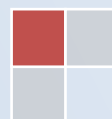


2020

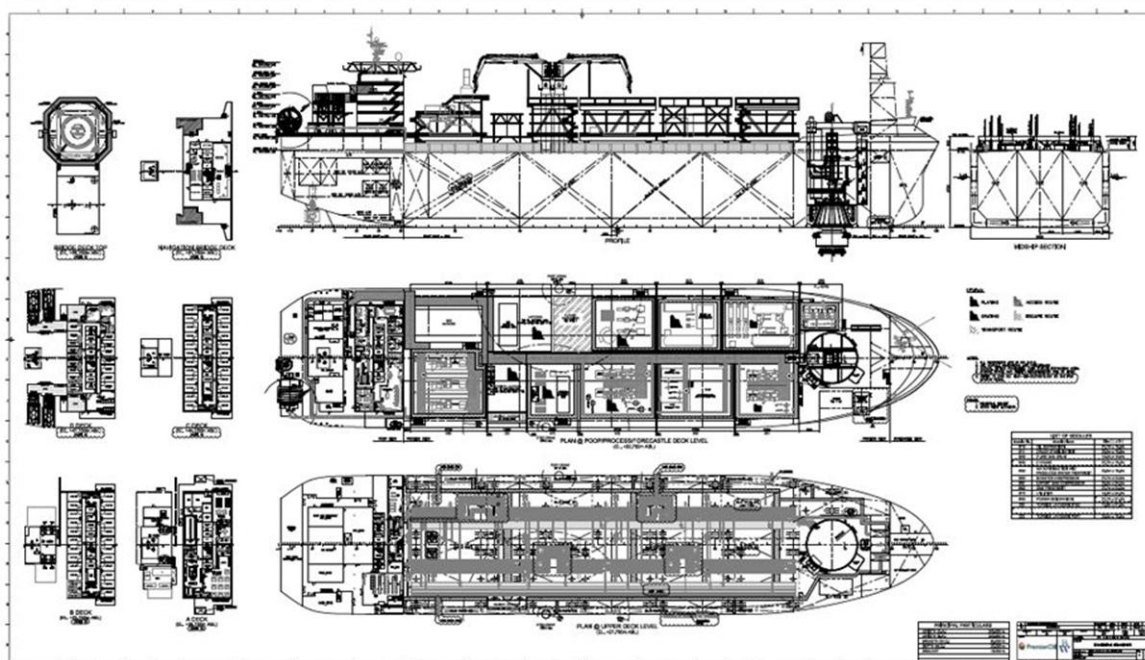
ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΛΟΙΟΥ

DYNAMIC POSITION OF VESSELS



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΛΟΙΟΥ
DYNAMIC POSITION OF VESSELS



ΚΑΠΟΘΑΝΑΣΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ (Α.Μ 6979)
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ. ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε με στόχο την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών (πρώην Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε) του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (πρώην Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας (Πάτρα) και μελετά την δυναμική θεσιοθέτηση πλοίου (dynamic position vessels).

Ο γνώμονας που με έκανε να ασχοληθώ με το θέμα της δυναμικής θεσιοθέτησης πλοίου είναι η θέληση μου να ασχοληθώ στο μέλλον με την ναυτιλία. Το παρόν θέμα θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της ναυτιλίας όπου δίνεται ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον αφού η εφαρμογή της τεχνολογίας στηρίζει την εξόρυξη πετρελαίου, την εγκατάσταση περίπλοκων και δύσκολων κατασκευών στον θαλάσσιο χώρο κ.ά.. Η δυναμική θεσιοθέτηση πλοίου χρησιμοποιείται σε θαλάσσιες εργασίες που δεν είναι παραδοσιακές στη ναυτιλία.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Τσινόπουλο Στέφανο, Καθηγητή, όπου ήταν ο επιβλέπων της παρούσας εργασίας και ήταν αυτός που μου έδωσε τα κατάλληλα εφόδια με στόχο την επίτευξη της εκπόνησής της. Επιπλέον, η βοήθεια και η καθοδήγηση του ήταν πολύτιμη αφού προσπάθησε με κάθε δυνατό τρόπο να μου μεταδώσει το πλήθος γνώσεων του και να με στηρίξει σε οποιαδήποτε δυσκολία προέκυπτε κατά την διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου που στάθηκαν δίπλα μου καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μου στηρίζοντας με όχι μόνο οικονομικά αλλά και ψυχολογικά. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που ήταν εκεί σε ό,τι και αν χρειάστηκα αυτά τα χρόνια δείχνοντας την αμέριστη συμπαράστασή τους.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Αναστάσιος Καποθανάσης

.....

