν προβλήματα τα οποία όμως με τροποποίηση της διαδικασίας ή την βοήθεια της τεχνολογίας με χρήση κάποιας συσκευής ή διαδικασίας ήδη έτοιμης αντιμετωπίστηκαν. Ως αποτέλεσμα ήταν η επιβεβαίωση της δυνατότητας κατασκευής ενός αυτόνομου πλοίου υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας το οποίο δύναται να ακολουθεί συγκεκριμένες επιχειρησιακές διαδικασίες ώστε ασφαλώς να προσεγγίσει, να εκτελέσει τις προκαθορισμένες εργασίες και να απομακρυνθεί από αυτήν ασφαλώς.

## **Abstract**

Although autonomous shipping even as a term counts a few years of existence, the significant progress achieved so far has resulted in shipping companies around the world to see in it their future, no matter what kind of ships they operate. In this context, the present work deals with the autonomous offshore vessel for the support of offshore oil and gas extraction platform and specifically with the definition of the Operational procedures for the successful approach to it. The peculiarity in relation to the work of any other autonomous ship is due to the fact that its work concerns a constant movement close to a high-risk construction in contrast to ocean-going route. At the same time, however, it is on the high seas where the severe weather conditions further complicate its work.

Solving these particular problems, required combining the capabilities of the material with detailed procedures. For this reason, the achievements so far in the field of autonomous shipping were first investigated, then the existing possibilities and the desired degree of autonomy were identified. It was then investigated whether the systems that have been developed specifically for the platform support ships but also for greater safety in the field of shipping, can ensure the digital perception of the environment and the substitution of people in the operation of the ship. After the possibility for the above was confirmed, a vessel's plan that integrates all the required systems was drawn up and the peculiarities were pointed out. At this stage, errors self-checking system was determined. The operational procedures were then drawn up so that the ship, upon arrival in the area of the platform, could safely approach it, perform the predetermined tasks and then move away. This process has been adapted to the procedures already followed, which have emerged as the denaturation of long experience and the accidents occurred the last decades. Thus, in the already step-by-step process, individual stages were identified which were transformed into individual functions. In them, meeting a criterion translates into right or wrong output while setting limits on a measurable size leads to specific actions.

Problems arose throughout the process but were addressed by modifying the process or with the help of technology using a device or process already ready. The result was the confirmation of the possibility of building an autonomous offshore supply vessel which can follow specific operational procedures to safely approach and perform the predetermined tasks and safely move away from it.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	- 1 -
Περίληψη.....	- 2 -
Abstract .....	- 3 -
Περιεχόμενα .....	- 4 -
Εισαγωγή .....	- 5 -
Κεφάλαιο 1 .....	- 11 -
1.1. <b>Αυτόνομα συστήματα γενικά/ εξέλιξη αυτών</b> .....	- 11 -
1.2. <b>Αυτόνομα ναυτικά συστήματα</b> .....	- 12 -
1.2.1. <b>Η κατάσταση σήμερα</b> .....	- 12 -
1.2.2. <b>Είδη αυτονομίας (ανάλογα με τον βαθμό ελέγχου)</b> .....	- 15 -
1.2.3 <b>Προβληματισμοί ως προς την ασφάλεια – νέοι κανονισμοί</b> .....	- 16 -
1.3 <b>Εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για την βελτίωση της ασφάλειας στη ναυτιλία</b> .....	- 17 -
1.3.1 <b>Δορυφορικά συστήματα</b> .....	- 17 -
1.3.2 <b>Επίγεια συστήματα</b> .....	- 18 -
1.3.3 <b>Αυτόνομα υποσυστήματα</b> .....	- 23 -
1.3.4 <b>Maritime Situational Awareness</b> .....	- 25 -
1.4 <b>Διαδικασίες για πλοία που εργάζονται πλησίον και εντός ζώνης ασφαλείας εξεδρών εξόρυξης πετρελαίου και αερίου</b> .....	- 28 -
Κεφάλαιο 2 .....	- 32 -
2.1 <b>Δημιουργία αυτόνομου πλοίου υποστήριξης εξέδρας</b> .....	- 32 -
2.2 <b>Επιλεγείσα διάταξη συστημάτων αυτόνομου σκάφους υποστήριξης πλωτής εξέδρας</b> .....	- 39 -
2.3 <b>Θέματα ασφαλείας σε αυτόνομα συστήματα</b> .....	- 43 -
Κεφάλαιο 3 .....	- 46 -
3.1 <b>Επιχειρησιακές διαδικασίες</b> .....	- 46 -
3.2 <b>Διαγράμματα ροής φάσεων προσέγγισης</b> .....	- 53 -
Κεφάλαιο 4 .....	- 58 -
4.1 <b>Αποτελέσματα</b> .....	- 58 -
4.2 <b>Προτάσεις</b> .....	- 59 -
4.3 <b>Περαιτέρω ενέργειες</b> .....	- 59 -
4.4 <b>Συμπεράσματα</b> .....	- 60 -
Βιβλιογραφία .....	- 61 -

## Εισαγωγή

Η ανάγκη εκμετάλλευσης των πλουτοπαραγωγικών πηγών του θαλάσσιου υπεδάφους και ιδιαίτερα των υδρογονανθράκων, έχει οδηγήσει στην εγκατάσταση στην ανοικτή θάλασσα και στην παράκτια ζώνη πολλών χιλιάδων εγκαταστάσεων που αφορούν στην πλειονότητά τους εγκαταστάσεις εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου όπως και εγκαταστάσεις σχετιζόμενες με αυτές. Οι εγκαταστάσεις αυτές όπως και οι αντίστοιχες στην ξηρά, έχουν απαιτήσεις διασύνδεσης για λόγους παροχέτευσης της παραγωγής τους, για εφοδιασμό τους με μέσα και υλικά απαραίτητα για τη λειτουργία τους, για παροχή βοήθειας σε ιδιαίτερες περιπτώσεις αλλά και μεταφορά προσωπικού.

Οι απαιτήσεις αυτές, σε μεγάλο βαθμό, πρέπει να ικανοποιούνται σε συγκεκριμένα / περιορισμένα χρονικά διαστήματα ώστε να μην διακοπεί η παραγωγή αλλά και να μην κινδυνεύσει η ασφάλεια. Αυτές καλύπτονται σε ένα βαθμό και ανάλογα με τη θέση της εγκατάστασης ως προς την ακτή και τη φύση της καλυπτόμενης ανάγκης, από αέρος με χρήση ελικοπτέρων και μόνο εφόσον υπάρχει η ικανότητα υποδοχής του. Ο συντριπτικά μεγαλύτερος όγκος των αναγκών αυτών καλύπτεται από ειδικά πλοία επιφορτισμένα με το έργο αυτό και τα οποία σε ένα μεγάλο βαθμό μπορούν να θεωρηθούν οργανικά μέσα των εξεδρών.

Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι μέσω της προσέγγισης σε κατάλληλη απόσταση (λίγων μέτρων) από την εξέδρα σε συγκεκριμένες θέσεις και ακολούθως εκτελείται η φορτοεκφόρτωση μέσω γερανών ή άλλων μέσων (π.χ. σωλήνες).

Το είδος και οι ποσότητες των φορτίων που απαιτούνται να μεταφερθούν (καύσιμα, πόσιμο ύδωρ, εργαλειακός εξοπλισμός κ.α.) αλλά και η ανάγκη τα πλοία υποστήριξης να ταξιδεύουν αλλά και να εκτελούν το έργο τους υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες οδήγησε στην κατασκευή πλοίων εκτοπίσματος άνω των 2500 tn ή και ανάλογα την περιοχή, της τάξης των 7000 tn (Βόρεια θάλασσα). Ανωτέρω σε συνδυασμό με την δυσκολία που συνεπάγεται η προσέγγιση και η παραμονή πλησίον της εξέδρας καθαυτή έχει ως συνέπεια τα πλοία αυτά να αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για την ασφάλεια των εξυπηρετούμενων εγκαταστάσεων. Αναλογιζόμενοι την συνήθως εβδομαδιαία χρήση αυτών μη δυνάμενη να μειωθεί σημαντικά περαιτέρω όπως προκύπτει από πολυάριθμες μελέτες όπως των Bjørnar Aas κ.α. (2009) τότε προκύπτει ότι είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες κινδύνου για τις εξέδρες ο οποίος και πρέπει να μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό. Προς το σκοπό αυτόν έχουν εκτελεστεί πολλές προσπάθειες βελτίωσης της δυνατότητας επιβίωσης της εξέδρας από μια σύγκρουση αλλά κυρίως για την αποφυγή αυτής, οι κυριότερες των οποίων είναι:

- (1) Η θέσπιση κανόνων που διέπουν την κίνηση αλλά και την εργασία των πλοίων αυτών εντός μια ζώνης ασφαλείας 500m περίξ της υπεράκτιας εγκατάστασης ή πλοίου που ασχολείται με εργασίες

εξόρυξης. Η λογική των κανόνων αυτών είναι ότι για να εισέλθει εντός αυτής και τελικά να προσεγγίσει την εγκατάσταση ένα πλοίο θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις που αφορούν σε υλικό και διαδικασίες προετοιμασίας και ελέγχων. Η δε τελική έγκριση δίδεται από τον επικεφαλής επί της εξέδρας.

(2) Η εκπόνηση σεναρίων πρόσκρουσης πλοίου υποστήριξης με διάφορους τύπους εξέδρας και εκτέλεση πειραμάτων επί των προτεινόμενων κατασκευαστικών λύσεων. Με τον τρόπο αυτό έχουν εξαχθεί συμπεράσματα για την ενίσχυση συγκεκριμένων τμημάτων της εξέδρας με συγκεκριμένους τρόπους όπως και κατάλληλη κατασκευή τμημάτων των πλοίων αυτών ώστε να προκαλέσουν τη μικρότερη δυνατή ζημιά σε περίπτωση πρόσκρουσης και όπως αυτά φαίνονται στο Proceedings of the 6th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (Taylor & Francis Group, 2013) και όπως περιγράφουν ο Zhang κ.α (2015)

(3) Η κυριότερη προσπάθεια επικεντρώνεται στην παροχή στους ναυτικούς των μέσων ώστε μια δυσάρεστη εξέλιξη της προσπάθειας προσέγγισης και παραμονής πλησίον της εξέδρας να αποφευχθεί. Αυτό επιτυγχάνεται σε ένα βαθμό μέσω της παροχής εργαλείων για την παροχή ακριβέστερης θέσης του πλοίου απόλυτα αλλά και σχετικά ως προς την εξέδρα. Σε επόμενο στάδιο τα πλοία εξοπλίζονται με εγκατάσταση πρόωσης ικανή να διατηρεί την επιθυμητή θέση και αναπώριση ακόμα και υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες. Στη συνέχεια, με συνδυασμό των ανωτέρω δύο, τα πλοία αυτά δύναται να τηρούν την επιθυμητή θέση αυτόματα. Αυτό το τελευταίο, μετά από πολλά έτη επιτυχούς εφαρμογής και εξέλιξής του, είναι και η απόδειξη ότι σε ευρύτερο πλαίσιο ο αυτοματισμός έχει θέση σε μια τόσο μεγάλης σημασίας, από την άποψη της ασφάλειας, διαδικασία. Αντίστοιχα, τα συμπεράσματα από τα ατυχήματα μεταξύ πλοίων και εξεδρών μετά την εισαγωγή ανωτέρω τεχνολογιών στα πλοία ως παρατίθενται κατωτέρω δείχνουν τον δρόμο από τον αυτοματισμό στην αυτονομία.

Παρά τις όποιες προσπάθειες, οι προσκρούσεις πλοίων υποστήριξης στις πλατφόρμες αποτελούν τον τρίτο πιο πιθανό λόγο καταστροφής μιας εξέδρας ξεπερνώντας ακόμα και αυτόν μιας έκρηξης. Τα ατυχήματα αυτά συμβαίνουν κυρίως κατά τη διάρκεια των τμημάτων της διαδικασίας όπου ο ανθρώπινος παράγοντας παρεμβαίνει κατά το μέγιστο και είναι σε συνάφεια με το ποσοστό των ετήσιων ναυτικών ατυχημάτων που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα το οποίο σύμφωνα με μελέτη κυμαίνεται από 75% έως 96% (AGCS, 2017). Ως σφάλματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα δεν νοούνται μόνο αυτά που σχετίζονται με λάθη κατά τη λήψη απόφασης τη στιγμή που συνέβη το ατύχημα αλλά περιλαμβάνουν και λάθη τα οποία

οδήγησαν σε αυτό. Ως ανθρώπινο σφάλμα μπορούμε να ορίσουμε την λανθασμένη απόφαση, την εσφαλμένη εκτέλεση διαδικασίας ή την λανθασμένα μη εκτέλεση διαδικασίας/ πράξης έστω και αν αυτό οδηγήσει σε ατύχημα σε αργότερο χρόνο (Zhang Pengfei κ.α. (2016)). Με συνδυασμό των ανωτέρω και όσον αφορά ατυχήματα με πλοία που εργάζονται πλησίον εξεδρών εξόρυξης, ανθρώπινα σφάλματα είναι τόσο η έλλειψη εγρήγορσης ως προς την τήρηση ορθής σχετικής θέσης πλοίου - εξέδρας και η πιθανώς ελλιπής εκπαίδευση που οδήγησε σε αυτό όσο και η ανεπαρκής κάλυψη από κανονισμούς διαδικασία κατά την τέλεση της οποίας συνέβη το ατύχημα.

Αν και δεν είναι καταγεγραμμένο το σύνολο των ατυχημάτων μεταξύ πλοίων και εξεδρών, από τις δημοσιευμένες περιπτώσεις στις οποίες επιπρόσθετα παρατίθενται και αποτελέσματα ανάλυσης αιτίων, μπορούμε να έχουμε ένα δείγμα για την κατάσταση σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η συγκέντρωση και καταγραφή των στοιχείων αυτών στο πέρασμα των ετών γίνεται πληρέστερη και δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων. Η εγκυρότερη βάση δεδομένων είναι η Worldwide Offshore Accident Databank (WOAD) η οποία συγκροτείται από την Det Norske Veritas (DNV). Στοιχεία από τη δεκαετία του 1980 παρέχει και η ORION η οποία συντάσσεται από το UK Health & Safety Executive (HSE)/ Offshore Safety Division (OSD). Η κύρια λειτουργία τους είναι η δημιουργία συνθηκών ασφάλειας για την αποφυγή επανάληψης των αιτίων που οδήγησαν στα ατυχήματα. Τα στοιχεία των περισσότερων βάσεων δεδομένων δεν είναι προσβάσιμα στο ευρύ κοινό πλην όμως διατίθενται αρκετά εξαγόμενα συμπεράσματα.

Από τη μελέτη αυτών προκύπτει ότι ο αριθμός των ατυχημάτων που αφορά συγκρούσεις πλοίων και εξεδρών είναι σημαντικά μεγάλος με δεδομένες τις πιθανές καταστροφικές συνέπειες. Σύμφωνα με τις ανωτέρω δύο βάσεις δεδομένων και όπως παρουσιάζεται στο Proceedings of the ASME (2011), στο Ηνωμένο Βασίλειο, στο διάστημα 1980 έως 2001 είχαν συμβεί 177 ατυχήματα από «επαφή» πλοίου με εξέδρα έναντι 70 ατυχημάτων που αφορούσαν εκρήξεις που είναι βάση λογικής η πιο πιθανή για το είδος της εγκατάστασης αιτία ατυχήματος. Ο κατάλογος των σοβαρών ατυχημάτων έκτοτε συνεχίζει να μακραίνει όπως για παράδειγμα φαίνεται στα άρθρα (bbc.com, 2015) και (equinor.com, 2019).

Στη Νορβηγία, όπου οι κανονισμοί είναι διαχρονικά από τους πληρέστερους και αυστηρότερους του παγκόσμιου μέσου όρου, από το 1982 έως το 2010 είχαν αναφερθεί 115 συγκρούσεις με ποικίλη σοβαρότητα ενώ για 26 εξ αυτών που είχαν συμβεί στο διάστημα 2001-2010 κατέχονται πληρέστερα στοιχεία από την μετέπειτα διερεύνηση. Τα πιο σημαντικά εκ των τελευταίων από άποψη βαρύτητας αποτελεσμάτων αποτελούν οι συγκρούσεις επί των West Venture semi το 2004, Ekofisk 2/4-P jacket το 2005, Njord B FSU το 2006, Grane jacket το 2007, Ekofisk 2/4-W tripod jacket το 2009 και του Songa Dee semi το 2010. Από αυτά προκύπτει ότι παρά τη βελτίωση όσον αφορά τον αριθμό των ατυχημάτων σε σχέση με την περίοδο 1998-2001 η σοβαρότητα



αυτών την περίοδο 2004-2010 αυξήθηκε με τα αίτια να συνοψίζονται στα κάτωθι:

(1) Η κουλτούρα ασφάλειας στη ναυσιπλοΐα δεν είναι ικανοποιητική καθώς συχνά δεν ακολουθούνται οι διαδικασίες.

(2) Οι γέφυρες των πλοίων εφοδιάζονται με προηγμένα και πολύπλοκα συστήματα των οποίων τη χρήση δεν γνωρίζει επαρκώς το σύνολο του προσωπικού της γέφυρας. Τα πληρώματα βασίζονται σε υπερβολικό βαθμό στα συστήματα Dynamic Positioning (DP) με αποτέλεσμα να μην αντιλαμβάνονται εγκαίρως τα λάθη όταν προκύπτουν ώστε να τα διορθώσουν. Παρά τις προβλέψεις για την ύπαρξη δύο ατόμων στη γέφυρα προκύπτουν προβλήματα σχετικά με τον μεταξύ τους διαμοιρασμό αρμοδιοτήτων.

(3) Ο εξοπλισμός δεν είναι κατάλληλα προσαρμοσμένος στις ανάγκες των χρηστών και σε συνδυασμό με τους ανεπαρκείς περιορισμούς αυτού οδηγούν σε λάθη. Επιπρόσθετα παρατηρείται η τάση για τη δημιουργία όλο και περισσότερο πολύπλοκου εξοπλισμού στις γέφυρες ο οποίος καθίσταται δύσκολος στον ορθό χειρισμό του.

(4) Οι επι της εξέδρας υπεύθυνοι δεν παρακολουθούν/ ελέγχουν επαρκώς τα πλοία τα οποία εισέρχονται στη ζώνη ασφαλείας.

Όσον αφορά τις συνέπειες, αυτές περιλαμβάνουν σημαντικές απώλειες σε προσωπικό και μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις είτε από την προκληθείσα ζημιά καθαυτή και την απαιτούμενη αποκατάσταση της είτε από τη διακοπή λειτουργίας της εξέδρας και την απώλεια εσόδων. Σε πολλές περιπτώσεις η εξέδρα καταστράφηκε.

Για όλα τα ανωτέρω οι δραστηριοποιούμενοι στον χώρο ανταλλάσσουν πληροφορίες και καταρτίζουν κανόνες όπως τους North West European Area Guidelines (NWEA, 2009) και από το Φεβρουάριο 2020 η σύμπραξη των Norwegian Shipowners' Association, Norwegian Oil and Gas Association, Netherlands Oil & Gas Production Association, Danish Shipowners Association, Oil & Gas UK και United Kingdom Chamber of Shipping εξέδωσε το Guidelines for Offshore Marine Operations (GOMO) (2020).

Συνοψίζοντας, παρατηρείται ότι η πρόοδος στον τομέα του υλικού και των διαδικασιών που αφορούν την προσέγγιση, παραμονή και απομάκρυνση ενός πλοίου υποστήριξης σε μία εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου και αερίου είναι μεν μεγάλη πλην όμως όχι ικανή να αποτρέψει ή τουλάχιστον να μειώσει επαρκώς τον αριθμό και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι αύξηση της πολυπλοκότητας/ πληρότητας του υλικού και των κανόνων δεν δύναται να ακολουθηθεί από αντίστοιχη αύξηση των ικανοτήτων του ανθρώπου όση εκπαίδευση και αν του προσφερθεί.

Στον ευρύτερο τομέα της ναυτιλίας, με σκοπό τη μείωση των ατυχημάτων αλλά και του κόστους, ήδη γίνονται προσπάθειες ώστε να οδηγηθούμε από τα απλά συστήματα υποστήριξης απόφασης του χειριστή, στην αυτονομία κίνησης των πλοίων. Όλα δείχνουν ότι αυτό είναι το μέλλον της ναυτιλίας πλην όμως λόγω των κυρίως δυνητικών προβληματισμών που προκύπτουν δεν είναι σαφές το ακριβές χρονοδιάγραμμα της μετάβασης στα αυτόνομα πλοία.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το πρόβλημα της μετάβασης στην αυτόνομη κατεύθυνση των πλοίων υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας εξόρυξης πετρελαίου και αερίου στην υψηλής επικινδυνότητας διαδικασία προσέγγισης και παραβολής.

Στόχος είναι ο καθορισμός των **επιχειρησιακών διαδικασιών** ενός αυτόνομου offshore σκάφους για την επιτυχή προσέγγιση σε υπεράκτια εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου και αερίου. Για να επιτευχθεί ανωτέρω στόχος θα εκτελεσθούν τα ακόλουθα:

- (1) Η αναζήτηση των κρίσιμων δυνατοτήτων των αυτόνομων πλοίων (σε παράλληλη εξέταση με τα χειριζόμενα από ναυτικούς πλοία).
- (2) Η αναζήτηση των ήδη ανεπτυγμένων και εφαρμοσμένων τεχνολογιών σε συσκευές και αυτοματισμούς σχετικούς με την βελτίωση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας στη ναυτιλία γενικά αλλά και τις offshore επιχειρήσεις ειδικότερα.
- (3) Η αναγνώριση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών / προδιαγραφών των offshore supply vessels σχετικά με την ικανότητα να εργάζονται ασφαλώς πλησίον των εξεδρών.
- (4) Η αναζήτηση των διαδικασιών/ κανόνων για τη προσέγγιση και εργασία ενός offshore supply vessel σε μια εξέδρα και ιδιαίτερα των σημείων που προδιαγράφουν την ασφαλή εξέλιξη της διαδικασίας.
- (5) Ο συγκερασμός των χρησιμοποιούμενων αυτοματισμών και τεχνολογιών στα offshore supply vessels με τους βασικούς κανόνες και λειτουργίες που συναντάμε στα αυτόνομα πλοία ώστε να είναι εφικτή η λειτουργία ενός αυτόνομου πλοίου στον ιδιαίτερο από άποψη ασφαλείας εγγύς χώρο μιας εξέδρας.
- (6) Η χαρτογράφηση και καταγραφή των επιχειρησιακών διαδικασιών για την ασφαλή προσέγγιση και εργασία του αυτόνομου σκάφους στην εξέδρα με συνδυασμό όλων των ανωτέρω δυνατοτήτων υλικού και απαιτήσεων σε διαδικασίες και κανόνες ασφαλείας.

Με την επίτευξη του ανωτέρω στόχου θα έχει προδιαγραφεί η εφικτότητα αυτόνομης λειτουργίας ενός πλοίου υποστήριξης πλωτής εξέδρας. Ως γραμμή εκκίνησης θα χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχοντες κανονισμοί οι οποίοι σε μεγάλο βαθμό αποδεικνύονται πλήρεις και η ήδη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στα πλοία αυτού του είδους αλλά και στη ναυτιλία γενικότερα.

Αρχικά θα παρουσιαστεί η υφιστάμενη κατάσταση και οι προοπτικές στους τομείς οι οποίοι θα αναφερθούμε στη συνέχεια ως εργαλεία. Θα γίνει αναφορά σε έρευνες επί αυτόνομων συστημάτων και στην επιτευχθείσα αποτελεσματικότητά τους στη ναυτιλία. Θα εξεταστεί η πρόοδος στον τομέα των παρεχόμενων εργαλείων στη ναυτιλία γενικότερα τα οποία συντελούν στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας. Θα γίνει περιγραφή των θεσπισμένων διαδικασιών όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί έως σήμερα και η επιτευχθείσα κάλυψη όλων των απαραίτητων ενεργειών που συμπεριλαμβάνονται στη διαδικασία προσέγγισης και εργασίας πλοίων σε εξέδρες.

Έπειτα θα εξεταστούν οι τρόποι προσέγγισης επί των αυτόνομων συστημάτων στη θάλασσα και ιδιαίτερα των προβληματισμών που έχουν προκύψει λόγω δυνητικών κινδύνων και θα αιτιολογηθεί η επιλογή που έγινε για την προσέγγιση του παρόντος προβλήματος.

Στο κύριο τμήμα της εργασίας θα αναπτυχθεί με συγκεκριμένες επιμέρους δράσεις / λειτουργίες / απαιτήσεις το σύνολο των επιμέρους στοιχείων τα οποία όταν τεθούν σε συγκεκριμένη σειρά – αλληλουχία θα αποδώσουν τις επιχειρησιακές διαδικασίες ενός αυτόνομου offshore σκάφους προκειμένου αυτό να προσεγγίσει επιτυχώς σε υπεράκτια εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου και αερίου. Ως οδηγός στην ανωτέρω διαδικασία απαιτείται να είναι η κατά το δυνατόν αντιστοίχιση/ συνδυασμός των βασικών κανόνων και περιορισμών που υφίστανται στην διαδικασία όταν αυτή εκτελείται από ναυτικούς με αυτή που θα ακολουθηθεί στο αυτόνομο σκάφος καθώς η πρώτη είναι αποτέλεσμα πολυετούς εφαρμογής και βελτιώσεων που έχουν προκύψει από συμβάντα των οποίων το κόστος οφείλουμε να αποφύγουμε αρχικά. Μετά ικανό διάστημα εφαρμογής στο πεδίο ή σε περιβάλλον προσομοίωσης δύναται να προταθούν νεωτερισμοί στις βασικές και επιμέρους διαδικασίες που αφορούν την ασφάλεια.