Υπογραφή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την ανάλυση της Δυναμικής Θεσιοθέτησης πλοίου, η οποία χρησιμοποιείται σε θαλάσσιες εργασίες που δεν είναι παραδοσιακές στη ναυτιλία. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που θα πραγματοποιηθεί στα συστήματα και στον εξοπλισμό που απαρτίζουν την δυναμική θεσιοθέτηση θα είναι ο γνώμονας για την κατανόηση της περίπτωσης μελέτης της κατασκευής της Γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου, ένα από τα σπουδαιότερα Τεχνικά Έργα Παγκοσμίως που χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία η μέθοδος της Δυναμικής Θεσιοθέτησης στην κατασκευή της.

Η Δυναμική Θεσιοθέτηση είναι το πιο σημαντικό σύστημα πλοήγησης πλοίου μετά την πυξίδα. Επιπλέον, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε κάθε στάδιο της εξερεύνησης και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και στις θαλάσσιες κατασκευές, καταδύσεις, υδρογραφική έρευνα, έρευνα ναυαγίων, υποβρύχια ανάκτηση, και επιτόπια έρευνα, επιθεώρηση και συντήρηση. Στο μέλλον, η Δυναμική Θεσιοθέτηση μπορεί να κληθεί να βοηθήσει σε περισσότερες λειτουργίες πλοίου αφού με το πέρασμα του χρόνου βελτιώνεται στην ακρίβεια και στη σταθερότητα καθώς και στην δυνατότητα διεκπεραίωσης εργασιών κάτω από δύσκολες συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: Δυναμική Θεσιοθέτηση, Συστήματα αναφοράς θέσης, Γέφυρα Ρίου - Αντιρρίου

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΣΚΟΠΟΣ.....	1
ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ..4	
1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ	4
1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ	12
1.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	12
1.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	15
1.5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	16
1.6. ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ	17
1.7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ	17
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ	22
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22
2.2. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ	23
2.2.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (GLOBAL POSITIONING SYSTEM - GPS)	23
2.2.2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM - DGPS)	24
2.2.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM - GIS)	26
2.2.4. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ELECTRONIC CHART DISPLAY AND INFORMATION SYSTEM - ECDIS)	27
2.2.5. ΑΝΑΦΟΡΑ ΥΔΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ (HYDROACOUSTIC POSITION REFERENCE - HPR).....	28
2.2.6. ΥΔΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΗ ΠΛΟΗΓΗΣΗ (HYDROACOUSTIC AIDED INERTIAL NAVIGATION - HAIN)...	29
2.2.7. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ARTEMIS MARK V.....	31
2.2.8. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΕΝΤΩΜΕΝΟΥ ΣΥΡΜΑΤΟΣ (TAUT WIRE).....	32
2.2.9. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ GALILEO (GNSS).....	32
2.2.10. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ ΒΕΙΔΟΥ (BDS) OR COMPASS.....	34
2.2.11. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ GLONASS	35

2.2.12. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ
35

3.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	37
3.1.	ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ.....	37
3.1.1.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ΛΕΙΖΕΡ CYSCAN (CYSCAN LASER POSITIONING SYSTEM).....	37
3.1.2.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ FANBEAM.....	38
3.1.3.	ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΥΞΙΔΑ (GYROCOMPASS).....	39
3.1.4.	ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΛΕΙΖΕΡ (RING LASER GYROSCOPES – RLG).....	41
3.1.5.	ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ (FIBRE OPTIC GYROSCOPES - FOG).....	42
3.1.6.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ RADA SCAN	42
3.1.7.	ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ, ΑΠΟΛΥΤΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (DIFFERENTIAL, ABSOLUTE AND RELATIVE POSITIONING SYSTEM - DARPS).....	43
3.2.	ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΝ	43
3.2.1.	ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (MOTION REFERENCE UNIT - MRU).....	44
3.2.2.	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΑΝΕΜΟΥ (WIND SENSOR).....	44
3.2.3.	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΒΥΘΙΣΜΑΤΟΣ (DRAUGHT SENSORS)	45
3.2.4.	ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (HYDRODYNAMIC MODEL).....	46
3.2.5.	ΆΛΛΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ (OTHER SENSORS).....	46
3.3.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	47
3.3.1.	ΦΙΛΤΡΟ KALMAN (KALMAN FILTER)	47
3.3.2.	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER - PLC)	48
3.3.3.	ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ - ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ - ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ (PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE CONTROLLER - PID CONTROLLER).....	49
3.3.4.	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ (MATHEMATICAL MODEL OF THE SHIP)	49
3.3.5.	ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (OPERATIONAL MODES)....	53
4.	ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ (DP).....	55
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	55
4.2.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ	58
4.2.1.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΡΟΩΣΗΣ.....	59
4.3.	ΠΡΟΩΣΗ ΠΛΩΡΗΣ (BOW THRUSTER)	62
4.3.1.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ ΠΛΩΡΗΣ.....	63
4.4.	ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	65
5.	ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ (DP)	66
5.1.	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	66
5.2.	ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ	70

6.	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟΥ - ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ.....	71
6.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	72
6.2.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ	74
6.3.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	76
6.4.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ	78
6.5.	ΈΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	79
6.5.1.	ΘΕΜΕΛΙΑ ΓΕΦΥΡΑΣ.....	80
6.5.2.	ΠΥΛΩΝΕΣ ΓΕΦΥΡΑΣ.....	87
6.5.3.	ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΕΦΥΡΑΣ	87
6.6.	ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΦΥΡΑΣ.....	89
6.6.1.	ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ	90
6.6.2.	ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	92
6.6.3.	ΓΕΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ (ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ).....	93
6.6.4.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	94
6.6.5.	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ.....	95
6.6.6.	PUSH-OVER ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ	96
6.7.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΦΥΡΑΣ.....	97
6.7.1.	ΑΣΥΝΗΘΙΣΤΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	97
6.7.2.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ ΠΥΛΩΝΑ	97
6.7.3.	ΒΑΣΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΚΑΙ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ TENSIONLEG	101
6.7.4.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΑΝΩ ΜΕΡΟΥΣ ΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ.....	103
6.7.5.	ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	104
6.8.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΙΟΥ	106
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	111
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	113

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Απεικόνιση του Cuss 1 (Continental, Union, Shell and Superior oil consortium).....	5
Εικόνα 2: Το Eureka α) εν πλω β) σχέδια (κάτοψη και πλάγια όψη)	7
Εικόνα 3: Το Caldrill εν ώρα λειτουργίας	8
Εικόνα 4: Το Glomar Challenger	9
Εικόνα 5: Το Sedco 445 το πρώτο πλοίο «τρυπάνι» παγκοσμίως σχεδιασμένο για τη βιομηχανία πετρελαίου	9
Εικόνα 6: Το Pelican μπορεί να λειτουργήσει σε βάθος νερού έως και 320 m	10
Εικόνα 7: Το Saipem II.....	10
Εικόνα 8: Το Discoverer Clear Leader	11
Εικόνα 9: Το Enterprise Class Chevrans	11
Εικόνα 10: Οι δορυφόροι GPS τοποθετούνται σε ακριβείς, κυκλικές τροχιές 18.000 χιλιόμετρα (11.000 μίλια) πάνω από τη Γη	24
Εικόνα 11: Απεικόνιση πληροφοριών από το Electronic Chart Display and Information System (ECDIS).	28
Εικόνα 12: Σύστημα αναφοράς θέσης λέιζερ CyScan (CyScan Laser Positioning System)	38
Εικόνα 13: Σύστημα αναφοράς θέσης Fanbeam της MDL	38
Εικόνα 14: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκοπικής πυξίδα (Gyrocompass)	39
Εικόνα 15: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκοπικής πυξίδα (Gyrocompass).....	40
Εικόνα 16: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκόπιο δακτυλίου λέιζερ (Ring Laser gyroscopes - RLG).....	41
Εικόνα 17: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκόπιο οπτικών ινών (Fibre optic gyroscopes - FOG)	42
Εικόνα 18: Σύστημα αναφοράς θέσης RadaScan	43
Εικόνα 19: Μονάδα αναφοράς κίνησης (Motion reference unit – MRU)	44
Εικόνα 20: Ανεμόμετρο αισθητήρες ανέμου	45
Εικόνα 21: Αισθητήρες βυθίσματος (draught sensors).....	45
Εικόνα 22: Πρωραία έλικα μέσα σε σήραγγα (tunnel type)	64
Εικόνα 23: Συστήματα πλοίου δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP)	67
Εικόνα 24: Θέση Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου	72