## Κεφάλαιο 1

### 1.1. Αυτόνομα συστήματα γενικά/ εξέλιξη αυτών

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών και της επακόλουθης ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence-AI) παρατηρείται σε όλα τα στάδια αυτής και η αντίστοιχη ανάπτυξη συστημάτων τα οποία θα επιτελούν έργο το οποίο μέχρι πριν λίγα χρόνια μόνο ο άνθρωπος μπορούσε να επιτελέσει. Μέσα από τη διαρκή εξέλιξη και με κύριο συστατικό την AI κατορθώθηκε από τα απλά έργα, ο άνθρωπος να δύναται να αντικατασταθεί σε εργασίες ιδιαίτερα πολύπλοκες και απαιτητικές καθώς διαπιστώθηκε ότι «οι μηχανές» ήταν καταλληλότερες ενώ τελούνται εργασίες αδύνατες δίχως την χρήση της AI.

Έτσι λοιπόν η AI σε συνδυασμό με τους αυτοματισμούς που αρχικά αναπτύχθηκαν για τη διευκόλυνση των ανθρώπων και την ασφάλεια τους οδήγησε στο σήμερα όπου υπερσύγχρονα, αυτόνομα από την ενεργό καθοδήγηση του ανθρώπου οχήματα εκτελούν πλήθος δραστηριοτήτων ακόμα και στον τομέα των μεταφορών. Τα αυτόνομα οχήματα είναι πραγματικότητα σε πολλές χερσαίες μεταφορές όπως οι αυτοματοποιημένοι σιδηρόδρομοι, τα αυτοκινούμενα οχήματα μεταφοράς φορτίων εντός εγκαταστάσεων αλλά και τα οχήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στους λιμένες όπου πολλά μαζί εξ αυτών καθοδηγούνται από ένα σύστημα διαχείρισης των μεταφορών εσωτερικά του λιμένα.

Ακόμα και στον ιδιαίτερο από άποψη ασφάλειας χώρο των πτήσεων παρατηρούνται προσπάθειες ολοκλήρωσης σε ευρύ φάσμα της αεροπορικής τεχνολογίας τέτοιων χαρακτηριστικών αλλά και εφαρμογές των αυτόνομων συστημάτων σε μικρού μεγέθους άνευ χειριστή αεροσκάφη (Unmanned Aerial Vehicle UAV) πολλά από τα οποία έχουν ικανότητες πλήρως αυτόνομης κατεύθυνσης. Για να γίνει κατανοητή η υπάρχουσα ικανότητα και αποτελεσματικότητα έναντι του ανθρώπινου χειριστή στο χώρο των πτήσεων, αρκεί κανείς να παρατηρήσει ότι η αυτονομία καθοδήγησης εφαρμόστηκε πρώτα σε διαστημικά οχήματα. Κατ' αντιστοιχία, στον χώρο της θάλασσας, παραδόξως, οι ολοκληρωμένες εφαρμογές των αυτόνομων συστημάτων συναντώνται στο υποβρύχιο πεδίο όπου οχήματα εξερευνούν υπό αντίξοες συνθήκες τον υποθαλάσσιο χώρο.

Ήταν λοιπόν επακόλουθο η αυτονομία ως δυνατότητα να προκαλέσει το ενδιαφέρον του καινοτόμου και προοδευτικού χώρου της ναυτιλίας ο οποίος έχει πολλαπλά οφέλη να αποκομίσει από την επιτυχή ολοκλήρωση ενός τέτοιου συστήματος στα πλοία το οποίο όμως θα δύναται να ανταποκριθεί στις ιδιαίτερες προκλήσεις σε θέματα ασφάλειας και οικονομικής βιωσιμότητας.

## **1.2. Αυτόνομα ναυτικά συστήματα**

Για την περίπτωση που ερευνάται στην παρούσα εργασία είναι αναγκαίο να μελετηθούν οι έως τώρα προσπάθειες στην κατεύθυνση της αυτόνομης ναυτιλίας (Maritime Autonomous Surface Ships - MASS) και να αξιολογηθούν τα εξαγόμενα αποτελέσματα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν. Παρά το γεγονός ότι η φύση της εργασίας των πλοίων που χρησιμοποιούνται στις μελέτες για τα αυτόνομα πλοία είναι εντελώς διαφορετική από αυτή του πλοίου που εξετάζουμε (πλους κυρίως σε ανοικτή θάλασσα για μετάβαση από ένα μέρος σε ένα άλλο σε αντιδιαστολή με πλου πλησίον εξέδρας εξόρυξης και εκτέλεση «λεπτών» χειρισμών) εντούτοις πολλά είναι τα κοινά στοιχεία. Έτσι λοιπόν θα εξετάσουμε τις ολοκληρωμένες λύσεις που έχουν έως τώρα δοθεί με την αντίστοιχη αυτών αποτελεσματικότητα, τις μεθόδους προσέγγισης ιδιαίτερα στην κατασκευή των λογικών διαγραμμάτων και το συνδυασμό/ χρήση αισθητήρων και συσκευών με σκοπό την αποφυγή ίδιων λαθών.

### **1.2.1. Η κατάσταση σήμερα**

Από το 2012 έως το 2015 έλαβε χώρα το ερευνητικό πρόγραμμα με την ονομασία Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN) όπως αναλυτικά περιγράφεται στο (MUNIN results, 2016). Το εν λόγω πρόγραμμα ξεκίνησε ως μέρος της υλοποίησης του οράματος για τη ναυτική τεχνολογία το έτος 2020 του Waterborne Technology Platform (TP), ενός συμπλέγματος ευρωπαϊκών θαλάσσιων φορέων, για την μελλοντική ανάπτυξη της ναυτιλιακής βιομηχανίας με γνώμονα την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα γενικότερα. Πλην όμως το όνομά του προδίδει την ιδέα που βρισκόταν πίσω από το εγχείρημα αυτό το οποίο δεν ήταν άλλο από την ανάπτυξη τεχνολογίας που απαιτείται σε ένα αυτόνομο πλοίο. Από τα εξαγόμενα της εργασίας αυτής καθορίστηκε για πρώτη φορά ο ορισμός του αυτόνομου σκάφους ως αυτό το οποίο είναι εξοπλισμένο με αλληλοσυνδεόμενα συστήματα ελέγχου και τεχνολογία επικοινωνιών τέτοια που επιτρέπει την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και έλεγχο, συμπεριλαμβανομένων προηγμένων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και δυνατοτήτων για απομακρυσμένη και αυτόνομη λειτουργία.

Το ερευνητικό πρόγραμμα MUNIN ανέπτυξε τις τεχνικές έννοιες και απαιτήσεις για τη λειτουργία ενός μη επανδρωμένου σκάφους και διερεύνησε την δυνατότητα υλοποίησης από τεχνολογική, οικονομική και νομική άποψη.

Η τελική πρόταση αφορά ένα σκάφος το οποίο λειτουργεί αυτόνομα με χρήση καινοτόμων συστημάτων του οποίου η παρακολούθηση και ο έλεγχος των λειτουργιών του εκτελείται από έναν χειριστή ο οποίος θα βρίσκεται πολλά μίλια μακριά σε έναν σταθμό ελέγχου στην ξηρά. Ως τελικά εξαγόμενα του MUNIN είναι ο καθορισμός ως απαραίτητων των ακόλουθων συστημάτων και οντοτήτων:

(1) Ενός προηγμένου συστήματος αισθητήρων το οποίο επιτελεί το έργο της αναγνώρισης εικόνας επιφανείας μέσω συνεχούς συνδυασμού και ολοκλήρωσης των διατιθέμενων στοιχείων από όλα τα εγκατεστημένα ναυτιλιακά συστήματα αλλά και απεικονίσεων καμερών ημερινής και νυχτερινής όρασης.

(2) Ενός αυτόνομου ναυτιλιακού συστήματος το οποίο θα ακολουθεί ένα προκαθορισμένο δρομολόγιο με προκαθορισμένο βαθμό ελευθερίας χειρισμών σύμφωνα με τα προβλεπόμενα όσον αφορά τους ναυτικούς χειρισμούς όταν απαιτηθεί (π.χ. για αποφυγή σύγκρουσης ή αποφυγή επικίνδυνων καιρικών φαινομένων).

(3) Ενός αυτόνομου μηχανοστασίου με αυτόνομο έλεγχο όλων των βοηθητικών συστημάτων όπως και ενός επιπρόσθετου ελικοπτηδαλίου.

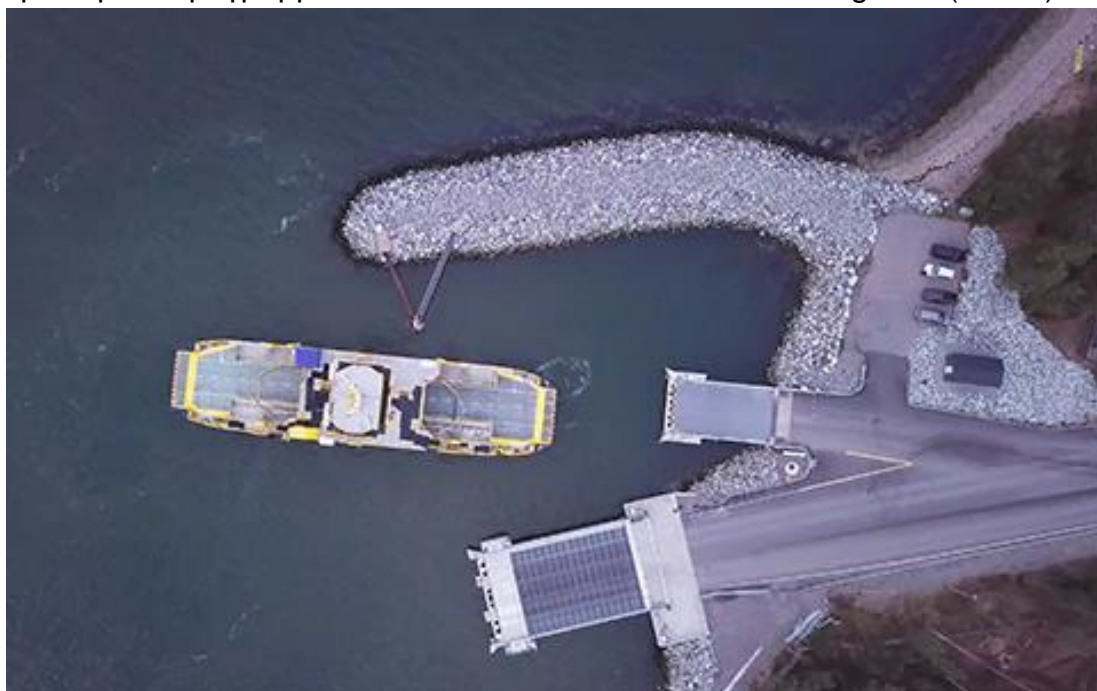
(4) Ενός σταθμού ελέγχου στην ξηρά από όπου θα παρακολουθούνται και θα ελέγχονται διαρκώς τα αυτόνομα σκάφη από κατάλληλους ναυτικούς κατασטרώματος και μηχανής.

Ενδεικτικό της δυναμικής του εγχειρήματος του αυτόνομου σκάφους είναι το γεγονός ότι από την εποχή του MUNIN έως το 2020 έχουν πραγματοποιηθεί πολλές ολοκληρωμένες ή σε εξέλιξη προσπάθειες με ποικίλα αποτελέσματα. Πέραν των μικρών αυτόνομων σκαφών που χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς σκοπούς και σκοπούς χαρτογράφησης πλησίον ακτών και μακριά από τις ναυτιλιακές οδούς πολλές εταιρίες εκτελούν προγράμματα που αφορούν σε κανονικού μεγέθους σκάφη για τη μεταφορά αγαθών ή επιβατών.

Από αυτά το πιο φιλόδοξο δείχνει να είναι αυτό των Kongsberg και SINTEF κόστους 27.6 εκατομμυρίων € και το οποίο έχει χρηματοδοτηθεί από την ευρωπαϊκή επιτροπή με 20 εκατομμύρια € στο πλαίσιο του «Autoship project» όπως αναφέρεται στο Autonomous Shipping Initiative for European Waters (AUTOSHIP , 2020). Αυτό αφορά στην εγκατάσταση και αξιολόγηση της αυτόνομης τεχνολογίας με δυνατότητα κατεύθυνσης από την ξηρά σε ένα πλοίο το οποίο ταξιδεύει παράκτια και στα φιόρδ (το φορτηγό πλοίο Eidsvaag Pioneer) και σε ένα άλλο βελγικό φορτηγό πλοίο το οποίο ταξιδεύει στα εσωτερικά κανάλια. Η επιτυχία αυτού του προγράμματος θα οδηγήσει στην οικονομικά προσιτή μετατροπή ήδη υφιστάμενων πλοίων σε αυτόνομα τα οποία θα δύνανται να εκτελούν μικρούς παράκτιους πλόες αλλά πλόες και στα κανάλια της Ευρώπης.

Η Rolls-Royce με τη Finferries όπως αναλυτικά αναφέρεται στο (Rolls Royce, 2018) πραγματοποίησαν το Δεκέμβριο του 2018 τη μετάβαση του ferry «Falco» από το Parainen στο Ναυνο, Νότια του Turku στη Φινλανδία (Εικόνα 1.1). Το ferry πλοηγούταν αυτόνομα ακόμα και σε θέματα αποφυγής συγκρούσεων ενώ τμήμα της διαδρομής πραγματοποιήθηκε σε κατευθυνόμενη

λειτουργία. Οι δύο εταιρείες επι του παρόντος δραστηριοποιούνται στο ερευνητικό πρόγραμμα Safer Vessel with Autonomous Navigation (SVAN).



*Εικόνα 1.1: Το ferry «Falco» τον Δεκέμβριο 2018. (Rolls-Royce, 2018)*

Η Kongsberg σε κοινό πρόγραμμα με την Yara κατασκευάζουν το πρώτο αυτόνομο πλοίο εμπορευματοκιβωτίων μηδενικών ρύπων το Yara Birkeland. Πρόκειται για ένα ηλεκτροκίνητο σκάφος μήκους 80 μ. με στοιχεία όπως φαίνονται στο (KONGSBERG MARINE, 2017) το οποίο παραδόθηκε τον Φεβρουάριο του 2020. Πρόκειται αρχικά να λειτουργήσει πλοηγούμενο και αργότερα αυτόνομα συνδέοντας δύο εγκαταστάσεις της εταιρίας YARA σε σχετικά μικρή απόσταση (Εικόνα 1.2).



*Εικόνα 1.2: Το Yara Birkeland τον Νοέμβριο 2020 (Yara International, 2020).*

### 1.2.2. Είδη αυτονομίας (ανάλογα με τον βαθμό ελέγχου).

Η διεξαγωγή των ανωτέρω αλλά και πλήθους άλλων αντίστοιχων εγχειρημάτων οδήγησαν οργανισμούς σχετικούς με τη ναυτιλία και κυρίως με την ασφάλεια αυτής στην κατηγοριοποίηση της ναυτιλίας. Οι κατηγορίες που προέκυψαν ανάλογα με τον βαθμό/τρόπο απεξάρτησης της ναυτιλίας από τους εν πλω χειριστές και την μέσω δικτύου λειτουργία σύμφωνα με τους Lloyd's Register και το UK CODE OF PRACTICE συνδυαστικά αναφέρονται κατωτέρω.

(1) Επανδρωμένο: Το σκάφος ελέγχεται πλήρως από ναυτικούς που επιβαίνουν σε αυτό έστω και εάν υφίσταται αριθμός αυτοματισμών στα συστήματα του πλοίου δίχως αυτό να συνιστά εργαλείο υποστήριξης στη λήψη απόφασης.

(2) Επανδρωμένο με υποστήριξη στη λήψη απόφασης: Όλες οι ενέργειες επί του σκάφους αναλαμβάνονται από το προσωπικό επί αυτού αλλά με υποβοήθηση από ένα σύστημα υποστήριξης λήψης απόφασης. Αριθμός αυτοματισμών και συστημάτων όπως αυτό του DP επηρεάζει την κίνηση και τον καθορισμό του δρομολογίου.

(3) Επανδρωμένο με υποστήριξη στην απόφαση από εντός και εκτός του πλοίου συστήματα: Όλες οι ενέργειες επί του σκάφους αναλαμβάνονται από το προσωπικό επί αυτού αλλά με υποβοήθηση και επηρεασμό από ένα σύστημα υποστήριξης λήψης απόφασης το οποίο δέχεται δεδομένα από τα επί αλλά και εκτός του σκάφους συστήματα. Οι τομείς που αυτό το σύστημα προτείνει και εκτελεί δραστηριότητες είναι όπως και στη προηγούμενη κατηγορία πλην όμως δίδει πληροφορίες που είναι αποτέλεσμα πιο σύνθετης υπολογιστικής διεργασίας.

(4) Κατόπιν εξουσιοδότησης: Το πλοίο πλέον λαμβάνει αποφάσεις και μπορεί να εκτελεί αυτόνομα ορισμένες λειτουργίες. Με τους κατάλληλους αισθητήρες αλλά και με πληροφορίες από εκτός του πλοίου πηγές μπορεί να «συνθέσει» το περιβάλλον, να αναφέρει την κατάστασή του και να καθορίσει τις επόμενες ενέργειες αναφέροντας την πρόθεσή του. Αποφάσεις που έχουν μεγάλη επίδραση εκτελούνται με τρόπο που δίδουν σε ένα χειριστή επί του πλοίου τη δυνατότητα σε ικανό χρόνο πριν την εκτέλεση να παρεμβληθεί και να παρακάμψει αυτές αν απαιτείται. Η πρωτοβουλία δηλαδή προέρχεται από το πλοίο και η λήψη αποφάσεων μοιράζεται μεταξύ του χειριστή και του πλοίου.

(5) Παρακολούθηση εξ αποστάσεως: Το πλοίο με τους κατάλληλους αισθητήρες αλλά και επικουρικά με πληροφορίες από εκτός του πλοίου πηγές μπορεί να «συνθέσει» το περιβάλλον, να «αντιλαμβάνεται» την κατάστασή του και να καθορίσει τις επόμενες ενέργειες δίδοντας τη



δυνατότητα επίβλεψης από ένα σταθμό ξηράς αλλά και από ένα επι του πλοίου τερματικό από όπου δύναται να γίνει παράκαμψη του αυτόνομου συστήματος. Μπορεί να εκτελεί αυτόνομα όλες τις απαιτητές λειτουργίες δίχως πρωτύτερη εξουσιοδότηση.

(6) Πλήρως αυτόνομο: Το πλοίο διαθέτει τους κατάλληλους αισθητήρες ώστε μπορεί να «συνθέσει» το περιβάλλον, να «αντιλαμβάνεται» την κατάστασή του και να καθορίσει/ εκτελέσει τις επόμενες ενέργειες. Αυτές θα είναι στο πλαίσιο των δυνατοτήτων και των περιορισμών του συστήματος δίχως όμως να απαιτείται λήψης άδειας πρωτύτερα αλλά και δίχως να υπάρχει δυνατότητα παράκαμψης.

Αντίστοιχα ο IMO (2019), επι του παρόντος, έχει αναγνωρίσει τους ακόλουθους βαθμούς αυτονομίας πλοίων:

(1) Πρώτος βαθμός: Πλοίο με αυτοματοποιημένες διαδικασίες και υποστήριξη στη λήψη απόφασης. Όλες οι ενέργειες επί του σκάφους αναλαμβάνονται από το προσωπικό ενώ εκτελείται αριθμός αυτοματοποιημένων άνευ ελέγχου διαδικασίες με το προσωπικό να δύναται να αναλάβει την εκτέλεσή τους αν απαιτηθεί.

(2) Δεύτερος βαθμός: Πλοίο ελεγχόμενο από ένα σταθμό εκτός αυτού. Επι του πλοίου υφίσταται προσωπικό να αναλάβει τη λειτουργία του εφόσον απαιτηθεί.

(3) Τρίτος βαθμός: Πλοίο ελεγχόμενο από ένα σταθμό εκτός αυτού. Επι του πλοίου δεν υφίσταται προσωπικό.

(4) Τέταρτος βαθμός: Πλοίο πλήρως αυτόνομο. Το σύστημα ελέγχου του πλοίου λαμβάνει τις αποφάσεις και εκτελεί τις απαιτούμενες ενέργειες.

### **1.2.3 Προβληματισμοί ως προς την ασφάλεια – νέοι κανονισμοί.**

Ο τομέας της ναυτιλίας σε συνάφεια με τη σημαντικότητα και τη δυναμικότητά του διέπεται από ένα πλήθος κανονισμών και διατάξεων που σκοπό έχουν την μεγιστοποίηση της ασφάλειας μέσω της κοινής υιοθέτησης σε παγκόσμιο επίπεδο κοινών κανόνων και πρακτικών. Τα πολυάριθμα ερευνητικά αλλά και βιομηχανικά προγράμματα περί των αυτόνομων σκαφών που λαμβάνουν χώρα την τελευταία δεκαετία κατέδειξαν την ανάγκη να θεσπιστούν νέοι κανόνες που θα διέπουν την εκτέλεση των δοκιμών αλλά και τη λειτουργία των αυτόνομων σκαφών. Επι του παρόντος, τέτοιοι κανονισμοί έχουν θεσπιστεί μεμονωμένα από χώρες στις οποίες είναι σε εξέλιξη προγράμματα σχετικά με την αυτόνομη ναυτιλία (Ηνωμένο Βασίλειο, Νορβηγία)

ενώ τον Σεπτέμβριο του 2019 ειδικοί από όλο τον κόσμο συγκεντρώθηκαν στον IMO για να συζητήσουν τα σχετιζόμενα με τα Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). Το αποτέλεσμα αυτής της πρώτης διατμηματικής ομάδας εργασίας για τα MASS ήταν να συζητηθούν τα σχετικά αποτελέσματα, χρησιμοποιούμενοι μέθοδοι από τις χώρες μέλη με σχετική εμπειρία και να προετοιμαστεί σχετική αναφορά προκειμένου αυτή να υποβληθεί στη Maritime Safety Committee (MSC) κατά την 102η συνεδρία της η οποία εκτελέστηκε μέσω τηλεδιάσκεψης το Νοέμβριο 2020 δίχως να υπάρξει πρόοδος.. Επίσης ο Bureau Veritas εξέδωσε κατευθυντήριες οδηγίες σχετικά με την αυτόνομη ναυτιλία και την αξιολόγηση εν λόγω συστημάτων καλύπτοντας ένα μεγάλο φάσμα αυτής όπως θέματα κανονισμών, υλικού, οργανωτικά αλλά και ασφάλειας (2017)

Στον κανονισμό CG-0264 του DNVGL (Autonomous and remotely operated ships) επισημαίνονται τα σημεία των διαφόρων διεθνών κανονισμών που διέπουν τη ναυτιλία, όπου η μετάβαση στα αυτόνομα πλοία οδηγεί σε μη εκπλήρωση αυτών και προτείνει τρόπους με τους οποίους τα αυτόνομα πλοία δύναται να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις.

Καθώς με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία έτη στα πλοία εγκαθίστανται όλο και περισσότεροι αυτοματισμοί σε συστήματα, ακόμα και σε αυτά που θεωρούνται κρίσιμα για την ασφάλεια και η μεταξύ τους διαλειτουργικότητα (cyber-enabled systems) οδηγεί σε ένα δικτυοκεντρικό σύστημα, οι Lloyd's Register εξέδωσαν οδηγίες για την ασφάλεια των εν λόγω συστημάτων (2017). Σε αυτές κατηγοριοποιούνται τα συστήματα και τα πλοία ανάλογα με το βαθμό αυτονομίας τους και τη δυνατότητα παρεμβολής τους από κάποιον χειριστή και αναγνωρίζονται οι αντίστοιχες κατηγορίες σε πλήρη αντιστοιχία με την κατάταξη των αυτόνομων πλοίων κατά IMO. Αναγνωρίζονται τα πιθανά προβλήματα ασφάλειας και καθορίζονται διαδικασίες και απαιτήσεις προκειμένου ένα τέτοιο σύστημα/ πλοίο να αξιολογηθεί ως ασφαλές.

### **1.3 Εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για την βελτίωση της ασφάλειας στη ναυτιλία**

#### **1.3.1 Δορυφορικά συστήματα**

Στον καινοτόμο χώρο της ναυτιλίας εφαρμόζονται διαχρονικά όλες οι τελευταίες τεχνολογίες, στον βαθμό που αυτό είναι δυνατό, αλλά και πολλές αναπτύσσονται ειδικά για χρήση σε αυτόν. Ο κύριος σκοπός είναι η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη ασφάλεια στο επικίνδυνο θαλάσσιο περιβάλλον με τα επακόλουθα οικονομικά οφέλη. Από τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες και τις υπάρχουσες συσκευές θα ξεχωρίσουμε ορισμένες οι οποίες συνδυαζόμενες μπορούν να κάνουν το όνειρο της πλήρους αυτονομίας πραγματικότητα και ειδικότερα της εργασίας σε κοντινή απόσταση από μία εξέδρα εξόρυξης.

Η δυνατότητα εύρεσης της γεωγραφικής θέσης ήταν το διαχρονικό ζητούμενο για τους ναυτικούς ενώ με την λειτουργία πολλών διαφορετικών δορυφορικών συστημάτων από τα μέσα της δεκαετίας του 20ου αιώνα και την ευρεία διασπορά αυτών από τα τέλη αυτού έπαψε να αποτελεί προβληματισμό. Πλέον τα εμπορικού τύπου συστήματα παρέχουν ακρίβεια της τάξης εκατοστών του μέτρου σε πραγματικό χρόνο ακρίβεια η οποία με τη χρήση διαφορικού τύπου συστήματα επιτυγχάνει ακρίβεια μεγαλύτερη από την απαιτητή στην εξεταζόμενη περίπτωση. Η διαθεσιμότητα ενός τέτοιου συστήματος είναι αξιοσημείωτη πλην όμως υπάρχουν περιπτώσεις όπου το σήμα είτε λόγω συνθηκών διάδοσης είτε λόγω θέσης δεν είναι ικανό για την αδιάλειπτη παροχή της θέσης του δέκτη. Για τον λόγο αυτό ένας δέκτης πρέπει να δύναται να λαμβάνει σήμα από περισσότερα του ενός δορυφορικά συστήματα. Για την περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο κάποιος εκ των παρόχων διακόψει τη διάθεση του συστήματός του έχουν αναπτυχθεί ξεχωριστά συστήματα τα οποία είναι στον έλεγχό τους (Η.Π.Α., Ρωσία, Κίνα, Ευρωπαϊκή Ένωση). Το τελευταίο δρα θετικά για τη ναυτιλία καθώς έτσι ένα δορυφορικό σύστημα εύρεσης θέσης αποκτά ανθεκτικότητα. Τέλος, δεν πρέπει να αγνοείται ο κίνδυνος αλλοίωσης σήματος με κακόβουλο σκοπό η οποία δύναται να εκτελεστεί με συσκευές μικρού κόστους και εύκολες στη κατασκευή.

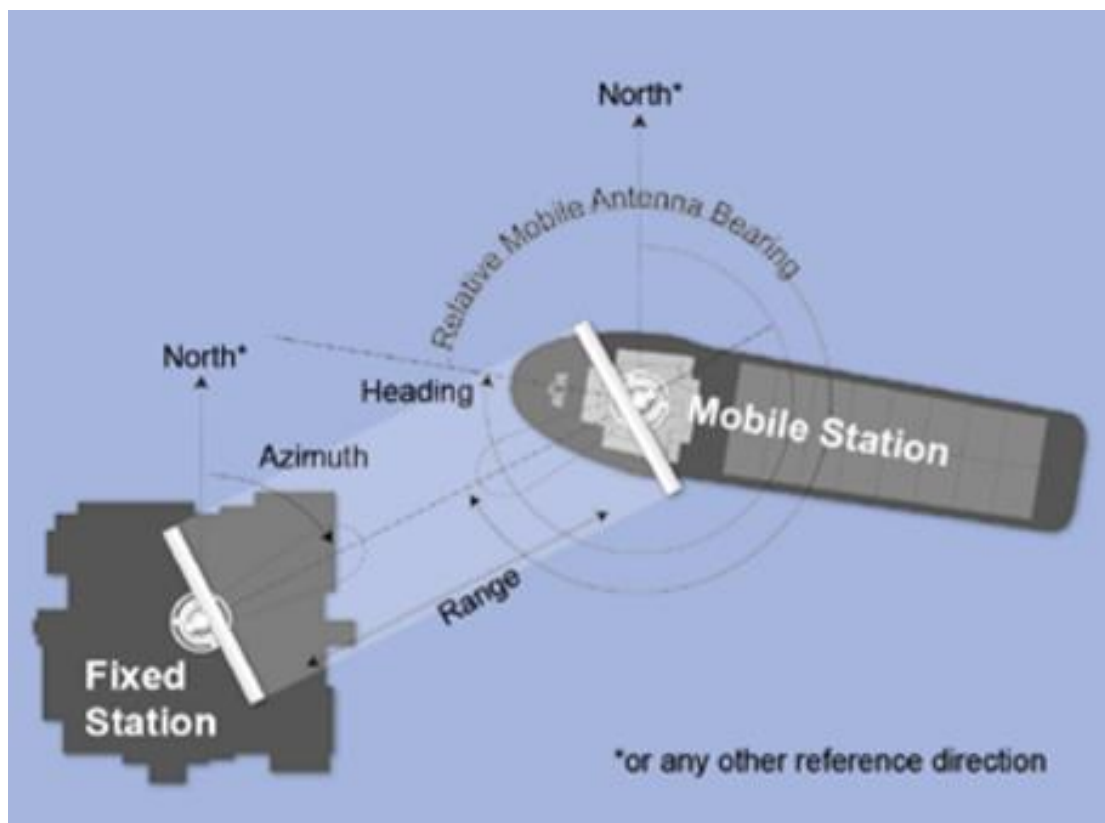
### **1.3.2 Επίγεια συστήματα**

Για την εξασφάλιση της αδιάλειπτης παροχής θέσης ιδιαίτερα σε περιοχές όπου ο πλους μόνο με αναμέτρηση ακόμα και για μικρό χρονικό διάστημα δεν ικανοποιεί τα θέματα ασφάλειας, έχουν αναπτυχθεί συστήματα ανεξαρτημένα από το ασθενές δορυφορικό σήμα. Για τις περιπτώσεις αυτές όπου απαιτείται κυρίως η σχετική θέση ενός πλοίου ως προς τον περιβάλλοντα χώρο ή άλλες κατασκευές, τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται στην ακριβή μέτρηση απόστασης από γνωστά σημεία. Για την επίτευξη της μέτρησης και ανάλογα της «τάξης» της επιθυμητής απόστασης και τις διάφορες αναμενόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες διακρίνουμε συστήματα τα οποία λειτουργούν στο φάσμα των RF ή των LASER. Για τα πλοία τα οποία εργάζονται στην εγγύς περιοχή μιας πλωτής ή πακτωμένης κατασκευής στην ανοικτή θάλασσα, διατίθενται συστήματα για την εύρεση της σχετικής τους θέσης με ακρίβεια, τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος αποστάσεων και καιρικών συνθηκών με χρήση ποικίλων αισθητήρων. Κατωτέρω αναφέρονται συστήματα δύο εταιριών τα οποία παρουσιάζουν πληρότητα, όσον αφορά σχετικές με τη θέση του αυτόνομου πλοίου της παρούσας εργασίας απαιτήσεις.

(1) Το πρώτο είναι ένα σύστημα της GUIDANCE MARINE το οποίο μπορεί να εξοπλιστεί με τα κατωτέρω υποσυστήματα και αισθητήρες:

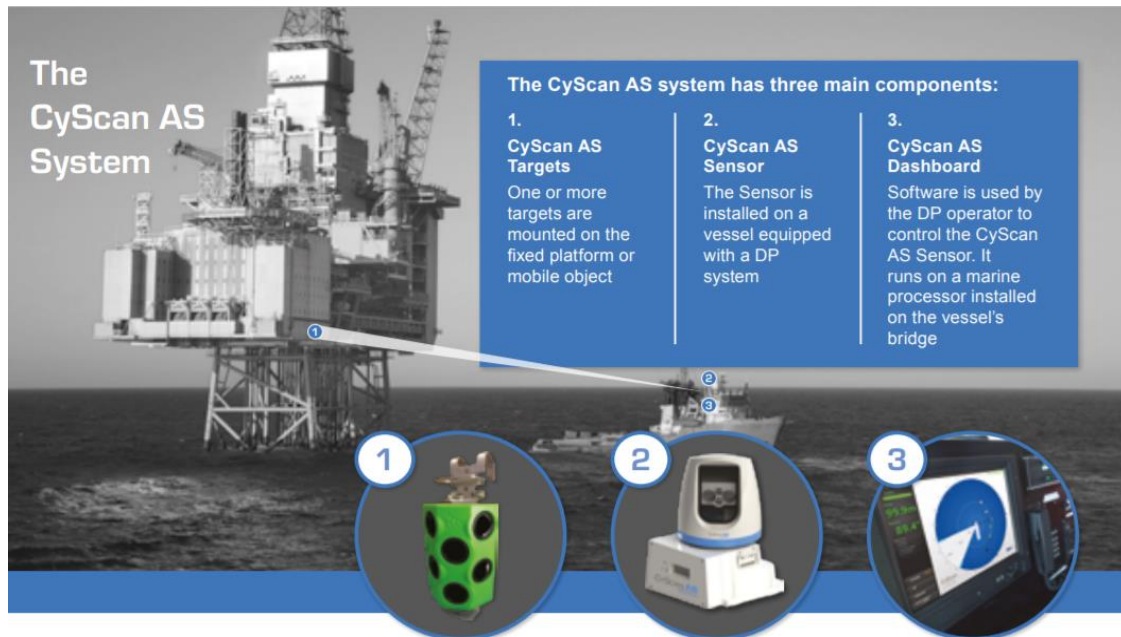
(α) Το Artemis Mk6, το οποίο είναι ένα σύστημα σχετικής θέσης που λειτουργεί σε συχνότητες μικροκυμάτων για χρήση σε μεγάλες

αποστάσεις (έως 10.000μ). Παρέχει την ακριβή απόσταση και σχετική διόπτευση ενός πλοίου που φέρει την μία κεραία σε σχέση με επιλεγμένο σημείο μια πλωτής εξέδρας όπου εγκαθίσταται μια ακόμα ίδια. Η λειτουργία του επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας ενός CW σήματος μεταξύ των δύο κεραιών (Διάγραμμα 1.1). Σημαντικό στοιχείο αυτού του είδους συστημάτων είναι η δυνατότητα λειτουργίας υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες και σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών ενώ τα στοιχεία είναι διαθέσιμα και στα στις δύο θέσεις.



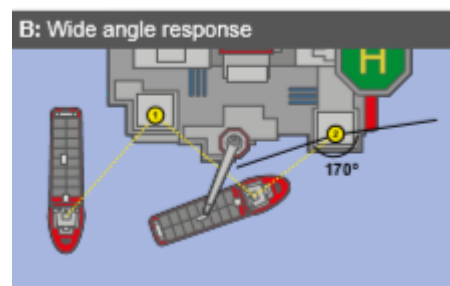
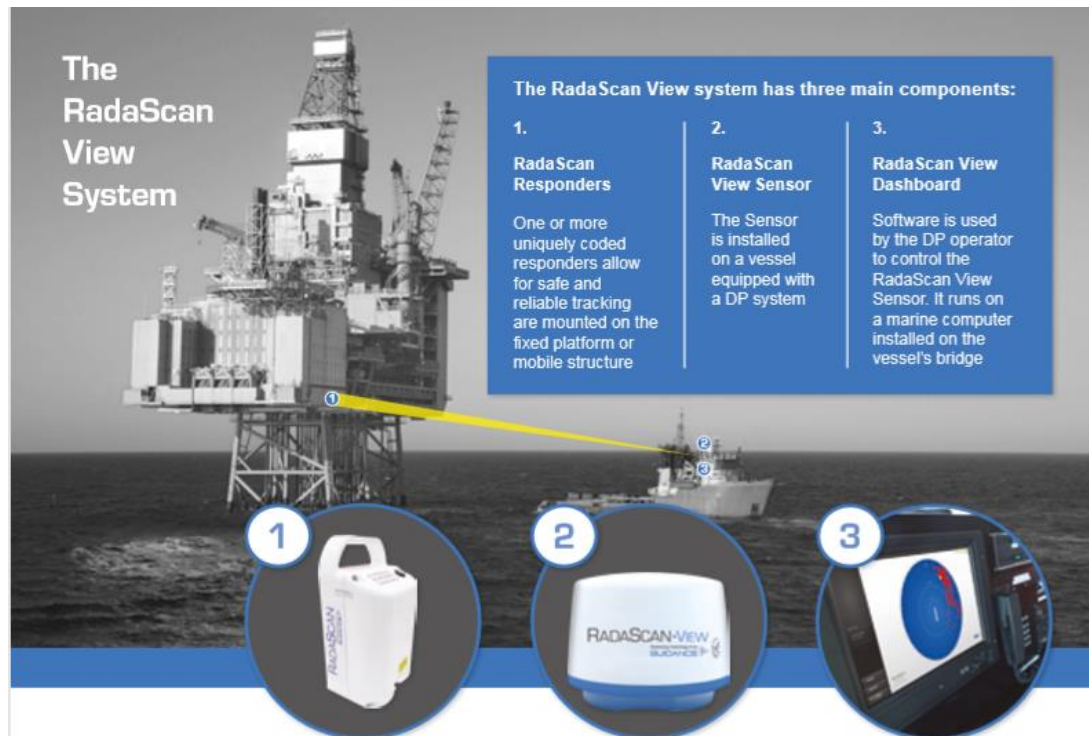
Διάγραμμα 1.1: Τρόπος λειτουργίας του Artemis Mk6 (Guidance Marine, 2021).

(β) Το CyScan AS το οποίο είναι ομοίως ένα σύστημα σχετικής θέσης που λειτουργεί στις συχνότητες LASER για χρήση σε μικρές και μεσαίες αποστάσεις (έως 2.500μ). Στο πλοίο υποστήριξης εγκαθίσταται ο πομπός ενώ σε συγκεκριμένα γνωστά σημεία στην πλατφόρμα οι ανακλαστήρες (Διάγραμμα 1.2). Το σύστημα παρέχει στον χειριστή επί του πλοίου την ακριβή απόσταση και σχετική διόπτευση μεταξύ αυτού και της πλατφόρμας. Σημαντικό στοιχείο αυτού του είδους συστημάτων είναι η δυνατότητα λειτουργίας σε συνθήκες εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών.



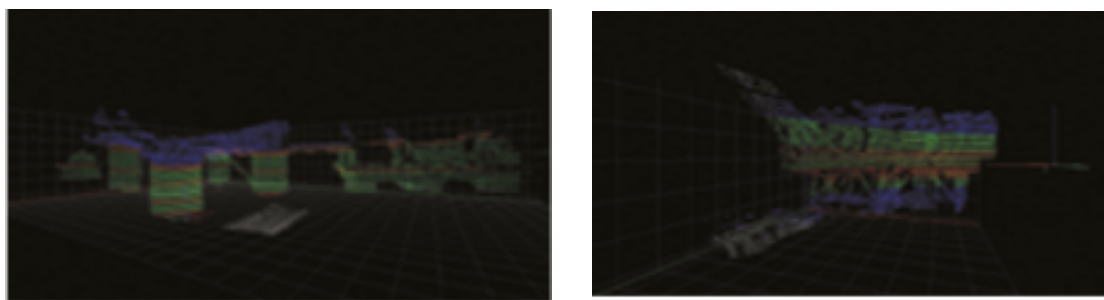
Διάγραμμα 1.2: Τρόπος λειτουργίας του CyScan AS. (Guidance Marine, 2021)

(γ) Το RadaScan-View, το οποίο είναι ένα σύστημα σχετικής θέσης που λειτουργεί σε συχνότητες μικροκυμάτων για χρήση σε μικρές αποστάσεις (έως 500μ καλύπτοντας τη ζώνη ασφαλείας της εξέδρας). Παρέχει την ακριβή απόσταση και σχετική διόπτρευση/θέση ενός πλοίου που φέρει την ενεργητική κεραία σε σχέση με επιλεγμένα σημεία μια πλωτής εξέδρας όπου εγκαθίστανται αριθμός ανακλαστήρων οι οποίοι αναγνωρίζονται μοναδικά. Το σύστημα καλύπτει τομέα 360° ενώ περισσότερα του ενός πλοία τα οποία βρίσκονται εγγύς μπορούν να χρησιμοποιούν τους ίδιους ανακλαστήρων(Διάγραμμα 1.3). Σημαντικό στοιχείο αυτού του συστήματος είναι η δυνατότητα παροχής στοιχείων μεγάλης ακρίβειας (εφάμιλλης των συστημάτων LASER) υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες και σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.



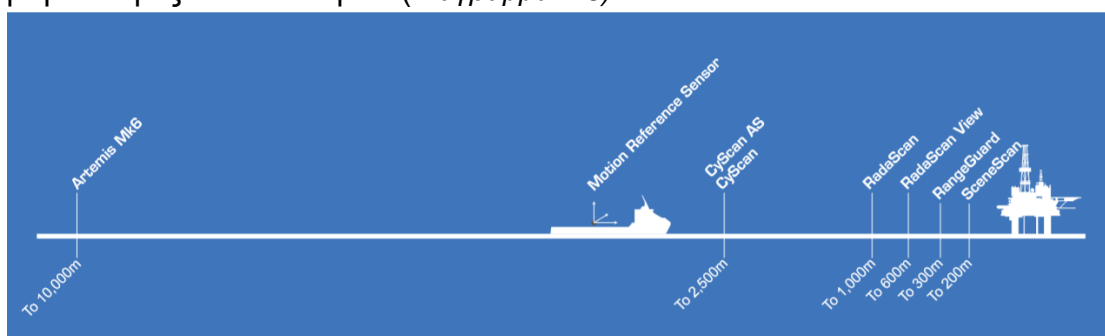
Διάγραμμα 1.3: Τρόπος λειτουργίας του RadaScan-View (Guidance Marine, 2021).

(δ) Το SceneScan το οποίο είναι ένα σύστημα σχετικής θέσης υψηλής ακρίβειας που λειτουργεί στις συχνότητες LASER για χρήση σε μικρές αποστάσεις (έως 200μ). Για τη λειτουργία του δεν απαιτούνται ανακλαστήρες ή άλλα εγκατεστημένα στοιχεία επί της κατασκευής, την οποία θα προσεγγίσει το πλοίο, αλλά δημιουργεί έναν χάρτη των εξωτερικών ορίων της κατασκευής και εντοπίζει την μετακίνηση σε σχέση με αυτόν(Διάγραμμα 1.4).



Διάγραμμα 1.4: Απεικόνιση του SceneScan (Guidance Marine, 2021).

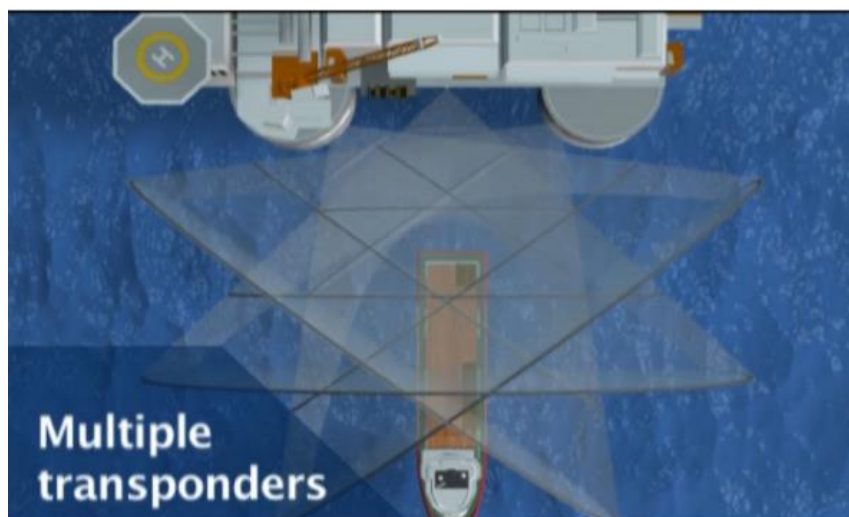
Τα ανωτέρω συστήματα της GUIDANCE MARINE μπορούν και καλύπτουν την κίνηση ενός πλοίου υποστήριξης πλωτής εξέδρας σε αποστάσεις μεγαλύτερες του απαιητού (Διάγραμμα 1.5).



Διάγραμμα 1.5: Απεικόνιση της χρησιμοποιούμενης συσκευής συναρτήσε της απόστασης (Guidance Marine, 2021)

(2) Το δεύτερο είναι ένα σύστημα της KONGSBERG το οποίο μπορεί να εξοπλιστεί με τα κατωτέρω υποσυστήματα και αισθητήρες:

(α) Το RADius το οποίο είναι ένα σύστημα σχετικής θέσης που λειτουργεί σε συχνότητες μικροκυμάτων για χρήση σε μικρές αποστάσεις καλύπτοντας τη ζώνη ασφαλείας της εξέδρας. Αποτελείται από αριθμό solid state ενεργητικών κεραιών οι οποίες καλύπτουν τομέα 90° εκάστη και αριθμό ανακλαστήρων οι οποίοι τοποθετούνται σε καθορισμένες θέσεις επι της πλωτής κατασκευής (Διάγραμμα 1.6). Σημαντικό στοιχείο αυτού του συστήματος είναι η δυνατότητα παροχής στοιχείων μεγάλης ακρίβειας (εφάμιλλης των συστημάτων LASER) υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες και σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.



Διάγραμμα 1.6α



Διάγραμμα 1.6β

*Διαγράμματα 1.6α και 1.6β: Απεικόνιση της χρήσης του RADius.*  
(Kongsberg Maritime, 2020)

(β) Το CyScan AS το οποίο είναι ομοίως ένα σύστημα σχετικής θέσης που λειτουργεί στις συχνότητες LASER για χρήση σε μικρές και μεσαίες αποστάσεις (έως 2.500μ). Στο πλοίο υποστήριξης εγκαθίσταται ο πομπός ενώ σε συγκεκριμένα γνωστά σημεία στην πλατφόρμα οι ανακλαστήρες. Το σύστημα παρέχει στον χειριστή επί του πλοίου την ακριβή απόσταση και σχετική διόπτρευση μεταξύ αυτού και της πλατφόρμας. Σημαντικό στοιχείο αυτού του είδους συστημάτων είναι η δυνατότητα λειτουργίας σε συνθήκες εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών.

### 1.3.3 Αυτόνομα υποσυστήματα

Για τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας αλλά και της αποτελεσματικότητας των ναυτικών έχουν αναπτυχθεί πλήθος αυτοματισμών και εργαλείων υποστήριξης απόφασης. Τα μηχανοστάσια είναι πλέον πλήρως



αυτοματοποιημένα και οι διαδικασίες ανάγκης εκτελούνται αυτόματα μετά έγκριση του χειριστή. Στις γέφυρες, αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχει το περιβάλλον (στεριές, άλλα πλοία, βάθη θαλάσσης) και σε συνδυασμό με τους παθητικούς και ενεργητικούς αισθητήρες που διαθέτει (ραντάρ, AIS, GPS) προειδοποιεί για επερχόμενες επικίνδυνες καταστάσεις και προτείνει κατάλληλους χειρισμούς. Η φόρτωση γίνεται πιο ασφαλής και γρήγορη μέσω προτάσεων από κατάλληλα υπολογιστικά συστήματα.

Για τον ευχερή και άμεσο έλεγχο των πλοίων, κυρίως κατά τη φάση των χειρισμών σε περιορισμένα ύδατα ή τη προσέγγιση σε έτερο πλοίο, κατασκευή τα πλοία εφοδιάζονται με έλικες κάθετης στον διαμήκη άξονα επενέργειας ή/και έλικες μεταβλητής ως προς το διάμηκες επενέργειας. Με τον τρόπο αυτό και τη βοήθεια ενός υπολογιστή, η επιθυμητή νέα θέση και πορεία ενός πλοίου επιτυγχάνεται με τον αυτόματο συντονισμό όλων των διατιθέμενων ελίκων δίχως τη χρήση ρυμουλκών σε ελάχιστο χρόνο και ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο ατυχήματος.

Η χρήση των συστημάτων ανωτέρω παραγράφου σε πλήρη κλίμακα και με μέγιστη ασφάλεια γίνεται πράξη από τα συστήματα DP τα οποία χρησιμοποιούνται από πλοία τα οποία απαιτείται να εκτελούν λεπτούς χειρισμούς και να διατηρούν την επιθυμητή θέση επι μακρό. Τα συστήματα αυτά ανάλογα των χαρακτηριστικών τους καλύπτουν τις απαιτήσεις και κατατάσσονται σε μία εκ των κατηγοριών DP. Οι κατηγορίες DP στις οποίες θα πρέπει να κατατάσσεται ένα αυτόνομο πλοίο που θα επιχειρεί σε υποστήριξη εξέδρας εξόρυξης είναι οι DP2 ή DP3. Σύμφωνα με την Maritime Safety Committee (MSC) του IMO (2017), και τον American Bureau of Shipping (2020) (DPS2 ή DPS3 αντίστοιχα) για τις κατηγορίες αυτές ισχύουν τα ακόλουθα:

(1) Στην κατηγορία DP2 κατατάσσονται σκάφη, τα οποία διαθέτουν σύστημα δυναμικής τήρησης θέσης το οποίο είναι ικανό να διατηρεί αυτόματα τη θέση και την αναπώριση του σκάφους εντός καθορισμένου «φακέλου» λειτουργίας υπό καθορισμένα μέγιστα όρια περιβαλλοντικών συνθηκών ακόμα και μετά την παρουσίαση μίας βλάβης/δυσλειτουργίας εξαιρουμένης της απώλειας διαμερίσματος/των του πλοίου (απώλεια πηγής ισχύος, αισθητήρα, υπολογιστικού συστήματος κ.α.).

(2) Στην κατηγορία DP3 κατατάσσονται σκάφη, τα οποία διαθέτουν δυνατότητες όμοιες με ανωτέρω αλλά τα οποία δύναται να ανταπεξέλθουν ακόμα και στην περίπτωση πλήρους απώλειας ενός διαμερίσματος από πυρκαγιά ή διαρροή.

(3) Στα συστήματα κατηγορίας DP2 και DP3 απαιτείται η ύπαρξη τουλάχιστον δύο ανεξάρτητων μεταξύ τους υπολογιστικών συστημάτων των οποίων ο σχεδιασμός δεν θα επιτρέπει την ταυτόχρονη πρόκληση βλάβης από ή σε μονάδες διασύνδεσης με τα συστήματα του πλοίου.

Στα συστήματα κατηγορίας DP3 απαιτείται η ύπαρξη ενός ακόμη ανεξάρτητου, ακόμα και χωροταξικά, υπολογιστικού συστήματος.

(4) Στα συστήματα κατηγορίας DP2 και DP3 απαιτείται η ύπαρξη ενός συστήματος «ανάλυσης συνεπειών». Αυτό ξεκινώντας με την υπόθεση ότι έχει συμβεί η χειρότερη από πλευράς επιπτώσεων ανωμαλία και με δεδομένο τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, θα υπολογίζει την ικανότητα του πλοίου να εκτελέσει την αποστολή του ασφαλώς.

(5) Στα συστήματα κατηγορίας DP2 και DP3 απαιτείται η ύπαρξη τριών τουλάχιστον συστημάτων εύρεσης θέσης τα οποία δεν πρέπει να βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας και να έχουν τη δυνατότητα αλληλοεπικάλυψης στις διάφορες καιρικές συνθήκες. Στα συστήματα κατηγορίας DP3 απαιτείται η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ακόμη ανεξάρτητου και αποκλειστικού συστήματος εύρεσης θέσης για το εφεδρικό και ανεξάρτητο υπολογιστικό σύστημα.