Εικόνα 25: Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου	73
Εικόνα 26: Πυλώνες βάσεις – Στεγνώτήριο	98
Εικόνα 27: Λειτουργία στην αποβάθρα	98
Εικόνα 28: Από την ξηρά αποβάθρα στην υγρή αποβάθρα	99
Εικόνα 29: Η στεγνή αποβάθρα πριν τη ρυμούλκηση	100
Εικόνα 30: Η στεγνή αποβάθρα μετά τη ρυμούλκηση	100
Εικόνα 31: Πυλώνας βάση στην υγρή αποβάθρα, προχωρά προς την κορυφή του κώνου	101
Εικόνα 32: Οδηγώντας τα συμπεράσματα από την πλατφόρμα Tensioned Leg	102
Εικόνα 33: Κατασκευή των πυλώνων	104
Εικόνα 34: Τοποθέτηση του χαλύβδινου πυρήνα της κεφαλής του πυλώνα	104
Εικόνα 35: Τοποθέτηση τμημάτων μήκους 12 m	105
Εικόνα 36: Τοποθέτηση τμημάτων μήκους 12 m	105
Εικόνα 37: Τοποθέτηση δοκών	106
Εικόνα 38: Τοποθετημένοι δοκοί (α) τομή (β) όψη	107
Εικόνα 39: Τοποθέτηση Αμμοχάλικου	108
Εικόνα 40: Απεικόνιση τελικής επιφάνειας	108
Εικόνα 41: Τοποθέτηση πυλώνων	109
Εικόνα 42: Τοποθέτηση πυλώνων πλάγια όψη	109
Εικόνα 43: Τοποθέτηση πυλώνων σε τομή	110

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ασυνέχεια Moho μεταξύ του κατώτερου μέρους της επιφάνειας και του συμπαγούς ανώτερου στρώματος του μανδύα της γης	4
Σχήμα 2: Το πρωτότυπο σχέδιο του συστήματος ελέγχου του Eureka	7
Σχήμα 3: Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης	12
Σχήμα 4: Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης, βασικές δυνάμεις και κινήσεις	13
Σχήμα 5: Σύστημα Ελέγχου δυναμικής θεσιοθέτησης	14
Σχήμα 6: Οριζόντιοι άξονες ελευθερίας πλοίου (surge, sway και yaw)	14
Σχήμα 7: Το δορυφορικό GPS είναι η διαφορά μεταξύ της «πραγματικής» μέτρησης απόστασης και της «θεωρητικής» απόστασης	25
Σχήμα 8: Γεωμετρία του διαφορικού GPS	25
Σχήμα 9: Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) είναι ένα σύστημα σχεδιασμένο για τη σύλληψη, αποθήκευση, χειρισμό, ανάλυση, διαχείριση και παρουσίαση όλων των τύπων χωρικών ή γεωγραφικών δεδομένων	27
Σχήμα 10: Σύστημα υδροακουστική αδρανειακή πλοήγηση (HAIN)	30
Σχήμα 11: Σύστημα Artemis Mk V	31
Σχήμα 12: Σύστημα τεντωμένου σύρματος (Taut Wire).	32
Σχήμα 13: Σύστημα παγκόσμιας δορυφορικής πλοήγησης Galileo (GNSS)	33
Σχήμα 14: Δορυφορικό σύστημα πλοήγησης BeiDou (BDS)	34
Σχήμα 15: Σύγκριση γεωστατικών GPS, GLONASS, GNSS, COMPASS, Διεθνούς διαστημικός σταθμός, Διαστημικό Τηλεσκόπιο Χαμπλ, με τις ζώνες ακτινοβολίας Van Allen και τη γη σε κλίμακα	36
Σχήμα 16: Αρχή λειτουργίας Μαθηματικού Μοντέλου Ελέγχου Θέσης Πλοίου	50
Σχήμα 17: Διάγραμμα ροής λειτουργίας μαθηματικού μοντέλου με την Φίλτρου Kalman.....	51
Σχήμα 18: Δομή του συνδυασμένου σταθμού παραγωγής ενέργειας του πλοίου	56
Σχήμα 19: Αξονική Πρόωση (shaft prolusion)	59
Σχήμα 20: Αζιμουθιακοί προωστήρες (azimuth thrusters)	60
Σχήμα 21: Αζιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod/azipod (podded propulsion)	61
Σχήμα 22: Σύστημα πρόωσης Voith Schneider	62
Σχήμα 23: Έλικά ανασυρόμενη (retractable propeller)	65
Σχήμα 24: Διάγραμμα ροής δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) ...	70
Σχήμα 25: Απεικόνιση προφίλ εδάφους τοποθέτησης γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	75
Σχήμα 26: α) Μη στραγγιζόμενη αντοχή σε διάτμηση και β) Ταχύτητα κύματος διάτμησης.....	76
Σχήμα 27: Χωρική μεταβλητότητα της αντίστασης κώνου σε όλη την προβλήτα M3	76
Σχήμα 28: Τοποθεσίες μεγάλων σεισμών	77
Σχήμα 29: Σχεδιασμός οριζόντιου φάσματος	79
Σχήμα 30: Διαστάσεις γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	80

Σχήμα 31: Πυλώνας γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	83
Σχήμα 32: Προβολή CAD των ρηχών βάσεων της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	83
Σχήμα 33: Προβολή CAD συμπερίληψη ενίσχυσης του εδάφους της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	84
Σχήμα 34: Τακτοποίηση έναντι χρόνου - Προβλήτα M3	85
Σχήμα 35: Πυλώνας της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	87
Σχήμα 36: Τυπική διατομή καταστρώματος της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	88
Σχήμα 37: α,γ) Πλήρως ανασταλμένο κατάστρωμα, β) σύνδεση με τους πυλώνες της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	88
Σχήμα 38: Πλήρως ανασταλμένο κατάστρωμα, και σύνδεση με τους πυλώνες της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου	89
Σχήμα 39: Αρχική ιδέα ασυνεχούς πυλώνα	90
Σχήμα 39: Ενισχυμένο μοντέλο αστοχίας εδάφους - Κινηματικός μηχανισμός	91
Σχήμα 40: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης, ενισχυμένη αντίσταση εδάφους	92
Σχήμα 41: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων - Συμπεριφορά του ενισχυμένου εδάφους	93
Σχήμα 42: Οριζόντια μετατόπιση έναντι χρόνου και σε επίπεδο βάσης πυλώνα	94
Σχήμα 43: Τυπικό σχήμα εκτροπής ενός πυλώνα	95
Σχήμα 44: Μετατόπιση στην κορυφή των πυλώνων έναντι του συντελεστή μεγέθυνσης	96

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύγκριση συστημάτων διατήρησης θέσης	15
Πίνακας 2: Ταξινόμηση πλοίων με δυναμική θεσιοθέτηση	16
Πίνακας 3: Τομείς εφαρμογής της δυναμικής θεσιοθέτησης	17
Πίνακας 4: Σύγκριση δορυφορικών συστημάτων αναφοράς θέσης	35
Πίνακας 5: Σύγκριση της μαγνητικής και της γυροσκοπική πυξίδας	40

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Δυναμική Θεσιοθέτηση (Dynamic Positioning DP) έχει αναγνωριστεί ως το μεγαλύτερο μηχανολογικό επίτευγμα της Νορβηγίας από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Όμως χρειάστηκε επιμονή και αποφασιστικότητα από τους Νορβηγούς καθηγητές μηχανικής για να φέρει στο φως την καινοτομία στο κυβερνοχώρο. Η δυναμική θεσιοθέτηση δεν ακούγεται ιδιαίτερα συναρπαστική για τους άγνωστους, αλλά βοήθησε να φέρει τεράστια έσοδα στη Νορβηγία αφού μια νορβηγική εταιρεία είναι ο παγκόσμιος ηγέτης στον τομέα.