(6) Στα συστήματα κατηγορίας DP2 και DP3 όταν η λειτουργία τους εξαρτάται μόνο από δεδομένα που λαμβάνουν αυτόματα από αισθητήρες απαιτείται η ύπαρξη τριών τουλάχιστον ανά είδος αισθητήρων παροχής στοιχείων πλοίου (π.χ. τρεις γυροπυξίδες). Στα συστήματα κατηγορίας DP3 απαιτείται η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ακόμη ανεξάρτητου και αποκλειστικού αισθητήρα ανά είδος για το εφεδρικό και ανεξάρτητο υπολογιστικό σύστημα ώστε βλάβες του ενός συστήματος να μην επιδρούν στη λειτουργία του άλλου.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ένα σκάφος κατηγορίας DP2 ή DP3 λειτουργεί, σε έναν ικανό βαθμό, αυτόνομα σε συγκεκριμένα όμως έργα σχετικά με την λήψη και τήρηση προκαθορισμένης από έναν χειριστή θέσης.

#### **1.3.4 Maritime Situational Awareness**

Πέραν των ανωτέρω και με σκοπό την μεγιστοποίηση της ασφάλειας έναντι δυνητικών μη ελέγξιμων κινδύνων, προερχόμενους από το εξωτερικό του πλοίου περιβάλλον, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες οι οποίες καλύπτουν τις ανάγκες του Maritime Situational Awareness (MSA). Υπό τον τίτλο αυτόν νοείται ένα σύστημα το οποίο με συνυπολογισμό διαφόρων δεδομένων συντελεί στην βελτίωση της ασφάλειας στη ναυτιλία. Τα δεδομένα αυτά αφορούν, όχι περιοριστικά, το θαλάσσιο περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα την κατάσταση θαλάσσης τοπικά /σε επόμενο προορισμό και την πρόγνωση αυτής, την κάλυψη πάγου, πληροφορίες για τη ρύπανση (π.χ. πετρελαιοκηλίδες) κ.α. Τα δεδομένα για τη λειτουργία του συστήματος αυτού παρέχονται από

επιτόπιες παρατηρήσεις αλλά και τηλεπισκόπηση. Οι παράκτιες γραμμές και τα αμώδη αβαθή, όταν αυτά μεταβάλλονται, είναι ομοίως αντικείμενο του MSA.

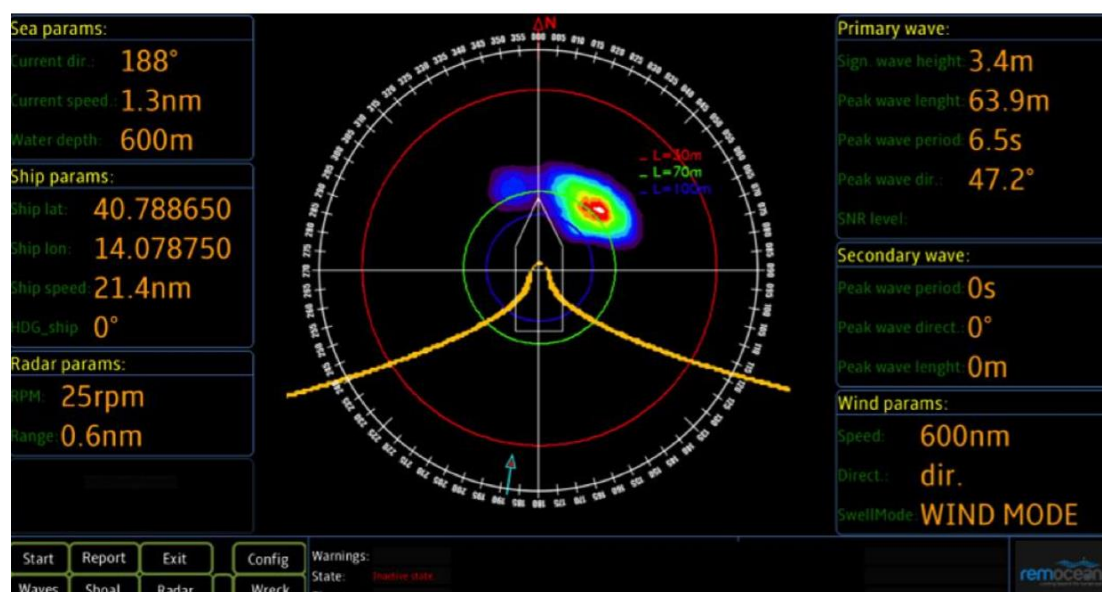
Όσον αφορά τα αυτόνομα συστήματα στη θάλασσα τα τελευταία έτη έχουν γίνει, υπό την έννοια του MSA, προσπάθειες αναγνώρισης του εγγύς περιβάλλοντος από συσκευές ψηφιακής απεικόνισης ώστε ακολούθως τα δεδομένα τους να είναι εκμεταλλεύσιμα από τα αυτόνομα πλοία και συγκεκριμένα στην εκτέλεση της ναυτιλίας όπως αναφέρουν ο Prasad κ.α (2017) και ο B. Liu κ.α. (2019)

Όσον αφορά τα συστήματα τηλεπισκόπησης, οι δυνατότητες των δορυφορικών επηρεάζονται λιγότερο από τα καιρικά φαινόμενα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίγεια. Ανωτέρω, σε συνδυασμό με την ευρεία εξάπλωση των δορυφορικών εφαρμογών και των δορυφόρων εν γένει έχει ως αποτέλεσμα την παροχή πλήθους δεδομένων για μεγάλα χρονικά διαστήματα από μεγάλες περιοχές του πλανήτη. Τα στοιχεία αυτά με κατάλληλη επεξεργασία και χρήση υπολογιστικών μοντέλων δίδουν στοιχεία για πλήθος από τα αντικείμενα του MSA. Σε αυτά τα δορυφορικά συστήματα ανήκει το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Παρατήρησης της Γης «Copernicus». Αυτό, με σκοπό την ανάπτυξη νέων τρόπων επεξεργασίας των δεδομένων και την ανάπτυξη νέων εφαρμογών στον θαλάσσιο τομέα, παρέχει δωρεάν και ανοιχτή πρόσβαση στα δεδομένα του βοηθώντας έτσι στην ανάπτυξη πλήθους υπολογιστικών μοντέλων για πλήθος εφαρμογών. Ένας από τους αλγορίθμους που αναπτύχθηκαν είναι ο εμπειρικός CWAVE S1-IW ο οποίος εκμεταλλεύεται τα δεδομένα ενός φερόμενου από δορυφόρο C-band Synthetic Aperture Radar (SAR). Αυτός εξάγει δεδομένα υψηλής αξιοπιστίας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο σχετικά με το σημαντικό ύψος κύματος, την αποθαλασσία και τον άνεμο σε μια περιοχή που καλύπτει εκατοντάδες χιλιόμετρα στη διεύθυνση κίνησης του δορυφόρου και έως 250 km πέραν των πλευρικών ορίων.

Όσον αφορά το εγγύς περιβάλλον ενός πλοίου, υφίσταται δυνατότητα πρόβλεψης μόνο της άμεσα επερχόμενης επικίνδυνης κατάστασης με σκοπό την εκτέλεση χειρισμών αποφυγής άμεσου κινδύνου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ραντάρ καιρού στην X-band τα οποία δίδουν πλήρη στοιχεία για το κύμα και το ρεύμα τοπικά σε αποστάσεις 180-450 m ενώ συνθέτει εικόνα καιρού έως και σε αποστάσεις 5.4km (Διαγράμματα 1.7 και 1.8).



Διάγραμμα 1.7: Απεικόνιση λειτουργίας ραντάρ καιρού στην X-band (Miros AS, 2020).



Διάγραμμα 1.8: Απεικόνιση λειτουργίας ραντάρ καιρού στην X-band (Remoocean, 2020)

Η γνώση των επερχόμενων καιρικών συνθηκών στην περιοχή που πρόκειται να επιχειρήσει ή επιχειρεί ένα πλοίο είναι ζωτικής σημασίας καθώς προσδίδει ασφάλεια στον προγραμματισμό εκτέλεσης των εργασιών ή τον απαιτούμενο χρόνο ασφαλούς τερματισμού αυτών. Στην περίπτωση ενός αυτόνομου σκάφους, η παρατήρηση του καιρού και η εκτίμηση της εξέλιξής του

δύναται να υποκατασταθεί από ένα συνδυασμό των ανωτέρω δύο ειδών συστήματα.

Σημαντικό στοιχείο του MSA είναι οι πληροφορίες για την ναυτιλιακή κίνηση και τα στοιχεία κίνησης των άλλων πλοίων ως επίσης και εγκαταστάσεων είτε στην ξηρά είτε στη θάλασσα (θέση, πορεία, ταχύτητα και άλλα στοιχεία) τα οποία παρέχονται από το Automatic Identification System (AIS) και τα οποία είναι σημαντικά για τη σύνθεση του περιβάλλοντος χώρου από ένα αυτοματοποιημένο σύστημα .

**Με παροχή των στοιχείων παρούσας ενότητας, ένα υπολογιστικό σύστημα δύναται να συνθέσει πλήρως το περιβάλλον ενός πλοίου και να οδηγήσει σε λήψη ενεργειών.**

#### **1.4 Διαδικασίες για πλοία που εργάζονται πλησίον και εντός ζώνης ασφαλείας εξεδρών εξόρυξης πετρελαίου και αερίου**

Λόγω της υψηλής επικινδυνότητας των εργασιών στην εγγύτητα μιας πλωτής εξέδρας και των ατυχημάτων τα οποία παρατηρούνται έχουν θεσπιστεί κανόνες που διέπουν τις διαδικασίες προσέγγισης, εργασίας και απομάκρυνσης ενός πλοίου σε μια εξέδρα. Τα ακόλουθα έγγραφα/ κανονισμοί έχουν εκδοθεί για τον καθορισμό των διαδικασιών αυτών.

- (1) Oil & Gas UK Guidelines for Ship/Installation Collision Avoidance.
- (2) International Marine Organization (IMO) International Regulations for Preventing Collisions at Sea.
- (3) HSE OTO-1999-052 Effective Collision Risk Management for Offshore Installations.
- (4) Guidelines for Offshore Marine Operations (GOMO).
- (5) International Guidelines for The Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels 182 MSF.
- (6) International Marine Contractors Association (IMCA) Guidelines for The Design and Operation of Dynamically Positioned Vessels IMCA M 103.

ενώ υφίστανται και οι ακόλουθοι ιστότοποι που λειτουργούν από τους ομώνυμους οργανισμούς.

- (1) [www.g-omo.info](http://www.g-omo.info) με έργο την ενθάρρυνση και ανάδειξη των ορθών πρακτικών και ασφαλών διαδικασιών στις τηρούμενες διαδικασίες στον υπεράκτιο ενεργειακό τομέα.

(2) [www.marinesafetyforum.org](http://www.marinesafetyforum.org) (MSF) με σκοπό την ενεργό προώθηση της ασφάλειας στον θαλάσσιο τομέα της βιομηχανίας πετρελαίου και αερίου (πρώην North Sea Marine Affinity Group το οποίο συστάθηκε το 1997).

Υπό του MSF εκδόθηκε το 2017 ένας οδηγός όπου συγκεντρώθηκαν τα κυριότερα «βήματα» και σημεία προσοχής της διαδικασίας/ εργασίας ενός πλοίου στην ζώνη ασφαλείας μιας εξέδρας εξόρυξης (500m περίξ αυτής). Αυτά προέκυψαν κυρίως από την ανάλυση αιτίων ατυχημάτων ή ατυχημάτων τα οποία απειλήθηκε να συμβούν. Ακολουθως αναφέρονται τα κυριότερα τα οποία απαιτείται να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση των επιχειρησιακών διαδικασιών ενός αυτόνομου πλοίου το οποίο θα εργάζεται στην ζώνη ασφαλείας.

**Βήμα 1ο.** Κατά τη διάρκεια της προσέγγισης και πριν την είσοδο στη ζώνη ασφαλείας.

- (1) Στη σχεδίαση της προσέγγισης δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως ιθυντήρια σημεία οι εγκαταστάσεις αλλά ένα σημείο εκτός αυτών.
- (2) Απαιτείται η αποκατάσταση επικοινωνίας και ο σαφής καθορισμός των διαύλων επικοινωνίας ανά καθήκον και ποιος (επί της εξέδρας) έχει το πρωταρχικό καθήκον επικοινωνίας με το πλοίο.
- (3) Οι προ εισόδου λειτουργικές δοκιμές του πλοίου πρέπει να γίνονται σε τέτοια θέση όπου η έκπτωση από τον καιρό να μην οδηγήσει το πλοίο στην εξέδρα.
- (4) Οι λειτουργικές δοκιμές του πλοίου πρέπει να εξασφαλίζουν ότι με τις επικρατούσες συνθήκες αυτό δύναται να εκτελέσει όλων των ειδών τους χειρισμούς.
- (5) Πρέπει να διευκρινιστούν/ συμφωνηθούν η προτεινόμενη προσέγγιση και οι προγραμματισμένες εργασίες.
- (6) Αναφορά τυχόν αιτίων καθυστερήσεων ή άλλων ιδιαιτεροτήτων που αφορούν την εξέδρα.
- (7) Έλεγχος των επί της εξέδρας ανακλαστήρων των συστημάτων εύρεσης σχετικής θέσης ως προς τη λειτουργικότητα και σωστή τοποθέτηση.

(8) Καθορισμός «σημείων» ασφαλείας τα οποία θα «δείχνουν» εάν η διαδικασία εκτελείται ασφαλώς, εάν απαιτείται έλεγχος/ επανεξέταση διαδικασίας και προσωρινή παύση αυτής ή εάν απαιτείται διακοπή και απομάκρυνση του πλοίου (διαδικασία εκτίμησης κινδύνου).

(9) Αναφορά από το πλοίο για την ολοκλήρωση των ελέγχων και την ετοιμότητα εισόδου στη ζώνη ασφαλείας.

**Βήμα 2ο.** Κατά τη διάρκεια της προσέγγισης από 500m έως 200m.

(1) Η προσέγγιση σε αυτή την απόσταση πρέπει να γίνει στην κατάσταση του πλοίου όπως αυτή που ελέγχθηκε προηγουμένως ενώ εάν κάποια αλλαγή απαιτηθεί τότε όλοι οι έλεγχοι επαναλαμβάνονται.

(2) Το πλοίο πρέπει να προσεγγίσει την εξέδρα όχι απευθείας αλλά με πορεία παράλλαξης αυτής.

(3) Η ταχύτητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τους τρεις κόμβους (~5,4 km/h).

(4) Στην απόσταση αυτή καθορίζονται οι πορείες απομάκρυνσης.

**Βήμα 3ο.** Επίτευξη απαιτούμενης αναπρώρισης και έλεγχος διατήρησης θέσης. Σε αυτό το στάδιο το προσωπικό του πλοίου διαπιστώνει κατά πόσο αυτό δύναται να διατηρήσει την απαιτούμενη θέση πριν αρχίσει την τελική προσέγγιση όπου τηρούνται τα ακόλουθα:

(1) Η διαδικασία αυτή πρέπει να λαμβάνει χώρα σε τέτοια σχετική θέση ώστε εάν διαπιστωθεί οποιοδήποτε πρόβλημα να υφίσταται η δυνατότητα ανάληψης διορθωτικών ενεργειών.

(2) Ο χρόνος που απαιτείται το DP σύστημα να επιτύχει σταθερή θέση μπορεί να είναι αρκετός και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (έως 30λεπτά). Κατά τη διαδικασία αυτή, η θέση του πλοίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε καμία κίνηση του πλοίου να μη θέτει την εξέδρα σε κίνδυνο. Για εργασίες που πρόκειται να εκτελεστούν με τον καιρό να απομακρύνει το πλοίο από την εξέδρα η απόσταση αυτή είναι 1.5 μήκη πλοίου ενώ διαφορετικά 2.5 μήκη πλοίου.

(3) Κατά τη διαδικασία αυτή πρέπει να βεβαιωθεί ότι τα σχετικά με το DP συστήματα και οι συνεργαζόμενοι αισθητήρες αυτού παρουσιάζουν ομαλή λειτουργία, ότι η κίνηση του πλοίου είναι εντός των επιχειρησιακών ορίων του και ότι η εγκατάσταση πρόωσης δεν υπερβαίνει το 45% των δυνατοτήτων της προκειμένου να τηρηθεί η θέση του πλοίου.

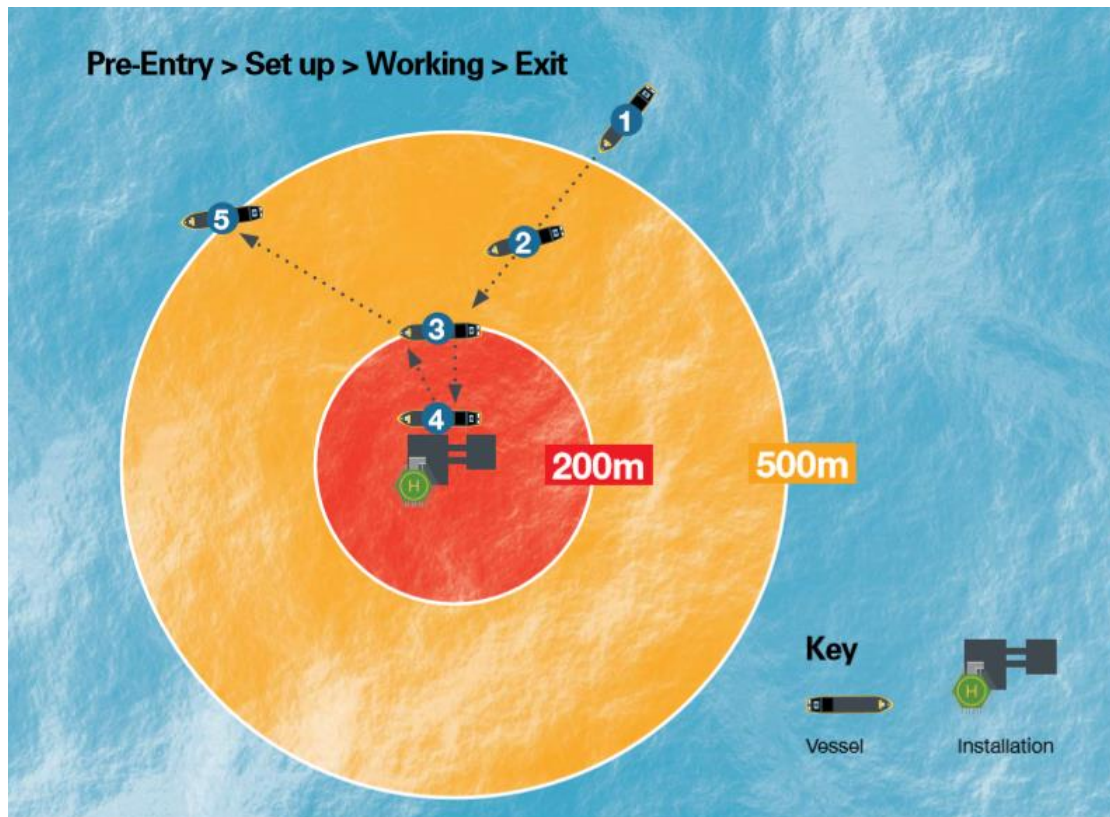
**Βήμα 4ο.** Τελική προσέγγιση (από 200m έως την εξέδρα), λήψη θέσης εργασίας και εκτέλεση εργασιών. Αυτή εκτελείται μετά την επιτυχή ολοκλήρωση όλων των ανωτέρω σταδίων και **την λήψη σχετικής άδειας από την εξέδρα** προς το πλοίο ως ακολούθως.

- (1) Το πλοίο προσεγγίζει με βήματα των 10m τη φορά μειώνοντας προοδευτικά την απόσταση αυτών.
- (2) Για εργασίες που πρόκειται να εκτελεστούν με τον καιρό να ωθεί το πλοίο προς την εξέδρα πρέπει να καθοριστεί κοινό από το πλοίο και την εξέδρα πλάνο εκτίμησης κινδύνου.
- (3) Οι ταχύτητες πρέπει να είναι της τάξης των 0.3m/sec και να διατηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις.

**Βήμα 5ο.** Περάτωση εργασιών, απομάκρυνση από την εξέδρα και έξοδος από τη ζώνη ασφαλείας. Για την εκτέλεση απαιτούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι, ενέργειες.

- (1) Επιβεβαίωση ετοιμότητας όλων των θέσεων.
- (2) Μάνικες και άλλα στοιχεία συνδέσεως με την εξέδρα πρέπει να έχουν αποσυνδεθεί.
- (3) Στερέωση υλικών επί των καταστρωμάτων.
- (4) Εκτέλεση γενικού ελέγχου του πλοίου.
- (5) Μετακίνηση αρχικά στη θέση όπου βρισκόταν κατά την εκτέλεση του 3ου βήματος.
- (6) Κίνηση για έξοδο από τη ζώνη ασφαλείας με ελεγχόμενο τρόπο όπως και κατά τη προσέγγιση.
- (7) Μετά την έξοδο από τη ζώνη ασφαλείας επιτρέπονται αλλαγές στον τρόπο πλοήγησης και λειτουργίας.





Διάγραμμα 1.9: Απεικόνιση βημάτων- τρόπου προσέγγισης σε υπεράκτια εξέδρα (MARINE OPERATIONS:500M SAFETY ZONE (2020) )

Όλες οι ανωτέρω αναφερόμενες διατάξεις ασφαλείας και διαδικασίες επιβάλλεται να ενσωματωθούν ως στάδια ή επιμέρους διεργασίες κατά την κατάρτιση των επιχειρησιακών διαδικασιών ενός αυτόνομου σκάφους το οποίο πρόκειται να εξυπηρετήσει τις ανάγκες μιας πλωτής εξέδρας εξόρυξης.

## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Δημιουργία αυτόνομου πλοίου υποστήριξης εξέδρας.

Η επιλογή των συστημάτων που θα πρέπει να υπάρχουν και να συνεργάζονται σε ένα αυτόνομο πλοίο υποστήριξης εξέδρας θα πρέπει να γίνει με γνώμονα την διατήρηση του παρόντος επιπέδου ασφαλείας τουλάχιστον και τη βελτίωση αυτής καταρχήν στα σημεία όπου παρατηρούνται τα περισσότερα σφάλματα.

Όπως φαίνεται στο προηγούμενο κεφάλαιο με την διεύδυση της ψηφιακής τεχνολογίας στα πλοία αυτά είναι εφικτή η εκτέλεση σημαντικών χειρισμών αυτόματα αλλά και η ψηφιακή σύνθεση του περιβάλλοντος γύρω από αυτά. Ο κατάλληλος συνδυασμός των συστημάτων αυτών και η ολοκλήρωσή τους σε έναν υπολογιστή ο οποίος θα αναλάβει το έργο της λήψης απόφασης και κατεύθυνσης του πλοίου εφαρμόζοντας τους κανόνες ασφαλείας

και τηρώντας τις διαδικασίες φαντάζει να είναι ο αντικαταστάτης των αξιωματικών στη γέφυρα.

Όπως αναφέρθηκε το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του αυτόνομου σκάφους απαιτείται να είναι η αξιοπιστία η οποία απαιτεί ομοίως αξιόπιστα υποσυστήματα. Στον κανονισμό DNVGL-CG-0264 (2018) αναφέρονται αναλυτικά τα όσα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση των αυτόνομων συστημάτων στη ναυτιλία γενικότερα. Αυτά είναι εφαρμοστέα για τη διαδρομή του πλοίου έως την περιοχή εγγύς της εξέδρας πλην όμως κατά τη φάση προσέγγισης και εργασίας σε αυτήν απαιτείται ο καθορισμός άλλων διαδικασιών. Παρόλα αυτά ο εν λόγω κανονισμός καλύπτει επαρκώς θέματα εσωτερικών λειτουργιών του αυτόνομου πλοίου.

Ακολούθως και προκειμένου να γίνει αντιληπτό το μέγεθος των διαφορών μεταξύ ενός σύγχρονου πλοίου υποστήριξης εξέδρας και ενός αντίστοιχου αυτόνομου, όπως προτείνεται να είναι στην παρούσα εργασία, παρατίθεται ο πίνακας 2.1. Σε αυτόν φαίνονται οι απαραίτητες αλλαγές και τα βασικά επιμέρους απαιτούμενα συστήματα ενός αυτόνομου πλοίου εξυπηρέτησης υπεράκτιας εξέδρας εξόρυξης ως ακολούθως:

- (1) Στην πρώτη στήλη του πίνακα αναφέρεται το σύστημα με την αντίστοιχη επισήμανση εάν απαιτείται.
- (2) Στη δεύτερη στήλη αναγράφεται η επιτελούμενη λειτουργία του συστήματος από την οποία προκύπτει η αντίστοιχη χρησιμότητα.
- (3) Στην τρίτη στήλη αναφέρονται οι απαιτήσεις σε υλικό και παρεχόμενα δεδομένα ενώ έτσι προκύπτει και η αλληλεξάρτηση από τα λοιπά συστήματα.
- (4) Στην τέταρτη στήλη αναφέρεται ο τρόπος λειτουργίας στη σύγχρονη πραγματικότητα και οι αντίστοιχες ιδιαιτερότητες / παρατηρήσεις.
- (5) Στην πέμπτη στήλη αναφέρεται η δυνατότητα μετάβασης των συστημάτων στην αυτονομία και οι ιδιαιτερότητες / προκλήσεις κατά τη μετάβαση αυτή.

Στην υποενότητα 2.2. αναλύεται η λειτουργία των συστημάτων αυτών και η αντίστοιχη επιτελούμενη εργασία .

Πίνακας 2.1.: Βασικά επιμέρους απαιτούμενα συστήματα ενός αυτόνομου πλοίου εξυπηρέτησης υπεράκτιας εξέδρας εξόρυξης.

Σύστημα	Επιτελούμενη εργασία ως απαιτείται	Απαιτήσεις	Σύγχρονη πραγματικότητα	Παρατηρήσεις
Dynamic Positioning class3 (DP3)	Ανάληψη ελέγχου μηχανών και πηδαλίου για μετακίνηση σε προκαθορισμένη θέση ή διατήρηση επιθυμητής θέσης.	Στοιχεία επιθυμητής θέσης. Στοιχεία σχετικής θέσης (ως προς την εξέδρα) και απόλυτης θέσης. Αυτοματοποιημένο κέντρο ελέγχου πρόωσης.	Απευθείας χειρισμός από ναυτικούς, ημιαυτόματος χειρισμός μετά υπόδειξη ή αυτόματα με χρήση συστήματος DP.	Τεχνολογία ώριμη και ευρέως χρησιμοποιούμενη. Έχει αναδειχθεί ως ο ασφαλέστερος τρόπος προσέγγισης και διατήρησης θέσης σε μια εξέδρα.
Σύστημα πλοήγησης με ηλεκτρονικό χάρτη.	Καθορισμός γεωγραφικών ορίων κίνησης του πλοίου, απαιτούμενου δρομολογίου, επιθυμητής επόμενης θέσης.	Συνεχής εμπλουτισμός με ανανεώσεις δεδομένων χάρτη και αγγελιών προς ναυτιλομένους. Χρήση λογισμικού για καθορισμό βέλτιστου δρομολογίου (υπό δοκιμή αριθμός αυτών)	Χρήση ψηφιακών ευκολιών και χαρτών, συστήματος διαρκούς ενημέρωσης για εκδιδόμενες αγγελίες προς ναυτιλομένους. Καθορισμός δρομολογίου από τους ναυτικούς λόγω απαίτησης συνυπολογισμού δεδομένων τα οποία δεν είναι πάντα ψηφιοποιημένα κυρίως πλησίον ακτών.	Μέρος απαιτούμενης τεχνολογίας είναι ώριμη και ευρέως χρησιμοποιούμενη. Απαιτείται η επίβλεψη εξαχθέντος δρομολογίου σε περιορισμένα ύδατα. Στο στάδιο προσέγγισης στην εξέδρα δύναται με εισαγωγή στο σύστημα του εξωτερικού περιγράμματος αυτής και άλλων κατασκευών πλησίον δύναται να εξαλειφθεί ο όποιος κίνδυνος

<b>Σύστημα</b>	<b>Επιτελούμενη εργασία ως απαιτείται</b>	<b>Απαιτήσεις</b>	<b>Σύγχρονη πραγματικότητα</b>	<b>Παρατηρήσεις</b>
Συστήματα εύρεσης θέσης	Εύρεση των καρτεσιανών συντεταγμένων και καταχώρησή τους ως δεδομένο για την εκτέλεση υπολογισμών κατεύθυνσης.	Χρήση πολλαπλών συστημάτων παροχής θέσης δορυφορικά (εκ των υφιστάμενων) με περισσότερους του ενός δέκτες ανά υπολογιστικό σύστημα. Απαιτήση εφοδιασμού με αδρανειακό σύστημα ναυτιλίας τεχνολογίας LASER ή εφάμιλλο.	Απαιτούμενα συστήματα ήδη σε χρήση επί πολλά έτη με την αυτή χρήση.	Χρήση τεχνολογίας ως έχει.
Συστήματα εύρεσης σχετικής θέσης (ως προς την εξέδρα)	Εύρεση σχετικής θέσης ως προς την εξέδρα και εγγύς κατασκευές απαλλαγμένης από σφάλματα ακρίβειας και διαθεσιμότητας των δορυφορικών συστημάτων.	Συνδυασμός εκ των περιγραφόμενων στο κεφάλαιο 1 συστημάτων ώστε να καλύπτεται όλο το εύρος των εγγύς εργασιών από τα 5000m έως τη θέση εργασίας. Διασύνδεση αυτών με το σύστημα πλοήγησης.	Χρήση εν λόγω συστημάτων επικουρικά από ναυτικούς και καθορισμός από αυτούς της επιθυμητής θέσης.	Τεχνολογία ώριμη και ευρέως χρησιμοποιούμενη στις υπεράκτιες επιχειρήσεις. Απαιτείται διασύνδεση με το σύστημα πλοήγησης η οποία είναι εφικτή (παροχή ψηφιακών δεδομένων).
Αυτοματοποιημένο κέντρο ελέγχου πρόωσης.	Διαχείριση πρόωσης και συστημάτων ενέργειας πλοίου.	Εναλλακτικοί τρόποι λειτουργίας συστημάτων και back up συσκευές	Σε μεγάλο βαθμό επικρατούν οι αυτοματισμοί και τα ολοκληρωμένα συστήματα	Τεχνολογία ώριμη και ευρέως χρησιμοποιούμενη.

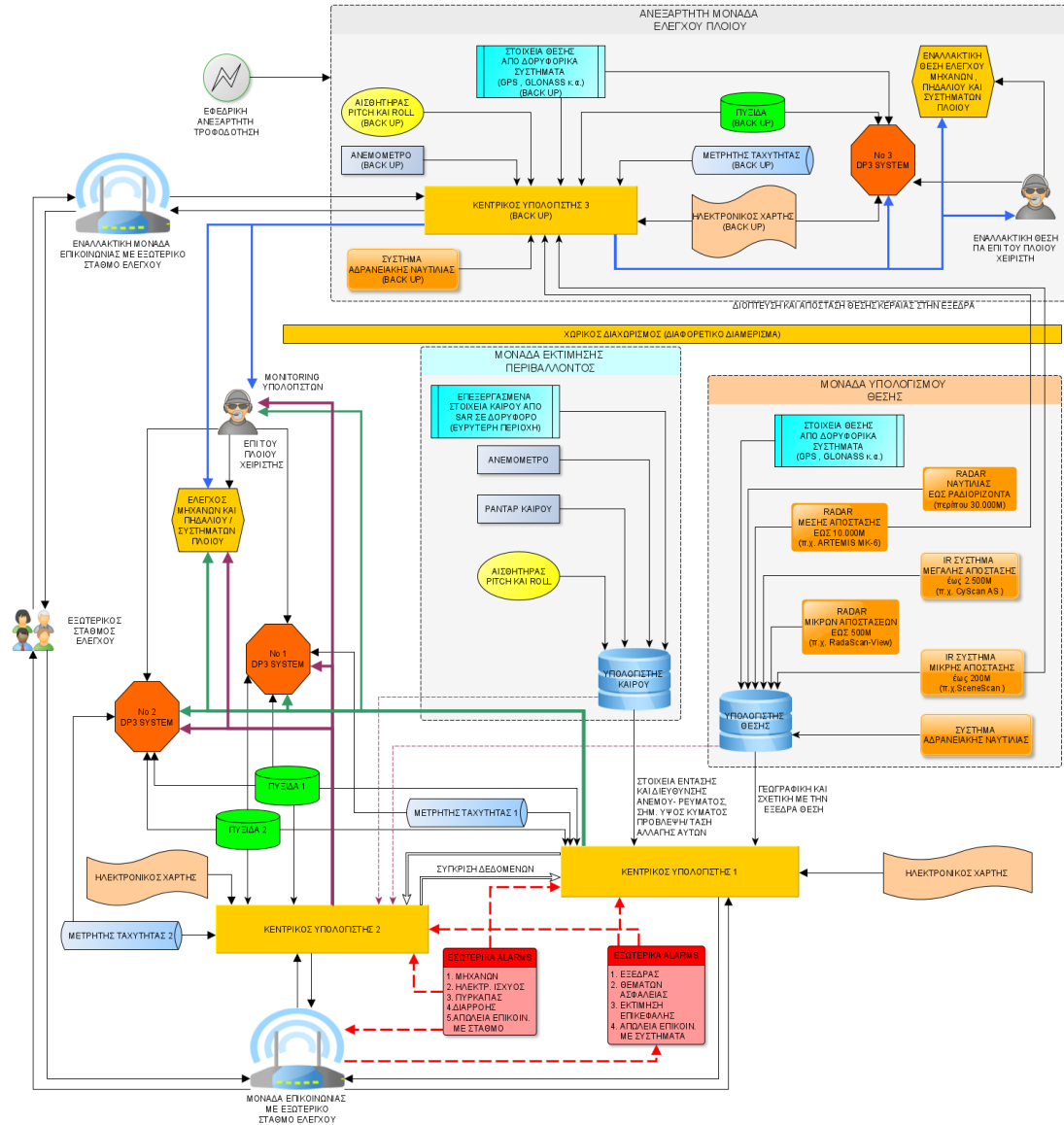
Σύστημα	Επιτελούμενη εργασία ως απαιτείται	Απαιτήσεις	Σύγχρονη πραγματικότητα	Παρατηρήσεις
	Αυτοματοποιημένη εκτέλεση διαδικασιών επίλυσης σε περίπτωση βλάβης.	επιπλέον των απαιτούμενων λόγω χαμηλής ικανότητας εκτέλεσης επισκευών.	ελέγχου αφήνοντας στο χειριστή τη δυνατότητα παράκαμψης εφόσον απαιτηθεί. Δυνατότητα εκτέλεσης επισκευών όπου απαιτείται.	Έχει αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά της.
Συνδυασμένο σύστημα εξωτερικών επικοινωνιών (δορυφορικά και απευθείας)	Αξιόπιστη επικοινωνία με εξέδρα (απαραίτητη προϋπόθεση εκτέλεσης εργασιών) και με κέντρο εξωτερικού ελέγχου εάν απαιτηθεί. Λήψη στοιχείων ναυτιλιακής κίνησης και δεδομένων καιρού.	Εφοδιασμός με τουλάχιστον δύο συσκευές ανά είδος (HF, VHF, UHF, SHF) με <b>κρυπτογράφηση</b> υψηλής αξιοπιστίας.	Υφίστανται και αναλόγως θέσης του πλοίου από αντίστοιχους αναμεταδότες/δέκτες χρησιμοποιούνται όλοι οι τρόποι επικοινωνίας άνευ κρυπτογράφησης.	Η κυβερνοεπίθεση ή άλλη παρεμβολή στις επικοινωνίες και συστήματα ελέγχου πρέπει να θεωρείται βέβαιη.
Σύστημα σύνθεσης περιβάλλοντος - καιρού, εγγύς και μακρά.	Αντίληψη του καιρού και των περιβαλλοντικών συνθηκών και «αντίληψη» περί της ικανότητας ή μη εκτέλεσης εργασίας μετά σύνθεση αυτών.	Εφοδιασμός με ραντάρ καιρού πλοίου και εξέδρας (για μεγαλύτερη εμβέλεια λόγω ύψους εστίας) και συνεχή παροχή δεδομένων από δορυφορικά συστήματα	Χρήση πληροφοριών εν λόγω συστημάτων επικουρικά από τους ναυτικούς και λήψη από αυτούς της απόφασης.	Η ερμηνεία των καιρικών φαινομένων ήταν διαχρονικά ζήτημα συνδυασμένο με την εμπειρία των ναυτικών. Η δυνατότητα παροχής πολλών δεδομένων σε μεγάλη ακτίνα πέριξ του πλοίου απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ για

Σύστημα	Επιτελούμενη εργασία ως απαιτείται	Απαιτήσεις	Σύγχρονη πραγματικότητα	Παρατηρήσεις
	<p>Πρόβλεψη για τουλάχιστον 2 ώρες σύμφωνα με τη τάση αλλαγής του καιρού. Έγκαιρη αναγνώριση επικείμενου κινδύνου (π.χ. επερχόμενο μεγάλο κύμα)</p>			<p>την εκμετάλλευσή τους. Ως ασφαλιστική δικλείδα παραμένει στη δικαιοδοσία του υπεύθυνου επι της εξέδρας η αξιολόγηση της ικανότητας του πλοίου να εκτελέσει τις εργασίες συναρτήσει του καιρού.</p>
<p>Κεντρική μονάδα επιτήρησης πλοίου και λήψης απόφασης (Υπολογιστής)</p>	<p>Αξιολόγηση όλων των δεδομένων εάν είναι εντός ορίων, εάν η διαδικασία εκτελείται ως προβλέπεται, παρακολούθηση των δεικτών σφάλματος και κατά πόσο επηρεάζεται η εκτέλεση της διαδικασίας.</p>	<p>Διασύνδεση με όλα τα επιμέρους υποσυστήματα και σταθμό βάσης για γνωστοποίηση ενεργειών.</p>	<p>Η διαδικασία εκτελείται από τα πληρώματα των πλοίων.</p>	<p>Κατά την προσέγγιση απαιτείται εξουσιοδότηση από εξέδρα εκτέλεσης επόμενου σταδίου διαδικασίας.</p>

Η χωροθέτηση όλων των επιπλέον back up συστημάτων με τα οποία απαιτείται να εφοδιαστεί ένα πλοίο προκειμένου να λειτουργεί αυτόνομα προκαλεί μείωση του ωφέλιμου χώρου για μεταφερόμενα υλικά. Ο διαθέσιμος ωφέλιμος χώρος είναι διαχρονικά στοιχείο που επιβάλλει στα πλοία τις δυνατότητές τους. Ειδικά για τα offshore supply vessels ο Bjørnar Aas κ.α. (2009) αναλύουν τη σχέση μεταξύ ικανοτήτων του πλοίου και χωρητικότητας από οικονομική σκοπιά που τελικά είναι ο πραγματικός limitation factor. Για παράδειγμα ο εφοδιασμός ενός πλοίου με επιπλέον bow thrusters ή μεγαλύτερες μηχανές αυξάνει τις δυνατότητές του σε ταχύτητα και εύρος καιρικών συνθηκών που μπορεί να επιχειρεί πλην όμως μειώνει τη μεταφορική του ικανότητα. Πέραν των ανωτέρω, το αυτόνομο πλοίο εξοικονομεί σημαντικό χώρο από την απουσία των ανθρώπων ή τουλάχιστον του μεγαλύτερου αριθμού αυτών άρα και την ανάγκη ενδιαίτησής τους. Με οικονομικούς όρους, πέραν της μειωμένης μισθοδοσίας προκύπτει και όφελος από την αύξηση του ωφέλιμου χώρου.

## 2.2 Επιλεγείσα διάταξη συστημάτων αυτόνομου σκάφους υποστήριξης πλωτής εξέδρας

Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις σε υλικό που διαφαίνονται από τα προηγουμένως αναφερθέντα, παρατίθεται διάταξη συνδέσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους (Διάγραμμα 2.3).



Διάγραμμα 2.1: Διάταξη συνδέσεων και αλληλεπιδράσεων συστημάτων αυτόνομου σκάφους υποστήριξης πλωτής εξέδρας.

Σε σύστημα που απεικονίζεται σε ανωτέρω διάγραμμα 2.1 τηρούνται οι απαιτήσεις των ναυτιλιακών οργανισμών σχετικά με τα πλοία DP-3 καθώς εν λόγω σύστημα είναι αυτό που χρησιμοποιείται για την μετάβαση του πλοίου στην επιθυμητή θέση αλλά και τη διατήρηση αυτής. Έτσι λοιπόν διακρίνονται τρία υποσυστήματα ανά είδος (από αυτά τα οποία είναι ζωτικά για την ασφάλεια του πλοίου όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1) με ανεξάρτητους αισθητήρες και το



ένα εξ αυτών να είναι απομονωμένο λειτουργικά αλλά και φυσικά (σε χώρο διαφορετικό) από τα άλλα δύο.

Σε αυτό διακρίνουμε τη μονάδα εκτίμησης περιβάλλοντος η οποία είναι εφοδιασμένη με όργανα «αντίληψης» περιβάλλοντος όπως ανεμόμετρο, αισθητήρα προνευστασμού και διατοίχισης (pitch και roll), ραντάρ καιρού, στοιχεία καιρού περιοχής από δορυφορικά συστήματα και λοιπό μετεωρολογικό εξοπλισμό. Ο υπολογιστής της μονάδας αυτής υποκαθιστά μία από τις κυριότερες λειτουργίες του ανθρώπου που είναι η εκτίμηση της καταλληλότητας των καιρικών συνθηκών και η εκτίμηση εξέλιξης αυτών σύμφωνα με τις γνώσεις και την εμπειρία του. Η αναμενόμενη σχετική αποτελεσματικότητα του εν λόγω συστήματος είναι υψηλή καθώς πέραν των άλλων δεν είναι εξαρτάται από υποκειμενικά κριτήρια όπως είναι αυτό της εμπειρίας του ναυτικού. Σημαντικό δε, είναι διασύνδεση των επιμέρους συσκευών με ανεξάρτητους αισθητήρες προς διατήρηση της λειτουργικότητας του συστήματος μετά από σφάλμα.

Έτερη σημαντική μονάδα είναι αυτή του υπολογισμού θέσης του πλοίου. Αυτή ανάλογα την απόσταση του πλοίου από την εξέδρα παρέχει είτε τη γεωγραφική θέση (απόλυτη) μέσω δορυφορικών συστημάτων όπως το GPS είτε τη σχετική απόσταση από συγκεκριμένα σημεία επί της εξέδρας κατά τη διαδικασία της προσέγγισης και εργασίας σε αυτή. Τα συστήματα που απαιτούνται είναι αυτά των ενοτήτων 1.3.1 και 1.3.2 για παροχή απόλυτης γεωγραφικής θέσης και σχετικής ως προς την εξέδρα θέσης αντίστοιχα. Αυτή η μονάδα παρά τη σημαντικότητά της δεν αλλάζει ιδιαίτερα την κατάσταση από την ήδη εφαρμοζόμενη καθώς με όμοιο τρόπο τα πλοία υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας λαμβάνουν και τηρούν τη θέση τους. Η μονάδα υπολογισμού θέσης παρέχει τη θέση του πλοίου στα δύο ξεχωριστά κεντρικά υπολογιστικά συστήματα ενώ για λόγους αύξησης λειτουργικότητας μετά από σφάλμα οι αισθητήρες που περιλαμβάνει τροφοδοτούν άμεσα τα στοιχεία τους άνευ υπολογισμών στον εναλλακτικό κεντρικό υπολογιστή που βρίσκεται σε εντελώς διαφορετικό χώρο.

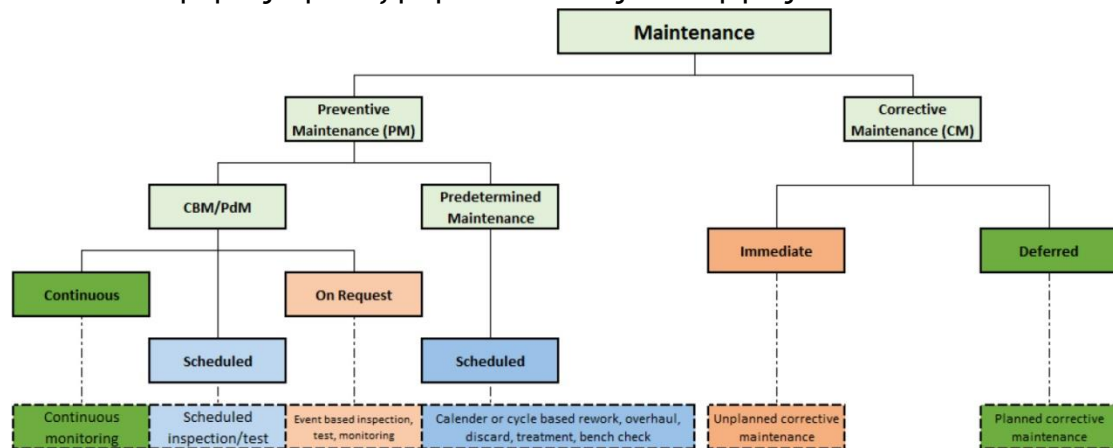
Ως επιπρόσθετη ασφάλεια και προκειμένου το πλοίο να απομακρυνθεί από την εξέδρα ασφαλώς στην περίπτωση που η παρεχόμενη σχετική ή απόλυτη θέση χαρακτηριστεί ως ανακριβής, μπορεί να προβλεφθεί ένα εναλλακτικό σύστημα παροχής θέσης. Ως τέτοιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα αδρανειακής ναυτιλίας το οποίο επιπρόσθετα δύναται να παρέχει και το στοιχείο της πορείας λειτουργώντας ταυτόχρονα και ως εναλλακτική πυξίδα. Αυτό το σύστημα μπορεί να είναι το Marine Inertial Navigation System 2 (MINS 2) της Raytheon Anschütz ή κάποιο εφάμιλλο του. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των εν λόγω συστημάτων είναι ότι δεν επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες.

Η θέση του πλοίου θα αποτυπώνεται σε χάρτη Vector όπου η πλήρως ψηφιακή υπόστασή του είναι κατάλληλη για ένα πλήρως ψηφιακό σύστημα και δύναται να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο για τυχόν αλλαγές από την υπηρεσία χαρτογράφησης που παρέχει τις χρησιμοποιούμενες ναυτιλιακές

εκδόσεις όπως αναφέρει και το UK Hydrographic Office (2020). Σε αυτόν πριν τον απόπλου αλλά και κατά τη διάρκεια του πλου δύνανται να εκτελούνται αλλαγές που να αφορούν τροποποίηση στις επιτρεπόμενες περιοχές πλου αποφεύγοντας έτσι περιοχές πιθανού κινδύνου όπως.

Το κυριότερο σύστημα του πλοίου είναι το σύστημα Dynamic Positioning (DP) καθώς είναι αυτό που λαμβάνει σε εντελώς ψηφιακή μορφή τις εξ'υπολογισμού οδηγίες πλου σε μορφή απαιτητής επόμενης θέσης πλοίου με τον αντίστοιχο χρόνο από τον κεντρικό υπολογιστή και έχει τη δυνατότητα να ελέγχει το πλοίο (έλεγχος μηχανών και πηδαλίου) ώστε να επιτύχει την επιθυμητή θέση. Εν λόγω δυνατότητα υφίσταται ήδη σε μεγάλο αριθμό πλοίων για την επίτευξη και τήρηση θέσης σε μικρές αποστάσεις. Για την εκτέλεση πλου επί δρομολογίου (π.χ. για το διάστημα μεταξύ εξεδρών και λιμένα) απαιτείται η ενσωμάτωση λειτουργίας αντίστοιχης του αυτομάτου συστήματος εκτέλεσης δρομολογίου (auto pilot).

Ομοίως σημαντικό σύστημα είναι το αυτοματοποιημένο κέντρο ελέγχου πρόωσης και αυτοματοποιημένο μηχανοστάσιο. Για να είναι εφικτή η εκτέλεση οποιουδήποτε χειρισμού και λειτουργίας απαιτείται η παροχή ενέργειας και εξασφάλιση απρόσκοπτης λειτουργίας των μηχανών και βοηθητικών μηχανημάτων. Στα σύγχρονα πλοία το σύνολο των μηχανημάτων ελέγχεται κεντρικά από το κέντρο ελέγχου όπου πλέον οι απαιτούμενες ενέργειες υποδεικνύονται στον χειριστή ή/και εκτελούνται αυτόματα. Είναι λοιπόν εφικτή η λειτουργία του κέντρου ελέγχου πρόωσης από έναν υπολογιστή πλην όμως η αντιμετώπιση ιδιαίτερων καταστάσεων βλαβών που μπορεί να υπερβούν την ικανότητα κάλυψης με έτερη συσκευή (βλάβη περισσότερων της μίας ανά είδος συσκευής) απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Απαιτείται η κατάσταση των μηχανημάτων να είναι τέτοια που να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εμφάνισης βλάβης. Για αυτό απαιτείται η αλλαγή της πολιτικής συντηρήσεως από επισκευαστική (λήψη διορθωτικών ενεργειών όταν παρουσιαστεί βλάβη) σε προληπτική (εκτέλεση προγραμματισμένων εργασιών αναλόγως χρόνου λειτουργίας ή άλλων χρονικών προβλέψεων ως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.2) με τα πλεονεκτήματα που αναφέρει η Veronica Jaramillo κ.α. (2020) με επακόλουθη όμως την αύξηση του κόστους λειτουργίας.



Διάγραμμα 2.2: Επισκευαστικές πολιτικές. (Veronica Jaramillo κ.α. 2020)

Η επιτήρηση των σημαντικών λειτουργιών του πλοίου αλλά και ο εντοπισμός πυρκαγιάς ή διαρροής εκτελείται από ένα σύστημα συναγερμού το οποίο ειδοποιεί παράλληλα και το σταθμό βάσης (κατά τη διάρκεια προσέγγισης και εργασίας στην εξέδρα τα δεδομένα διαβιβάζονται και εκεί). Αντίστοιχα, συμβάντα επί της εξέδρας που επηρεάζουν τη διαδικασία διαβιβάζονται στο πλοίο ως δεδομένα για την παύση συγκεκριμένης εργασίας (π.χ. παύση τροφοδοσίας λόγω υψηλής στάθμης δεξαμενών καυσίμων κατά τον ανεφοδιασμό) ή όλων των εργασιών ώστε το πλοίο να εκτελέσει διαδικασία απομάκρυνσης.

Για την λειτουργία του πλοίου, εκ των αναφερόμενων στην ενότητα 1.2.2 βαθμούς αυτονομίας και για τους λόγους που αναλύονται στην ενότητα 3.1, επιλέχθηκε η «Παρακολούθηση εξ αποστάσεως». Όπως είναι αντιληπτό για την λειτουργία ενός αυτόνομου πλοίου με τον εν λόγω βαθμό αυτονομίας οι επικοινωνίες είναι ζωτικής σημασίας. Αυτές περιλαμβάνουν δορυφορικά συστήματα για αδιάλειπτη επικοινωνία με το σταθμό βάσης στην κανονική λειτουργία αλλά και ενός συστήματος βασισμένου σε επικοινωνίες HF για την περίπτωση απώλειας δορυφορικών επικοινωνιών (αρκετά συχνό φαινόμενο) από όπου λόγω του πολύ μικρού ρυθμού διαβίβασης δεδομένων θα μεταδίδονται μόνο συγκεκριμένες πληροφορίες που θα αφορούν την κατάσταση του πλοίου και τις εκτελούμενες ενέργειες. Η επικοινωνία με την εξέδρα θα εκτελείται μέσω δορυφορικού συστήματος αλλά και συστήματος βασισμένου σε επικοινωνίες UHF και VHF κατάλληλες για σχετικά μικρές αποστάσεις και με ικανοποιητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και ποιότητα. Σε όλες τις επικοινωνίες πρέπει να εφαρμόζεται κωδικοποίηση προκειμένου το σύστημα να είναι ασφαλές από τυχόν κακόβουλες ενέργειες εναντίον του.

Το «σύστημα» που θα διασφαλίζει την ικανότητα του αυτόνομου πλοίου να συνεχίσει ασφαλώς τη δραστηριότητά του σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας μεταξύ αυτού και του σταθμού βάσης είναι το προσωπικό ασφαλείας που επιβαίνει σε αυτό. Για ένα αυτόνομο πλοίο που πλέει στην ανοικτή θάλασσα η απώλεια επικοινωνίας για κάποιο χρονικό διάστημα δεν δημιουργεί ιδιαίτερο προβληματισμό καθώς η λανθασμένη εκτέλεση των απαιτούμενων χειρισμών δεν πρόκειται να οδηγήσει σε ατύχημα έστω και εάν η απώλεια επικοινωνίας διαρκέσει για αρκετή ώρα. Σε αντιδιαστολή με αυτά τα πλοία, ένα αυτόνομο πλοίο υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας όταν εργάζεται πλησίον αυτής, αποτελεί δυνητικό κίνδυνο για αυτήν καθώς κάποιος λάθος χειρισμός θα έχει σημαντικές έως καταστροφικές συνέπειες οπότε και η απώλεια δυνατότητας παρακολούθησής του δεν είναι επιτρεπτή. Όλα τα εισαγόμενα και εξαγόμενα δεδομένα των κεντρικών υπολογιστών παρακολουθούνται από το προσωπικό επί του πλοίου και εάν σημαντική ανάγκη προκύψει δύναται να αναλάβει τον έλεγχο από την κύρια ή εναλλακτική θέση με σκοπό την ασφαλή απομάκρυνση από την εξέδρα.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η ανάληψη ελέγχου από το προσωπικό ασφαλείας επί του πλοίου ή με τηλεκατεύθυνση- από βάση ξηράς πρέπει να γίνει βάσει αυστηρού πρωτοκόλλου που δεν θα επιτρέπει την άνευ αιτίας

ανάληψη ελέγχου. Αυτό απαιτείται καθώς η έλλειψη εμπιστοσύνης και η πιθανή λάθος ανθρώπινη κρίση της διαμορφωθείσας κατάστασης θα οδηγήσει σε ατυχήματα ομοίως λόγω ανθρώπινου παράγοντα.

Το προσωπικό επί του πλοίου λόγω του σαφώς μικρότερου φόρτου αλλά και των αυστηρά καθορισμένων καθηκόντων του θα δύναται να έχει καλύτερη κρίση επί της κατάστασης απ' ό τι πρωτύτερα.

### **2.3 Θέματα ασφαλείας σε αυτόνομα συστήματα.**

Σε ανωτέρω Πίνακα 2.1. τα απαιτούμενα συστήματα – συσκευές είναι είτε δοκιμασμένες επί μακρό είτε παρέχουν απλώς τα δεδομένα που συλλέγουν δίχως να παρεμβάλλεται επεξεργασία αυτών. Προκειμένου όμως για την κεντρική μονάδα επιτήρησης πλοίου και λήψης απόφασης (Υπολογιστής) οι απαιτήσεις αυξάνονται. Αυτή είναι και το κυριότερο τμήμα του αυτόνομου πλοίου καθώς εκεί συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα και βάση των κανόνων και ορίων που της έχουν τροφοδοτηθεί παρέχει εντολές μετακίνησης ή εκτέλεσης λειτουργιών που έχουν άμεση επενέργεια στη κατάσταση του πλοίου. Η δημιουργία αντίστοιχων συστημάτων είναι πραγματικότητα στο πλαίσιο πολυάριθμων προσπαθειών κατασκευής αυτοκατευθυνόμενων πλοίων και αποκτάται πολύτιμη εμπειρία.

Προκειμένου τα αυτόνομα συστήματα να γίνουν αποδεκτά από τους υποψήφιους χρήστες τους αλλά και από τις αρμόδιες αρχές και οργανισμούς πρέπει να αποδειχτούν ασφαλέστερα από τα αντίστοιχα συμβατικά. Είναι επίσης λογικό ότι στην φάση της ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος σε περιβάλλον έντονα ανταγωνιστικό και προκειμένου αυτό να τεθεί σύντομα σε λειτουργία τα θέματα που αφορούν την ανάλυση κινδύνων μάλλον δεν λαμβάνουν την απαιτούμενη προσοχή. Στην περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα εργασία τα θέματα ασφαλείας απαιτείται να λάβουν ιδιαίτερη προσοχή και σημαντικό χρόνο από τον σχεδιασμό και την αρχική εφαρμογή καθώς τα περιθώρια λάθους είναι πολύ μικρά. Μία αστοχία σε αυτόνομο πλοίο υποστήριξης εξέδρας σε αντιδιαστολή με ένα αυτόνομο πλοίο που πλέει στον ανοικτό ωκεανό, για την ίδια προκαλούμενη δυσλειτουργία, μπορεί να προκαλέσει συνέπειες πολύ μεγαλύτερης σοβαρότητας. Ακόμα και στη περίπτωση όπου θα προξενηθούν μικρής ή αμελητέας σοβαρότητας ζημιές οι συνέπειες για την εμπιστοσύνη στα αυτόνομα συστήματα θα είναι δυσανάλογα σημαντικές.

Η διαδικασία αξιολόγησης ενός τέτοιου συστήματος αρχικά αφορά την ανίχνευση και τον καθορισμό των συντελεστών που μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλμα.

Έπειτα ελέγχεται το τμήμα του προγραμματισμού του συστήματος με την παραδοχή ότι όλα τα διασυνδεδεμένα συστήματα και είσοδοι του συστήματος λειτουργούν και είναι όπως ακριβώς περιγράφονται. Το τμήμα αυτό της διαδικασίας αξιολόγησης κινδύνου, βασίζεται στη αναλυτική αποδόμηση του προγράμματος λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος. Με αυτό τον τρόπο

είναι δυνατή η αναγνώριση μοτίβων σφάλματος στις επιμέρους λειτουργίες του καθώς και της επίδρασης αυτών των σφαλμάτων στα τελικά εξαγόμενα στοιχεία μέσω της διαδικασίας ιχνηλάτησης και πρόβλεψης επιδράσεων.

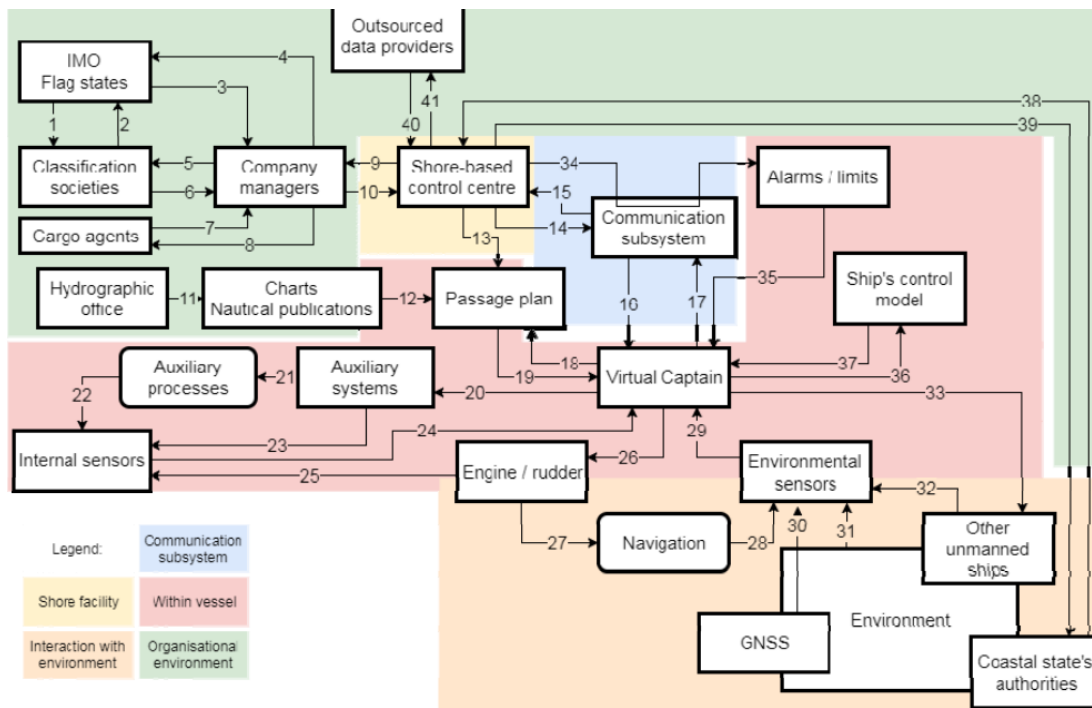
Ακολουθως τίθενται «δείκτες» ασφαλείας οι οποίοι κατά τη λειτουργία θα μας παρέχουν τη δυνατότητα να ελέγχουμε το επίπεδο λειτουργικής ασφάλειας του συστήματος. Ο Christoph Alexander Thieme (2018) προτείνει οι δείκτες αυτοί να είναι τέτοιοι που να δημιουργούν ένα σύστημα μέσω της επίβλεψης του οποίου ένας χειριστής/ έτερο πρόγραμμα θα αξιολογεί πότε αυξάνεται η επικινδυνότητα για τη διαδικασία. Οι δείκτες αυτοί θα αντιπροσωπεύουν υποσυστήματα και τομείς της διαδικασίας που να μπορούν να αποκαλύψουν το τεχνικό ή διαδικαστικό σφάλμα το οποίο δύναται να οδηγήσει σε ατύχημα εάν δεν ελεγχθεί. Μετά την διαπίστωση των σφαλμάτων και τη διόρθωση αυτών, όπου αυτό είναι εφικτό, διαπιστώνονται οι αλληλεπιδράσεις που αυτά έχουν με άλλα τμήματα/ δρώντες του αυτόνομου συστήματος και ακολούθως καθορίζονται οι απαραίτητες ενέργειες.

Με όμοιο τρόπο προσεγγίζουν το θέμα της ασφάλειας ο Krzysztof Wróbel κ.α. (2016) δίδοντας βαρύτητα στις αλληλεπιδράσεις των συστημάτων μεταξύ τους και την επήρεια του σφάλματος του κάθε ενός στη γενικότερη λειτουργία και όχι τόσο στην παρακολούθηση των επιμέρους υποσυστημάτων.

Οι K. Wróbel και P. Krata (2019) διακρίνουν την αδυναμία όλων των έως τώρα προσπαθειών κατάρτισης ενός συστήματος ασφαλείας λειτουργίας ενός αυτόνομου πλοίου λόγω της θεωρητικής τους βάσης καθώς δεν υπάρχει έως τώρα πλήρης ανάπτυξη ενός αυτόνομου ναυτικού συστήματος σε μεγάλη κλίμακα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούν τη System-Theoretic Process Analysis (STPA), το οποίο ως εργαλείο δεν επηρεάζεται από το στάδιο υλοποίησης του συστήματος καθώς βασίζεται στην υπόθεση ότι η ασφάλεια δεν είναι μια «ποσότητα» που αξιολογείται αλλά ένα χαρακτηριστικό που πρέπει να τεθεί υπό έλεγχο. Οι κίνδυνοι αναγνωρίζονται κυρίως ως οι σχετιζόμενοι με μηχανικές βλάβες και οι σχετιζόμενοι με αλληλεπίδραση του πλοίου με το περιβάλλον. Όλοι αυτοί δυνητικά μπορούν να αποδοθούν στην αναποτελεσματικότητα των διαδικασιών ελέγχου και κυρίως στην κουλτούρα ασφαλείας της ναυτιλιακής εταιρίας που χειρίζεται ένα τέτοιο σύστημα. Για την εφαρμογή ενός αποτελεσματικού συστήματος ελέγχου σε ένα πλοίο, οι κύριες διαδικασίες και σημεία προσοχής διαχωρίζονται ως ακολούθως:

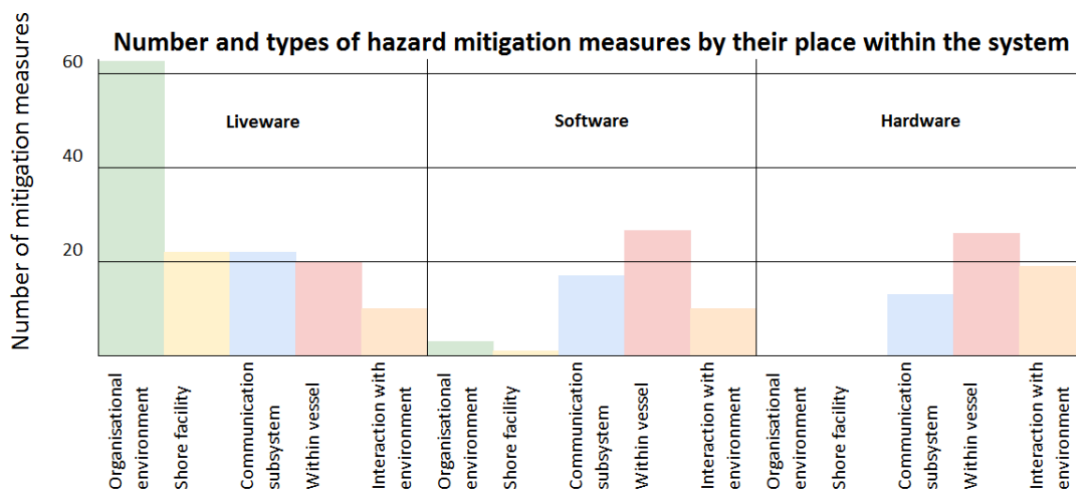
- (1) Εντός του πλοίου.
- (2) Σχετιζόμενες με το περιβάλλον.
- (3) Σχετικές με την οργάνωση και υποστήριξη από την ξηρά.
- (4) Σχετιζόμενες με τη δυνατότητα επικοινωνίας.

(5) Σχετιζόμενες με το επι της ξηράς κέντρο ελέγχου ως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.3.



Διάγραμμα 2.3: Γενική διάταξη σχεδιασμού ελέγχου ενός πλήρως αυτόνομου εμπορικού πλοίου. (Κ. Wróbel και P. Krata 2019)

Στο Διάγραμμα 2.4 φαίνονται τα απαιτούμενα μέτρα περιορισμού του κινδύνου όπου τα σχετιζόμενα με τον ανθρώπινο παράγοντα και κυρίως με το επίπεδο οργάνωσης είναι σημαντικά περισσότερα έναντι των άλλων.



Διάγραμμα 2.4: Γενική εικόνα των απαιτούμενων μέτρων περιορισμού του κινδύνου ανά «πηγή» αυτού σε ένα αυτόνομο πλοίο επιφανείας.. (Κ. Wróbel και P. Krata 2019)

Ένα αυτόνομο σύστημα όπως αυτό της παρούσας εργασίας θα δρα συνεχώς σε συνθήκες υψηλής επικινδυνότητας, με μικρό περιθώριο για λάθη και με περιορισμένο χρόνο ανάληψης διορθωτικών ενεργειών. Για αυτό οι ανωτέρω δείκτες και οι απαραίτητες ενέργειες θα πρέπει να ελέγχονται/εκτελούνται σε μεγάλο βαθμό με αυτόματο τρόπο ομοίως. Επίσης μεγάλη βαρύτητα απαιτείται να δοθεί στην οργάνωση και τους κανόνες λειτουργίας αλλά και στην κουλτούρα ασφαλείας που απαιτείται να υπάρχει στην εταιρία-χρήστη ενός πλήρως αυτόνομου ναυτικού συστήματος. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διασφαλιστεί η συνεχής και ακριβής εφαρμογή των διαδικασιών.

## **Κεφάλαιο 3**

### **3.1 Επιχειρησιακές διαδικασίες**

Προκειμένου να καθοριστούν οι περαιτέρω λεπτομέρειες των επιχειρησιακών διαδικασιών που το αυτόνομο πλοίο υποβοήθησης υπεράκτιας εξέδρας εξόρυξης θα ακολουθεί, πρέπει πρώτα να καθοριστούν οι απαιτήσεις από αυτό.

Το πλοίο πρέπει στην αυτόνομη κατάσταση να εκτελεί όλο το εύρος των αποστολών που δύναται να αναλάβει ένα αντίστοιχο χειριζόμενο από ναυτικούς. Το επίπεδο ασφαλείας πρέπει να είναι τουλάχιστον το ίδιο ενώ ο συντελεστής σφάλματος μικρότερος. Δηλαδή το αυτόνομο πλοίο θα πρέπει να ακολουθεί όλες τις θεσπισμένες διαδικασίες οι οποίες έχουν προκύψει μετά την ανάλυση πολυάριθμων ατυχημάτων και near misses καταστάσεων έχοντας μικρότερη πιθανότητα εκτέλεσης λάθους χειρισμού ή παράβλεψης διαδικασίας σε σχέση με τους χειριστές ναυτικούς. Από αυτό συμπεραίνεται ότι οι επιχειρησιακές διαδικασίες του αυτόνομου πλοίου θα πρέπει να βασιστούν στις ήδη χρησιμοποιούμενες διαδικασίες προσέγγισης και εργασίας των offshore supply vessels στις εξέδρες εξόρυξης. Ο τρόπος με τον οποίο αυτό θα γίνει εφικτό είναι ένα από τα αντικείμενα της εργασίας. Επιπρόσθετα προκύπτει και η ανάγκη ύπαρξης ενός συστήματος ελέγχου της διαδικασίας με δυνατότητα αναγνώρισης επερχόμενης επικίνδυνης κατάστασης. Βασιζόμενοι στα αναγραφόμενα στο κεφάλαιο 2 όσον αφορά το υλικό και τη διαθεσιμότητά του παρατηρούμε ότι το πρόβλημα των επιχειρησιακών διαδικασιών καταλήγει σε ένα θέμα οριακών τιμών που περιγράφουν τις οριακές καταστάσεις υπό τις οποίες ένα πλοίο με συγκεκριμένες δυνατότητες μπορεί να επιχειρεί.

Ο επιλεγείς βαθμός αυτονομίας από τους αναφερθέντες στην υποενότητα 1.2.2 ο οποίος για το βαθμό επικινδυνότητας επιβάλλεται είναι ο «Παρακολούθηση εξ αποστάσεως» όπου το πλοίο με τους κατάλληλους αισθητήρες αλλά και επικουρικά με πληροφορίες από εκτός του πλοίου πηγές μπορεί να «συνθέσει» το περιβάλλον, να «αντιλαμβάνεται» την κατάστασή του και να καθορίσει τις επόμενες ενέργειες δίδοντας τη δυνατότητα επίβλεψης από ένα σταθμό ξηράς αλλά και σε ένα επι του πλοίου τερματικό από όπου δύναται

να γίνει παράκαμψη του αυτόνομου συστήματος. Μπορεί να εκτελεί αυτόνομα όλες τις απαιτητές λειτουργίες δίχως πρωτύτερη εξουσιοδότηση.» Η διαφοροποίηση που απαιτείται να γίνει είναι ότι για την έναρξη κάθε σταδίου απαιτείται η εξουσιοδότηση από την εξέδρα ενώ είναι αποδεκτή η παρέμβαση του χειριστή επι του πλοίου όταν προκαθορισμένος αριθμός σφαλμάτων συσκευών και λογισμικού εμφανιστεί στα κύρια και εναλλακτικά συστήματα.

Ως περιορισμός και δεδομένο ακόλουθης σχεδίασης είναι ότι οι εξέδρες στις οποίες το αυτόνομο πλοίο υποστήριξης δύναται να εργαστεί θα πρέπει να είναι εφοδιασμένες με το κατάλληλο υλικό επικοινωνίας και εύρεσης σχετικής θέσης και το προσωπικό τους να λάβει αντίστοιχη εκπαίδευση.

Αρχικά, κατά την προσέγγιση του αυτόνομου σκάφους στην τοποθεσία της εξέδρας αποκαθίσταται ασφαλής αμφίδρομη επικοινωνία για παροχή δεδομένων. Τα δεδομένα που απαιτούνται να ανταλλάξουν μεταξύ τους η εξέδρα και το πλοίο θα είναι σε μορφή προσυμφωνημένης λίστας με τις ανάλογες επισημάνσεις. Τα κυριότερα από αυτά τα δεδομένα και οι ανά στάδιο διαδικασίες παρατίθενται ακολούθως με τις αντίστοιχες επισημάνσεις:

(1) Χρόνος από τον οποίο υφίσταται διαθεσιμότητα υποδοχής του πλοίου από την εξέδρα. Αυτός ο χρόνος είναι προγραμματισμένος συνήθως αρκετές ημέρες νωρίτερα πλην όμως άλλοι λόγοι δύναται να τον μεταβάλλουν.

(2) Χρόνος που πρόκειται να διαρκέσει η εργασία πλησίον της εξέδρας ο οποίος είναι ομοίως κατά προσέγγιση γνωστός.

➤ Από τους ανωτέρω χρόνους με απλό υπολογισμό προκύπτει η δυνατότητα ή μη εκτέλεσης της εργασίας λόγω χρόνου καθώς ανάλογα τη φύση της εργασίας υφίστανται περιορισμοί σχετικοί με την εργασία κατά τη νύχτα. Επιπρόσθετα, σε περίπτωση καθυστέρησης με ευθύνη της εξέδρας, το πλοίο πιθανώς θα πρέπει να μετακινηθεί στον επόμενο προγραμματισμένο προορισμό.

(3) Είδος και ποσότητα προς μεταφορά υλικών ώστε αναλόγως της κατάστασης φόρτωσης του πλοίου να εξαχθεί η δυνατότητα παράδοσης/ παραλαβής αυτών καθώς και να καθοριστεί η σειρά φόρτωσης.

(4) Καθορισμός από την εξέδρα θέσης προσέγγισης πλοίου σε αυτήν σύμφωνα με το είδος της εργασίας και με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες (επιλογή καταλληλότερης εάν υφίσταται εναλλακτική θέση).

(5) Διαβίβαση στοιχείων καιρού τοπικά στην εξέδρα και τη σχετική διεύθυνση ανέμου και κύματος ως προς τη θέση προσέγγισης.

(6) Λήψη στοιχείων καιρού περιοχής δορυφορικά και πρόγνωσης για το χρόνο πέρατος εργασίας συν 2 ώρες.



➤ Με τα στοιχεία αυτά και χρησιμοποιώντας τα εξαχθέντα κατά τις εν πλω δοκιμές στοιχεία του φακέλου γέφυρας που αφορούν τις δυνατότητές του συναρτήσει του καιρού, το πλοίο δύναται να υπολογίσει εάν είναι δυνατή η εκτέλεση συγκεκριμένης εργασίας. Ο υπεύθυνος επί της εξέδρας σε περίπτωση οριακών συνθηκών δύναται να αποφασίσει εάν το πλοίο θα προσεγγίσει για εκτέλεση δοκιμής (προσπάθειας) ή όχι.

➤ Σε όλη τη διάρκεια από την άφιξη στη ζώνη ασφαλείας έως και την απομάκρυνση από αυτή παρακολουθούνται συνεχώς τα δεδομένα καιρού και πρόβλεψης ώστε εάν απαιτηθεί η διακοπή των εργασιών αυτή να γίνει έγκαιρα.

(7) Εφόσον το σύνολο ανωτέρω συνθηκών βάση των υπολογισμών επιτρέπουν την προσέγγιση, το πλοίο λαμβάνει την απαιτούμενη θέση κατά διόπτευση ως προς την εξέδρα και εξωτερικά της ζώνης ασφαλείας σε απόσταση περί τα 600m. Κατά τη μετακίνησή του, στο σύστημα πλοήγησης θα τίθεται κυκλική περιοχή ακτίνας 600m με κέντρο την εξέδρα όπου το πλοίο θα απαγορεύεται να εισέλθει και εφόσον απαιτηθεί θα κινηθεί περιφερειακά.

➤ Εάν μια από τις ανωτέρω βασικές συνθήκες δεν ικανοποιείται τότε ο διαχειριστής του πλοίου μέσω του σταθμού βάσης θα επιλέξει εάν το πλοίο αναμείνει στην περιοχή της εξέδρας έως όταν οι συνθήκες να είναι κατάλληλες ή εάν συνεχίσει για τον επόμενο προορισμό.

(8) Το πλοίο αποστέλλει στην εξέδρα τα υπολογισθέντα στοιχεία αναπρώρισης και ακριβούς θέσης κατά την εργασία και ανακλαστήρες τους οποίους θα χρησιμοποιήσει το σύστημα εύρεσης σχετικής θέσης.

(9) Το πλοίο εκτελεί δοκιμή λειτουργικότητας βασικών συστημάτων αντιμετώπισης διαρροής - πυρκαγιάς και όλων των συστημάτων πρόωσης και παραγωγής ενέργειας (κύριων και εναλλακτικών).

(10) Η εξέδρα θα πρέπει μετά έλεγχο να επιβεβαιώσει τη λειτουργικότητα των ανακλαστήρων καθόσον είναι ανελαστική η απαίτηση χρήσης τους ενώ ακολούθως θα επιβεβαιώσει τα στοιχεία αναπρώρισης και θέσης.

(11) Ακολούθως το πλοίο λαμβάνει την απαιτούμενη αναπρώριση και εκτελεί δοκιμή δυνατότητας τήρησης θέσης με τη χρήση έως 45% της ισχύος των μηχανών του με δύο εκ των διαθεσίμων συστημάτων τήρησης θέσης με χρήση διαφορετικών κυκλωμάτων διαβίβασης εντολών.

(12) Εκτελείται έλεγχος δυνατότητας ανάληψης ελέγχου από το επι του πλοίου προσωπικό ασφαλείας από τη κανονική και back up θέση ελέγχου.

(13) Ελέγχονται τα συστήματα εύρεσης σχετικής θέσης ως προς την εξέδρα, ο εντοπισμός των ανακλαστήρων και ο συσχετισμός μεταξύ 2 συστημάτων στα οποία δεν επιτρέπεται μεταξύ τους απόκλιση μεγαλύτερη από 1m (η ακρίβεια των LASER συστημάτων είναι της τάξης των cm και το μικρό αυτό σφάλμα οφείλεται σε τυχόν μικρή απόκλιση της θέσης ανακλαστήρα και εκπομπού).

➤ Μετά τη διαβίβαση της πληροφορίας ολοκλήρωσης ελέγχων από το πλοίο προς την εξέδρα λαμβάνεται άδεια συνέχισης στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας που είναι η προσέγγιση έως τα 200m. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι σε διαφοροποίηση με τα τηρούμενα από τα χειριζόμενα από ναυτικούς πλοία (σχήμα 1.9.), το αυτόνομο πλοίο θα εκτελέσει την προσέγγιση από τα 500m στα 200m διατηρώντας την τελική αναπλώριση σε βήματα των 50m και όχι απευθείας.

➤ Καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας από το σημείο αυτό έως και την απομάκρυνση εκ νέου στα 200m μετά το πέρας της εργασίας, οποιαδήποτε **σημαντική ανωμαλία** σε κύρια συστήματα θα προκαλεί την άμεση διακοπή της μετακίνησης – εργασίας και μετά έλεγχο ασφαλείας (π.χ. αποκατάσταση εκτελούμενης εργασίας) θα απομακρύνεται εκτός ζώνης ασφαλείας.

(14) Κατά την άφιξη στην προβλεπόμενη θέση στα 200m από την εξέδρα πλοίο ακινητεί και εκτελεί τελική δοκιμή τήρησης θέσης.

(15) Εκτελείται έλεγχος συστημάτων σχετικής θέσης και επιβεβαίωση μετρήσεων μεταξύ διαφορετικών συσκευών.

(16) Συστήματα φόρτωσης και προσωπικό καταστρώματος μεταπίπτει σε άμεση ετοιμότητα.

(17) Από εξέδρα επιβεβαιώνεται ετοιμότητα υποδοχής και δίδεται μέσω αυτόματου συστήματος επικοινωνίας άδεια τελικής προσέγγισης.

➤ Στον κεντρικό υπολογιστή του πλοίου οι ανωτέρω δύο συνθήκες που αφορούν δεδομένα από εξωτερικές πηγές εισάγονται ανά στάδιο από χειριστές και η εκπλήρωσή τους είναι απαραίτητη προϋπόθεση μετάβασης σε επόμενο στάδιο.

(18) Ακολουθώς το πλοίο προσεγγίζει την εξέδρα με βήματα αρχικά των 10m τα οποία απομειούνται όσο μειώνεται η απόσταση από την τελική θέση. Αυτά παρέχονται στο σύστημα DP ως επόμενες θέσεις και

αυτό με τον περιορισμό της ταχύτητας έως 0.3 m/sec εκτελεί τη μετάβαση.

(19) Μετά την άφιξη στη θέση εργασίας και την παρατήρηση του πλοίου ως προς την εξέδρα και τον καιρό από τον υπεύθυνο επί της εξέδρας δίδεται η άδεια έναρξης εργασιών.

➤ Το στάδιο της παραμονή στη θέση εργασίας είναι αυτό που προφανώς ενέχει τον μεγαλύτερο κίνδυνο πρόκλησης ατυχήματος με τραυματισμό ανθρώπων και σοβαρές υλικές ζημιές. Για αυτό τον λόγο πρέπει να καθοριστεί και η περίπτωση σοβαρής βλάβης όπου το πλοίο θα αναχωρήσει άμεσα με διαδικασίες ανάγκης όπου δεν θα υπάρχει χρόνος αποκατάστασης καταστρωμάτων και μεταφερόμενων υλικών ενέχοντας τον κίνδυνο τραυματισμού προσωπικού. Τέτοιες βλάβες είναι η αδυναμία λειτουργίας bow thrusters και η απώλεια ηλεκτρικής ισχύος.

(20) Μετά την περάτωση των εργασιών και τον έλεγχο από τον υπεύθυνο επί της εξέδρας και το προσωπικό επί του πλοίου ως προς την πλήρη αποσύνδεση πλοίου εξέδρας δίδεται η άδεια έναρξης απομάκρυνσης.

(21) Η απομάκρυνση εκτελείται έως τα 200m με τρόπο ανάλογο της προσέγγισης ενώ μετά απομακρύνεται προκειμένου εξέλθει της ζώνης ασφαλείας.

Τα ανωτέρω φαίνονται σε μορφή διαγράμματος ενεργειών στο Διάγραμμα 3.1. και ως διαγράμματα ροής ανά φάση στα διαγράμματα 3.3.,3.4.και 3.5..

Για κάθε πλοίο θα πρέπει να καταρτίζεται πίνακας ικανότητας αντίστοιχος του πίνακα 3.1. Τα συστήματα κατατάσσονται στην κατηγορία “1”, “2”, “3” ανάλογα με την επίπτωση που έχει μία πιθανή βλάβη αυτού στην συνολική ικανότητα του πλοίου. Σημαντική ανωμαλία θεωρείται μια βλάβη κατηγορίας “1” του πίνακα 3.1., ή δύο βλάβες κατηγορίας “2”. Αναλόγως του βαθμού επικάλυψης λειτουργίας των συστημάτων (πόσα εναλλακτικά συστήματα ανά είδος υφίστανται) θα καταρτίζεται πίνακας σε μορφή matrix όπου ο συνδυασμός των βλαβών θα οδηγεί στον καθορισμό ενός βαθμού ικανότητας ανά λειτουργία (π.χ. μεταφορά υγρών καυσίμων σε συνδυασμό με βλάβη αντίστοιχης αντλίας) και ενός άλλου ως προς την συνολική ικανότητα να επιτελέσει το πλοίο συγκεκριμένες δραστηριότητες (αριθμός διαθέσιμων ηλεκτρομηχανών σε συνδυασμό με κίνηση που απαιτεί λειτουργία ηλεκτροκίνητου bow thruster). Έτσι όταν η ικανότητα ανά λειτουργία ή η συνολική για το εκτελούμενο έργο μειωθεί κάτω από 2 (ικανότητα 200%) το πλοίο θα κινείται εκτός ζώνης ασφαλείας. Ο ανωτέρω βαθμός επικάλυψης

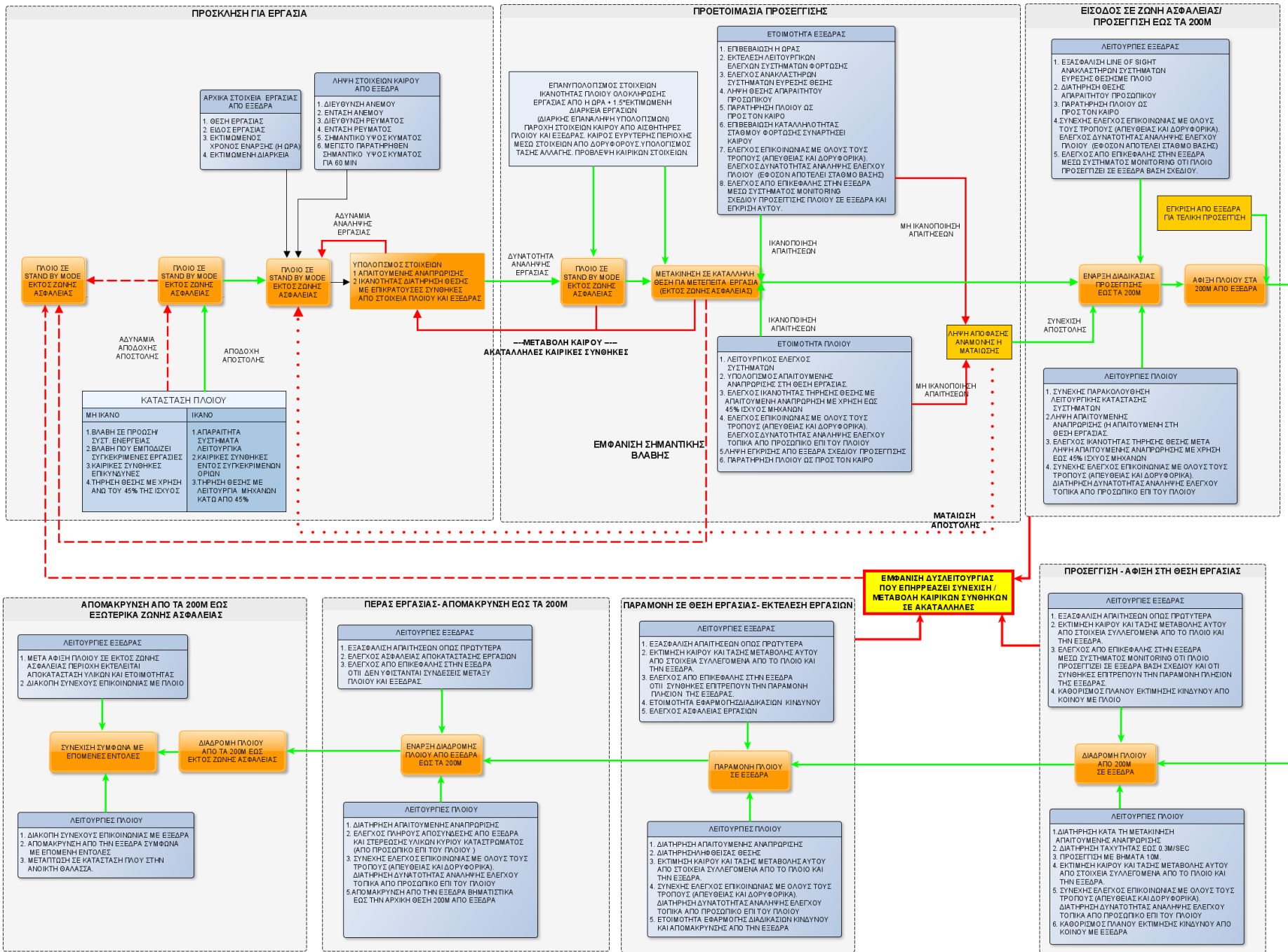
αναφέρεται στον κανονισμό DNVGL-CG-0264 (2018) ως ο ελάχιστος κατά την κατασκευή ενός αυτόνομου πλοίου γενικά (αρχικός) πλην όμως στην περίπτωση μας λόγω της επικινδυνότητας της εργασίας ο βαθμός επικάλυψης αυτός θα είναι ο ελάχιστος αποδεκτός μετά από βλάβη.

Η επίτευξη μεγαλύτερης επικάλυψης συστημάτων επιδρά άμεσα στο κόστος κτίσης του πλοίου και στα logistics γενικότερα με αποτέλεσμα η σχεδίαση του πλοίου να έχει ως στόχο την επίτευξη της ελάχιστης απαιτούμενης ασφάλειας με το μικρότερο κόστος και όχι την κατασκευή ενός πλοίου υπερβολικά ασφαλούς αλλά ταυτόχρονα απαγορευτικού στην υλοποίηση από πλευρά κόστους στην κτίση και τη λειτουργία του.

*Πίνακας 3.1: Ενδεικτική κατάταξη σημαντικών για την εκτέλεση της εργασίας συστημάτων ενός αυτόνομου πλοίου εξυπηρέτησης υπεράκτιας εξέδρας εξόρυξης.*

<b>Συστήματα κατηγορίας 1 (τρία ανά είδος σε λειτουργία)</b>	<b>Συστήματα κατηγορίας 2</b>	<b>Συστήματα κατηγορίας 3 Δεν επηρεάζει ολοκλήρωση εργασίας.</b>
<b>(1)</b> Κεντρικός υπολογιστής	<b>(5)</b> Ηλεκτρομηχανές (ελάχιστη κάλυψη αναγκών 300%)	<b>(9)</b> Αδρανειακό σύστημα (απαιτείται 1 σε λειτουργία και δύναται στη θέση εργασίας να υποκατασταθεί από το <b>(2)</b> )
<b>(2)</b> Συστήματα εύρεσης σχετικής θέσης	<b>(6)</b> Συστήματα εύρεσης απόλυτης θέσης (στην τελική προσέγγιση και στη θέση εργασίας στοιχεία λαμβάνονται από το <b>(2)</b> )	<b>(10)</b> Ραντάρ μεγάλης απόστασης (στην τελική προσέγγιση και στη θέση εργασίας δεν απαιτείται η λειτουργία του).
<b>(3)</b> Σύστημα αυτοματοποιημένου κέντρου ελέγχου πρόωσης.	<b>(7)</b> Ραντάρ καιρού εφόσον λαμβάνονται δεδομένα και από ραντάρ εξέδρας (σε άλλη περίπτωση μεταπίπτει σε κατηγορία 1)	
<b>(4)</b> Σύστημα επικοινωνίας	<b>(8)</b> Πυξίδα (τουλάχιστον 3 συσκευές)	

Διαγράμμα 3.1.: Διαγράμμα ενεργειών αυτονομου πλοίου υποστηρίξης εξόδου κατά τη προσέγγιση, ερυσσία και απομάκρυνση από αυτή.



### 3.2 Διαγράμματα ροής φάσεων προσέγγισης

Ακολούθως θα περιγραφούν οι βασικές λειτουργίες με τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις προκειμένου ένα υπολογιστικό σύστημα να κατευθύνει αυτόνομα το πλοίο από την περιοχή πέριξ της εξέδρας στην θέση εργασίας στην εξέδρα και ξανά εκτός ζώνης ασφαλείας. Οι λεπτομέρειες για τις επιμέρους διεργασίες είναι ως παρατίθενται στην υποενότητα 3.1..

Αρχικά κατά την άφιξη στην περιοχή της εξέδρας εκτελείται τελική επιβεβαίωση δυνατότητας εκτέλεσης της εργασίας από άποψη οργάνωσης.

Ακολούθως εκτελείται έλεγχος εφικτότητας υλοποίησης διαδικασίας εξετάζοντας τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και τις δυνατότητες του πλοίου για την απαιτούμενη αναπλώριση (διαφορετική θέση εργασίας με διαφορετική αναπλώριση οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα. Ο εν λόγω έλεγχος εκτελείται για τις παρούσες καιρικές συνθήκες αλλά και του προσεχούς διαστήματος (έως αναμενόμενης περάτωσης εργασιών σύν 50% της εκτιμώμενης διάρκειας). Εάν οι καιρικές συνθήκες είναι ακατάλληλες αλλά προβλέπεται βελτίωσή τους τότε εκτιμάται η δυνατότητα εκτέλεσης της εργασίας σε μετέπειτα χρονικό διάστημα ανάλογα με τον επόμενο προγραμματισμό του πλοίου.

Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος όλων των λειτουργικών συστημάτων του πλοίου και των απαραίτητων για την εκτέλεση της απαιτούμενης εργασίας στην εξέδρα. Ταυτόχρονα το πλοίο λαμβάνει την υπολογισθείσα αναπλώριση και εκτελεί δοκιμές τήρησης θέσης με αυτήν. Τυχόν ανωμαλίες που δύναται να αποκατασταθούν διορθώνονται και το πλοίο προσεγγίζει τα εξωτερικά όρια της ζώνης ασφαλείας.

Τα ανωτέρω φαίνονται στο διάγραμμα 3.3.

Το επόμενο στάδιο αφορά την προετοιμασία προσέγγισης στην εξέδρα σε απόσταση μικρότερη της ασφαλείας και είναι ταυτόχρονα η αρχή της προσέγγισης καθώς το πλοίο στο τέλος αυτής κινείται βάση των ίδιων διατάξεων. Σε αυτό, το πλοίο λαμβάνει θέση στο σημείο εισόδου και κινείται με μικρές ταχύτητες λαμβάνοντας πλέον το στοιχείο της σχετικής απόστασης από τα αντίστοιχα συστήματα ακριβείας (μικρών αποστάσεων) και η εκτέλεση της κίνησης αναλαμβάνεται από το σύστημα DP. Κεφαλαιώδους σημασίας είναι η δυνατότητα επικοινωνίας με την εξέδρα με όλους τους τρόπους. Εφόσον το προσωπικό και τα συστήματα στην εξέδρα είναι σε κατάσταση ετοιμότητας υποδοχής του πλοίου και το σχέδιο προσέγγισης του πλοίου εγκρίνεται από τον επικεφαλής της διαδικασίας στην εξέδρα δίδεται η εντολή εκκίνησης διαδικασίας προσέγγισης. Εάν διαπιστωθεί ανάγκη διορθωτικών ενεργειών τότε η έναρξη διαδικασίας αναβάλλεται έως την περάτωση αυτών

Τα ανωτέρω φαίνονται στο διάγραμμα 3.4.

Το επόμενο στάδιο αφορά τις διαδικασίες από την είσοδο του πλοίου στη ζώνη ασφαλείας έως και την έξοδό του όταν τελειώσει με την απαιτούμενη εργασία ή ενωρίτερα εφόσον απαιτηθεί.

Σε όλη τη διάρκεια του σταδίου αυτού, εφόσον μέσω του συστήματος ελέγχου του αυτόνομου συστήματος διαπιστωθεί ανωμαλία αυτή αξιολογείται ομοίως αυτόνομα ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας. Στην περίπτωση που κριθεί ότι το αυτόνομο σύστημα δεν δύναται να εκτελεί με ασφάλεια τη διαδικασία προσέγγισης ή διατήρησης θέσης τότε ο έλεγχος αναλαμβάνεται από το προσωπικό που επιβαίνει για αυτό τον λόγο ώστε να το απομακρύνει ασφαλώς από την εξέδρα.

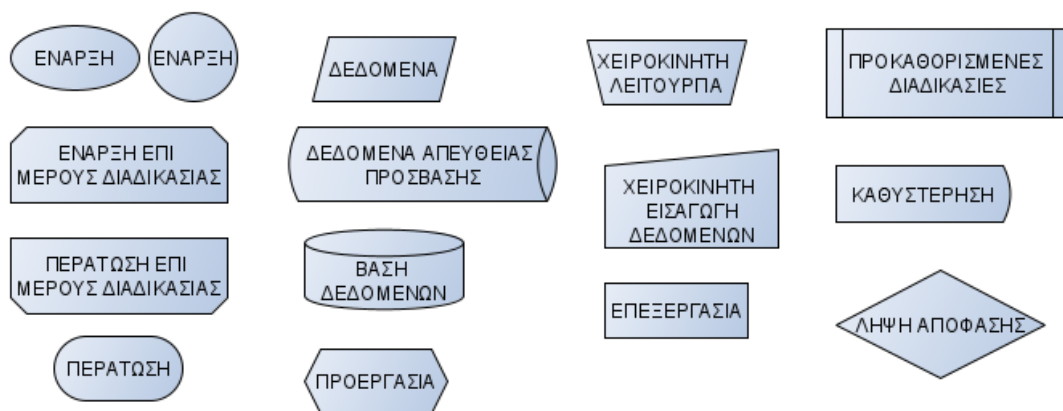
Τα στοιχεία που απαιτείται να υπολογίζονται διαρκώς είναι η επόμενη θέση εκφρασμένη σε διόπτευση απόσταση από την τρέχουσα καθώς και η απόσταση από τους αναγνωρισθέντες ανακλαστές στην επιθυμητή θέση. Με τα στοιχεία αυτά το σύστημα DP μπορεί να εκτελεί την κίνηση ομαλά. Όσον αφορά την διατήρηση στη θέση εργασίας, αυτή εκτελείται με όμοιο τρόπο μόνο που ως επόμενη θέση είναι η συνεχώς διορθωμένη επιθυμητή θέση καθώς λόγω έκπτωσης του πλοίου θα απαιτείται συνεχής διόρθωση.

Σε περίπτωση όπου βάση προκαθορισμένων τιμών σε συγκεκριμένα μεγέθη (καιρού, θέσης πλοίου, δυνατοτήτων πλοίου) ή απόφασης από την εξέδρα απαιτηθεί η διακοπή της εργασίας, τότε στο σύστημα DP διαβιβάζονται στοιχεία επόμενης θέσης τέτοια ώστε να απομακρυνθεί από την εξέδρα. Όσον αφορά το πλοίο, πρέπει να οριστεί μια περιοχή της τάξης του 20% πριν τις οριακές τιμές όπου θα ειδοποιείται αυτόματα ο επικεφαλής επί της εξέδρας προκειμένου να τηρείται αυξημένη ετοιμότητα διακοπής των εργασιών.

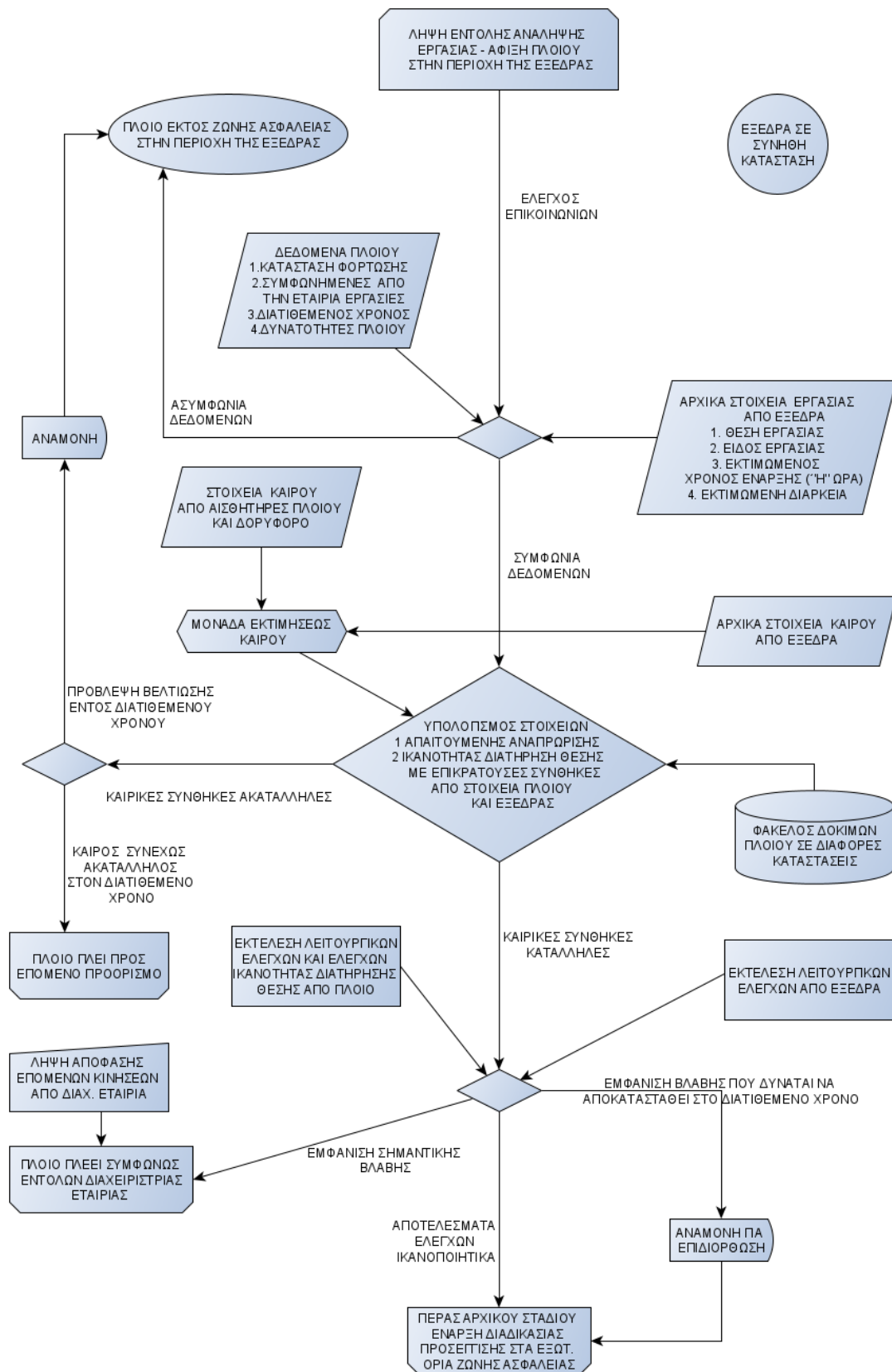
Το πλοίο μετά το πέρας των εργασιών και εφόσον έχουν αφαιρεθεί οι διάφορες συνδέσεις του με την εξέδρα, λαμβάνει από τον επικεφαλής επί της εξέδρας την άδεια απομάκρυνσης η οποία εκτελείται αντίστοιχα με την προσέγγιση. Μετά και την έξοδο από τη ζώνη ασφαλείας το πλοίο και η εξέδρα μεταπίπτουν σε συνήθη λειτουργία.

Τα ανωτέρω φαίνονται στο διάγραμμα 3.5.

Για την ανάγνωση των κατωτέρω διαγραμμάτων 3.3 έως 3.5 παρατίθεται το ακόλουθο διάγραμμα 3.2 όπου επισημαίνονται οι λειτουργίες των χρησιμοποιούμενων σχημάτων.

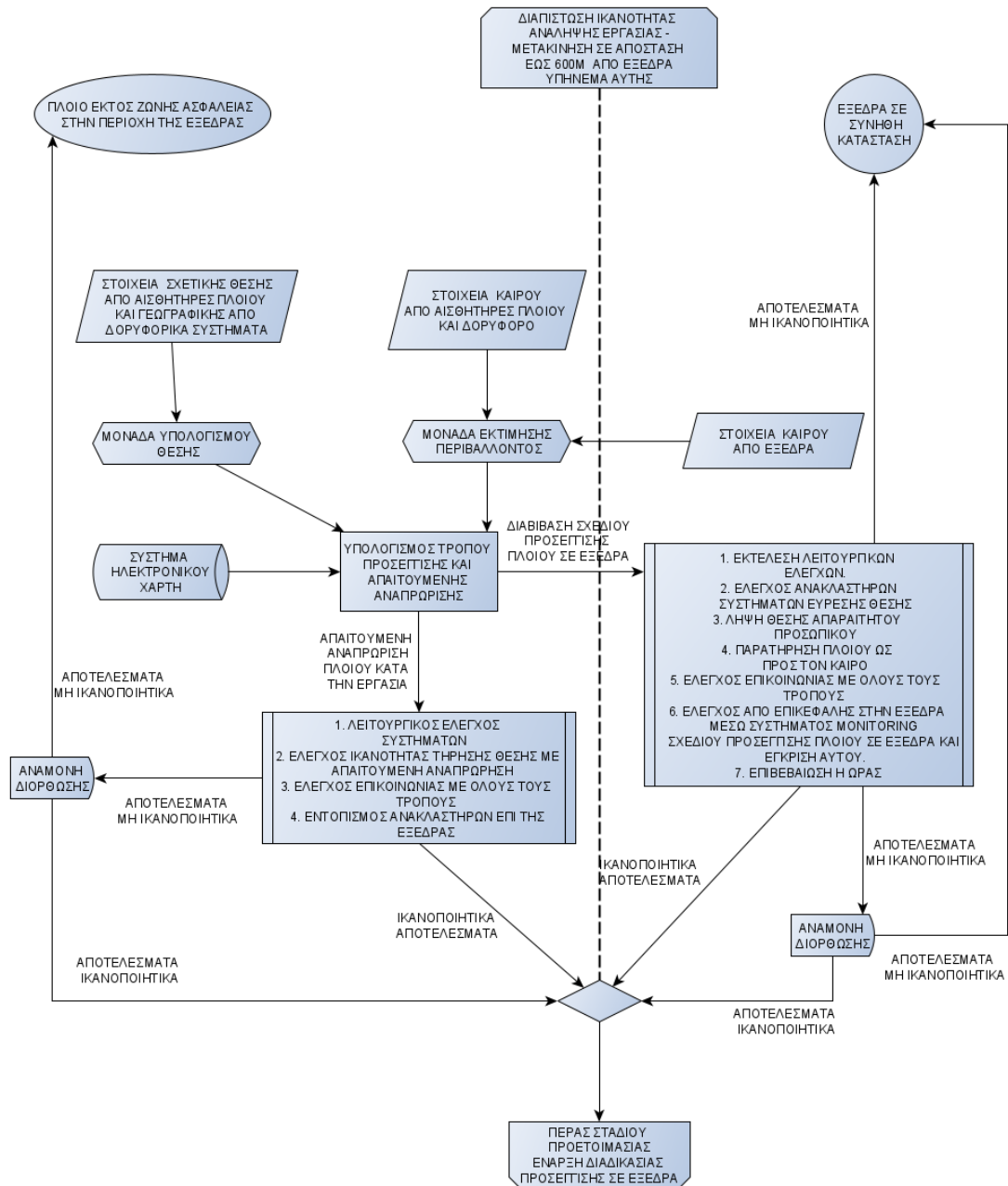


Διάγραμμα 3.2: Αντιστοίχιση λειτουργιών με χρησιμοποιούμενα σχήματα..

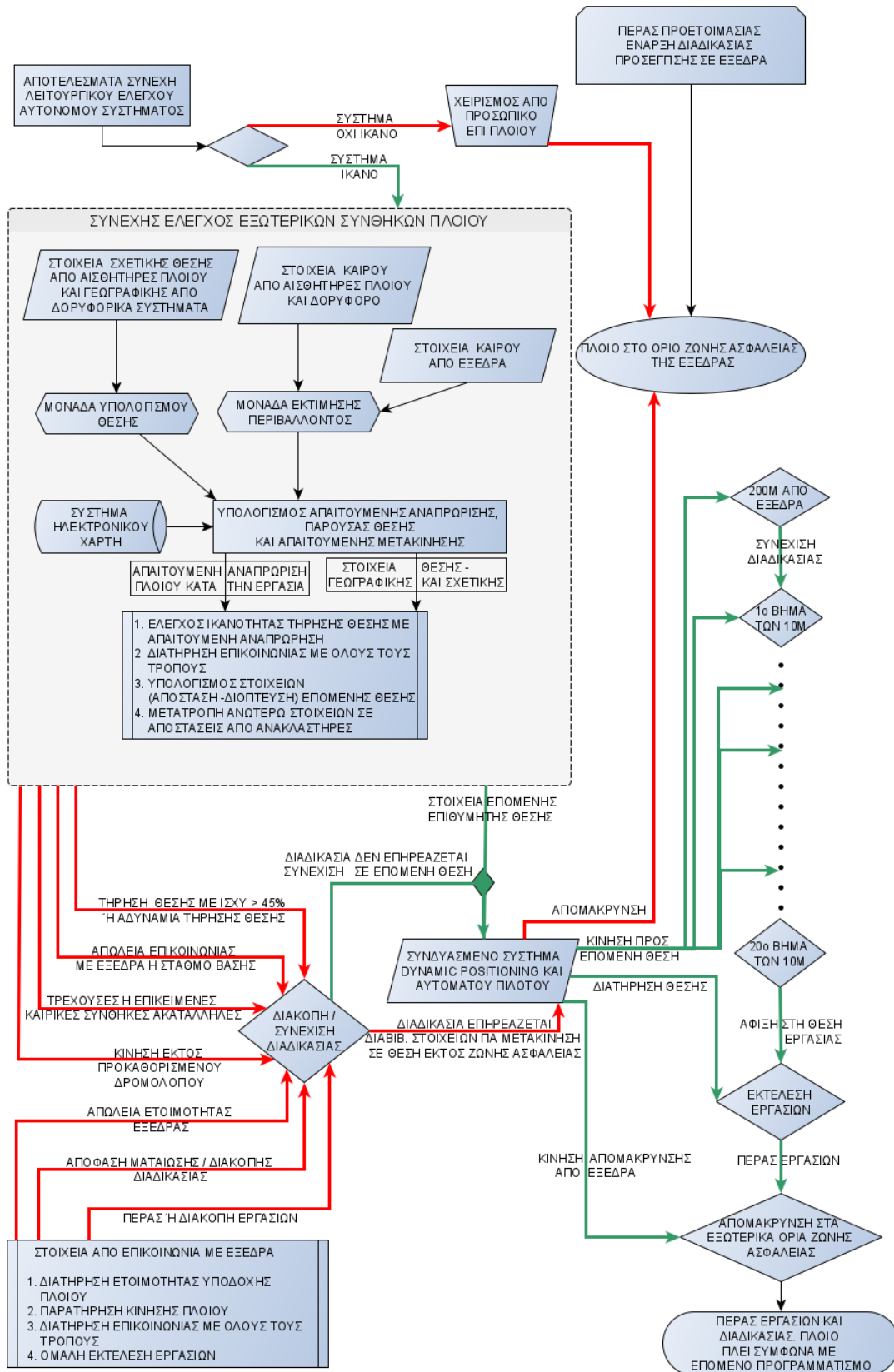


Διάγραμμα 3.3: Στάδιο προσδιορισμού δυνατότητας υλοποίησης διαδικασίας.





Διάγραμμα 3.4: Στάδιο προετοιμασίας προσέγγισης.



Διάγραμμα 3.5: Στάδιο προσέγγισης, εκτέλεσης εργασίας και απομάκρυνσης.

## Κεφάλαιο 4

### 4.1 Αποτελέσματα

Κατά τη σύνταξη της παρούσας εργασίας έγινε αναγνώριση συγκεκριμένων συστημάτων και συσκευών τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται και έχει επί μακρό αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά τους και δύναται να υποκαταστήσουν συγκεκριμένες ικανότητες των ναυτικών και να εκτελούν συγκεκριμένα έργα με τρόπο απαλλαγμένο από τα λάθη του ανθρώπου. Η σημαντικότερη πρόκληση ήταν ο καθορισμός των ενεργειών του αυτόνομου πλοίου και ο συνδυασμός με αυτές της εξέδρας υποδοχής ώστε να επιτευχθεί η ασφαλής εκτέλεση της διαδικασίας προσέγγισης, εκτέλεσης εργασίας και ασφαλούς απομάκρυνσης. Παρατηρήθηκε ότι λόγω της επικινδυνότητας της εργασίας έχουν θεσπιστεί κανόνες ιδιαίτερα περιοριστικοί αλλά και λεπτομερείς. Η φύση τους είναι τέτοια που δεν αφήνει περιθώρια για εκτέλεση από τους ναυτικούς χειρισμών κατά το δοκούν και όσον αφορά τη δημιουργία ενός αυτόνομου πλοίου, οι κανόνες αυτοί είναι εφικτό να ακολουθηθούν από ένα υπολογιστικό σύστημα ως αναγνωρίσιμα στάδια μιας διαδικασίας.

Χωρίζοντας τη διαδικασία σε στάδια και θέτοντας σε ένα υπολογιστικό σύστημα τα όρια τα οποία ήδη υφίστανται σε μετρήσιμες τιμές (π.χ. ένταση και διεύθυνση ανέμου, ύψος κύματος, κατάσταση φόρτωσης μηχανών, πορεία, αποστάσεις κ.α.) και τις αντίστοιχες ενέργειες τις οποίες είναι υποχρεωμένοι να ακολουθούν οι ναυτικοί, μπορούμε να προσδιορίσουμε την δυνατότητα εκτέλεσης του επόμενου σταδίου ή όχι. Σημαντική παράμετρος είναι η ασφαλιστική δικλείδα της αποδοχής από την εξέδρα της συνέχισης της διαδικασίας. όπως με τις παρούσες διαδικασίες ήδη εφαρμόζεται.

Ακολουθως πρέπει να εκτελούνται οι κατάλληλοι υπολογισμοί εύρεσης επόμενης απαιτούμενης θέσης και αναπρώρησης (απλοί υπολογισμοί) των οποίων το εξαγόμενο αποτέλεσμα θα διαβιβάζεται στο συνδυασμένο σύστημα αυτομάτου πιλότου και DP ώστε ακολούθως να υλοποιείται.

Μέσω της επανάληψης της ανωτέρω διαδικασίας ανά στάδιο όπως περιγράφεται ακριβέστερα στο κεφάλαιο 3, το πλοίο λαμβάνει τη θέση εργασίας και αναμένει το πέρας αυτής ώστε να απομακρυνθεί χρησιμοποιώντας τα ίδια συστήματα και τον ίδιο τρόπο όπως συμβαίνει στη σύγχρονη πραγματικότητα (μέσω του συστήματος DP και λήψη στοιχείων από τα συστήματα ευρέσεως σχετικής θέσης).

Στα διαγράμματα ροής που περιγράφουν τα απαιτούμενα στάδια παρατηρούμε όλα δύναται να εκτελεστούν από το πλοίο αυτόνομα καθώς μπορεί να συνθέσει το περιβάλλον του και να εκτελέσει κινήσεις σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο πλάνο. Στα διάφορα κομβικά σημεία, αλλά και για συγκεκριμένες λειτουργίες / τιμές φυσικών μεγεθών, έχουν τεθεί όρια ασφαλείας όπου δίχως κάποιο πολύπλοκο υπολογισμό η διαδικασία ακυρώνεται και το πλοίο επιστρέφει στην ασφάλεια.

## **4.2 Προτάσεις**

Η δημιουργία ενός αυτόνομου πλοίου υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας πετρελαίου και αερίου είναι όχι μόνο εφικτή αλλά και οικονομικά ωφέλιμη για τον χρήστη ενός τέτοιου πλοίου. Για να πειστούν οι χρήστες των πλοίων αυτών για την ασφάλεια χρήσης της αυτόνομης πλατφόρμας θα πρέπει αρχικά να δημιουργηθεί ένα αυτόνομο πλοίο υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας μικρού σχετικά, με την εξυπηρετούμενη εξέδρα, εκτοπίσματος το οποίο σε περίπτωση ατυχήματος, αυτό να μην είναι καταστροφικό για την εξέδρα.

Η χρήση αυτού του πλοίου μοντέλο θα μας δώσει τη δυνατότητα όχι μόνο να αξιολογηθεί η αυτόνομη τεχνολογία και οι αντίστοιχες επιχειρησιακές διαδικασίες αλλά κυρίως να εκτελέσουμε βελτιώσεις που αφορούν παράγοντες οι οποίοι δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν και εξετάζονται μόνο στην πράξη αλλά και να εκπαιδεύσουμε τις ομάδες ανθρώπων που θα αναλάβουν τη λειτουργία των πρώτων σε πλήρη κλίμακα αυτόνομων πλοίων.

Σημαντική επίσης θα είναι η συμβολή σε θέματα ασφαλείας σε αυτόνομα συστήματα καθώς θα μπορέσουμε από το στοχαστικό επίπεδο / διαδικασία να μεταβούμε στο πρακτικό και να εκτελέσουμε τις απαραίτητες βελτιώσεις.

## **4.3 Περαιτέρω ενέργειες**

Για την αρτιότερη κατάρτιση των επιχειρησιακών διαδικασιών προκειμένου αυτές εφαρμοστούν αυτούσιες σε ένα υπό δοκιμή αυτόνομο πλοίο απαιτείται να εφαρμοστούν αρχικά από το πλήρωμα ενός συμβατικού πλοίου υποστήριξης υπεράκτιας εξέδρας. Το πλήρωμα θα πρέπει βάση ενός αυστηρού πρωτοκόλλου να ακολουθεί επακριβώς τις προβλεπόμενες ενέργειες του αυτόνομου πλοίου. Δηλαδή για συγκεκριμένες τιμές των φυσικών μεγεθών ή των εξ υπολογισμού δεδομένων θα πρέπει να εκτελεί συγκεκριμένες ενέργειες. Αντίστοιχα θα πράττει και το πλήρωμα της εξέδρας. Με τον τρόπο αυτό θα επιτευχθεί ένα είδος προσομοίωσης αλλά υπό πραγματικές συνθήκες. Με τον τρόπο αυτό θα μπορέσουμε να επιφέρουμε τις απαραίτητες βελτιώσεις στις οριακές τιμές τις οποίες θα χρησιμοποιεί το αυτόνομο σύστημα για να ενεργεί.

Στο επόμενο και τελικό βήμα πριν τη μετάβαση στην πλήρως αυτόνομη λειτουργία όπως περιεγράφηκε, είναι η θέση σε λειτουργία του αυτόνομου συστήματος υπό επιτήρηση και δυνατότητα ανθρώπινης παρέμβασης σε όλες τις σημαντικές λειτουργίες του. Με τον τρόπο αυτό θα μπορέσουμε να πιστοποιήσουμε την λειτουργικότητα του αυτόνομου πλοίου και την αποτελεσματικότητα των επιχειρησιακών διαδικασιών.

#### 4.4 Συμπεράσματα

Η προσπάθεια δημιουργίας αυτόνομων πλοίων αν και μετρά λίγα χρόνια έχει να επιδείξει σημαντικά αποτελέσματα. Σύμμαχος αυτής της προσπάθειας είναι η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα των αυτοματισμών των υπολογιστών και ακολούθως και της τεχνητής νοημοσύνης. Η ναυτιλία από νωρίς ενσωμάτωσε τις τεχνολογίες αυτές σε διάφορες δραστηριότητες των ναυτικών και την κατασκευή των πλοίων ώστε να τα καταστήσει πιο ασφαλή και πιο αποδοτικά σε όρους οικονομικούς. Η σταδιακή χρήση των μηχανών σε όλο και πιο απαιτητικές και σημαντικές από άποψη ασφάλειας εργασίες είχε ως αποτέλεσμα την αποδοχή αυτών ως ασφαλέστερες από τον άνθρωπο.

Ο συνδυασμός των ανωτέρω δοκιμασμένων συστημάτων τα οποία έως τώρα επιβοηθούσαν τον άνθρωπο ή τον υποκαθιστούσαν σε συγκεκριμένες εργασίες προδιαγράφει τη δυνατότητα κατασκευής πλήρως αυτόνομων πλοίων τα οποία θα εκτελούν όλο το εύρος των δραστηριοτήτων.

Η μετάβαση στην ευρέως διαδεδομένη αυτόνομη ναυτιλία έχει ακόμα δρόμο να καλύψει πλην όμως τα πρώτα σημαντικά βήματα έχουν γίνει με την κατασκευή πολυάριθμων σκαφών σε ερευνητικό στάδιο αλλά και των πρώτων πλοίων για εμπορική εκμετάλλευση.

Σημαντικό ανασταλτικό παράγοντα στην εφαρμογή σε μεγάλη έκταση της αυτόνομης ναυτιλίας αποτελεί η αυτοεπισκευαστική ικανότητα σε περίπτωση βλάβης ή αύξηση της οποίας σε ικανοποιητικό επίπεδο απαιτεί σημαντική αύξηση του κόστους κτίσης και λειτουργίας. Επιπρόσθετα, οι μέτοχοι των ναυτιλιακών εταιριών δεν είναι ακόμα έτοιμοι να εμπιστευτούν στις μηχανές πλοία και εξέδρες πολλών εκατομμυρίων Ευρώ.

Είναι λοιπόν εφικτή η κατασκευή ενός αυτόνομου πλοίου υποστήριξης εξέδρας αερίου και πετρελαίου και όχι παρά το γεγονός της αυξημένης επικινδυνότητας αλλά ακριβώς εξαιτίας αυτής. Το αυτόνομο πλοίο δεν θα υποπέσει σε σφάλμα λόγω ελλιπούς εκπαίδευσης, κόπωσης ή κακής κρίσης αλλά θα ακολουθεί το πρωτόκολλο ασφαλείας η παραβίαση του οποίου είναι από τις κύριες αιτίες των ατυχημάτων. Το αυτόνομο πλοίο δεν θα μπορεί να επισπεύσει τις διαδικασίες για να προλάβει τον επόμενο πελάτη ενώ η εκτέλεση των λειτουργιών του μπορεί να παρακολουθείται στο μέγιστο βαθμό. Το κύριο εμπόδιο στη δημιουργία του είναι απόκτηση της εμπιστοσύνης του χώρου της υπεράκτιας εξόρυξης. Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για ένα χώρο όπου η καινοτομία είναι παρούσα σε κάθε διάστασή του, ταυτόχρονα πρόκειται για ένα χώρο όπου η παγίωση των διαδικασιών ασφαλείας είναι κρίσιμη για τη συνέχιση και κερδοφορία οπότε και οι αλλαγές σε αυτές είναι δύσκολες.

## Βιβλιογραφία

- AGCS, 2017. *safety4sea.com*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://safety4sea.com/allianz-human-error-behind-75-percent-of-marine-casualties/>  
[Πρόσβαση 25 Μάιος 2020].
- American Bureau of Shipping , 2020. *GUIDE FOR DYNAMIC POSITIONING SYSTEMS*, NEW YORK: American Bureau of Shipping .
- Anon., 2018. *Offshore-Energy*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://cdn.offshorewind.biz/wp-content/uploads/sites/6/2018/12/05032621/ensco-72-sp-mac.jpg>  
[Πρόσβαση 31 1 2021].
- AUTOSHIP , 2020. *www.autoship-project.eu*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.autoship-project.eu/the-project/](http://www.autoship-project.eu/the-project/)  
[Πρόσβαση 28 Απρίλιος 2020].
- B. Liu, S. W. Z. X. J. Z. & M. L., 2019. Ship Recognition and Tracking System for Intelligent Ship Based on Deep Learning Framework. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, December, Τόμος 13.
- bbc.com, 2015. *www.bbc.com*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-north-east-orkney-shetland-33187807>  
[Πρόσβαση 30 Μάιος 2020].
- Bjørnar Aas, Øyvind Halskau Sr και Stein W. Wallace, 2009. *The role of supply vessels in offshore logistics*, Molde, Norway: Molde University College, The Norwegian School of Logistics.
- Bureau Veritas, 2017. *Guidelines for Autonomous Shipping*, s.l.: Bureau Veritas.
- DNV GL AS, 2018. *DNVGL-CLASS GUIDELINE-0264 Autonomous and remotely operated ships*. s.l.:DNV GL.
- equinor.com, 2019. *www.equinor.com*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.equinor.com/en/news/sammenstoet-mellom-statfjorda-og-supplyfartoeey.html](http://www.equinor.com/en/news/sammenstoet-mellom-statfjorda-og-supplyfartoeey.html)  
[Πρόσβαση 28 Σεπτεμβριος 2020].
- Guidance Marine, 2021. *Guidance Marine*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.guidance.eu.com/CyScan-AS](http://www.guidance.eu.com/CyScan-AS)  
[Πρόσβαση 30 1 2021].
- Guidance Marine, 2021. *Guidance Marine*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.guidance.eu.com/artemis-and-validator](http://www.guidance.eu.com/artemis-and-validator)  
[Πρόσβαση 30 1 2021].
- Guidance Marine, 2021. *Guidance Marine*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.guidance.eu.com/radascan-view](http://www.guidance.eu.com/radascan-view)  
[Πρόσβαση 29 1 2021].

Guidance Marine, 2021. *Guidance Marine*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.guidance.eu.com/SceneScan](http://www.guidance.eu.com/SceneScan)  
[Πρόσβαση 30 1 2021].

IMO- Maritime Safety Committee-101st session, 2019. *INTERIM GUIDELINES FOR MASS TRIALS*. LONDON, IMO.

K. Wróbel & P. Krata, J. M., 2019. Preliminary Results of a System-theoretic Assessment of Maritime Autonomous Surface Ships' Safety. *Trasns Nav (the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Δεκέμβριος, Τόμος 13.

KONGSBERG MARINE, 2017. [www.kongsberg.com](http://www.kongsberg.com). [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/](http://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/)  
[Πρόσβαση 25 Απρίλιος 2020].

Kongsberg Maritime, 2020. *Kongsberg Maritime*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.kongsberg.com/maritime/products/vessel-reference-systems/position-systems/relative-position-reference-system-radius/](http://www.kongsberg.com/maritime/products/vessel-reference-systems/position-systems/relative-position-reference-system-radius/)  
[Πρόσβαση 29 12 2020].

Krzysztof Wróbel, J. M. P. K., 2016. *Towards the development of a system-theoretic model for safety assessment of autonomous merchant vessels*. s.l.:ELSEVIER.

Lloyd's Register, 2017. *ShipRight procedure assignment for cyber descriptive notes for autonomous & remote access ships*, s.l.: Lloyd's Register.

Maritime Safety Committee (MSC) Circular 1580, 2017. *IMO Guidelines for Vessels and Units with Dynamic Positioning (DP) Systems*, LONDON: International Marine Contractors Association (IMCA) .

Miros AS, 2020. [www.miros-group.com](http://www.miros-group.com). [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.miros-group.com/products/wave-and-current-radar/](http://www.miros-group.com/products/wave-and-current-radar/)  
[Πρόσβαση 30 1 2021].

MUNIN results, 2016. [www.unmanned-ship.org](http://www.unmanned-ship.org). [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/munin-results-2/>  
[Πρόσβαση 30 Μάιος 2020].

Norwegian Shipowners' Association, Norwegian Oil and Gas Association, Netherlands Oil & Gas Production Association, Danish Shipowners Association, Oil & Gas UK και United Kingdom Chamber of Shipping , 2020. *Guidelines for Offshore Marine Operations (GOMO)*. s.l.:s.n.

NWEA, 2009. *Guidelines for the Safe Management of Offshore Supply and Rig Move Operations, Version 2*, s.l.: s.n.

Prasad, D. & P. C. & R. D. & R. L. & R. E. & Q. C., 2017. *Maritime situational awareness using adaptive multi-sensor management under hazy conditions*, s.l.: www.researchgate.net.

Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering , 2011. *COLLISIONS BETWEEN PLATFORMS AND SHIPS IN NORWAY IN THE PERIOD 2001-2010 του Arne Kvitrud*. Rotterdam, The Netherlands, s.n.

- Raytheon Anschütz , χ.χ. [www.raytheon-anschuetz.com](http://www.raytheon-anschuetz.com). [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.raytheon-anschuetz.com/products/product-range/marine-inertial-navigation-system-mins/](http://www.raytheon-anschuetz.com/products/product-range/marine-inertial-navigation-system-mins/)  
[Πρόσβαση 30 12 2020].
- Remocean, 2020. *Remocean*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <http://www.remocean.it/navigation-safety/>  
[Πρόσβαση 30 5 2020].
- Rolls Royce, 2018. [www.rolls-royce.com](http://www.rolls-royce.com). [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx](http://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx)  
[Πρόσβαση 25 Μάιος 2020].
- STEP CHANGE IN SAFETY, 2020. *MARINE OPERATIONS:500M SAFETY ZONE*. Aberdeen:  
[www.stepchangeinsafety.net/](http://www.stepchangeinsafety.net/).
- Taylor & Francis Group, 2013. *Proceedings of the 6th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures, Iccgs, Trondheim, Norway*, London, UK:  
Taylor & Francis Group.
- Thieme, C. A., 2018. *Risk Faculty of Engineering Analysis and Modelling of Autonomous Marine Systems*. Trondheim: Department of Marine Technology /Norwegian University of Science and Technology.
- UK Hydrographic Office, 2020. *Admiralty - Maritime Data Solutions*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.admiralty.co.uk/digital-services/digital-charts/admiralty-vector-chart-service](http://www.admiralty.co.uk/digital-services/digital-charts/admiralty-vector-chart-service)  
[Πρόσβαση 29 1 2021].
- Veronica Jaramillo Jimenez, N. B. A. H. G., 2020. Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. Στο: *Journal of Ocean Engineering and Science December 2020*. s.l.:ELSEVIER, pp. 358-386.
- Wikipedia, the free encyclopedia, 2021. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_identification\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_identification_system)  
[Πρόσβαση 30 1 2021].
- Yara International, 2020. [www.yara.com](http://www.yara.com). [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/](http://www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/)  
[Πρόσβαση 29 1 2021].
- Zhang Pengfei, Z. M. S. R. F. R., 2016. *Research on Prevention of Ship Collisions with Oil Rigs*. s.l.:Journal of Shipping and Ocean Engineering 6 (2016) 279-283.
- Zhang, S. P. P. T. & O. H., 2015. Collisions damage assessment of ships and jack-up rigs.. Στο: *Ships and Offshore Structures*. s.l.:Taylor & Francis Group, pp. Volume 10, Issue 5: Loads on Ships and Offshore Structures.