Η Δυναμική Θεσιοθέτηση μπορεί να είναι το πιο σημαντικό σύστημα πλοήγησης πλοίου μετά την πυξίδα. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στα πλοία να διατηρούν την θέση τους και να κατευθύνονται αυτόματα. Αρχικά το μεγαλύτερο ενδιαφέρον το έδειξε η πετρελαϊκή βιομηχανία αλλά μέχρι σήμερα έχει αποδειχτεί ότι διαπρέπει σαν τεχνολογία σε ένα ευρύ φάσμα πλοίων από κρουαζιερόπλοια και πλεούμενα ξενοδοχεία μέχρι πλοία τοποθέτησης καλωδίων, γερανούς και πλοία εφοδιασμού όλων των τύπων. Επίσης, η Δυναμική Θεσιοθέτηση μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο σε κάθε στάδιο της εξερεύνησης και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και στις θαλάσσιες κατασκευές, καταδύσεις, υδρογραφική έρευνα, έρευνα ναυαγίων, υποβρύχια ανάκτηση, και επιτόπια έρευνα, επιθεώρηση και συντήρηση.

Στο μέλλον, η Δυναμική Θεσιοθέτηση μπορεί να κληθεί να βοηθήσει σε περισσότερες λειτουργίες πλοίου, όπως η τοποθέτηση ROV (τύπος βαθυσκάφους) και η λειτουργία βαρούλκων που τοποθετούν υποδομή στον πυθμένα της θάλασσας. Η Δυναμική Θεσιοθέτηση θα διαδραματίσει επίσης καθοριστικό ρόλο στις δραστηριότητες πλωτών σκαφών παραγωγής, αποθήκευσης και εκφόρτωσης, καθώς και για τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς που θα μεταφέρουν πετρέλαιο από αυτά σε σημεία εκφόρτωσης στην ξηρά. Τα FPSO και τα αντίστοιχα δεξαμενόπλοια μεταφοράς τους αναμένεται να αρχίσουν να λειτουργούν στον Κόλπο του Μεξικού τα επόμενα χρόνια.

Τα συστήματα Δυναμικής Θεσιοθέτησης (DP) συνεχίζουν να γίνονται πιο ακριβή και πιο σταθερά και με το πέρασμα του χρόνου έχουν αποδείξει την υπεροχή της πλοήγησής τους στις δύσκολες συνθήκες των δραστηριοτήτων βαθέων υδάτων.

ΣΚΟΠΟΣ

Η Παρούσα Πτυχιακή Εργασία μελετά την δυναμική θεσιοθέτηση πλοίου, η οποία χρησιμοποιείται σε θαλάσσιες εργασίες που δεν είναι παραδοσιακές στη ναυτιλία. Μέσα από την βιβλιογραφικά ανασκόπηση δίνονται τα βασικά στοιχεία της δυναμικής θεσιοθέτησης καθώς αναλύονται τα συστήματα και ο εξοπλισμός που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα

στοχεύοντας στην κατανόηση της λειτουργίας του. Για τον τρόπο εφαρμογής της δυναμικής θεσιοθέτησης δίνεται η Περίπτωση Μελέτης της Γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου θεωρείται ένα από τα σπουδαιότερα Τεχνικά Έργα Παγκοσμίως που χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία η μέθοδος της δυναμικής θεσιοθέτησης στην κατασκευή της.

ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η δομή της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο πρώτο Κεφάλαιο δίνονται τα βασικά στοιχεία για την δυναμική θεσιοθέτηση πλοίου. Αρχικά πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της δυναμικής θεσιοθέτησης, δίνεται ο ορισμός της και ακολουθούν οι βασικές αρχές της. Στη συνέχεια καταγράφονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της δυναμικής θεσιοθέτησης, γίνεται η ταξινόμηση των συστημάτων της δυναμικής θεσιοθέτησης και αναφέρονται οι τομείς που εφαρμόζεται η δυναμική θεσιοθέτηση.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα συστήματα αναφοράς θέσης. Αναλύονται τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία και δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους καθώς και οι δυνατότητες που παρουσιάζει κάθε ένα από αυτά. Τα βασικότερα συστήματα που αναλύονται είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού, Δορυφορικό Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Differential Global Positioning System – DGPS), Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information System - GIS), Ηλεκτρονικό Σύστημα Έμφανισης Γραφημάτων και Πληροφοριών (Electronic Chart display and Information System - ECDIS), Αναφορά Υδροακουστικής θέσης (Hydroacoustic Position Reference - HPR), Υδροακουστική αδρανειακή πλοήγηση (hydroacoustic aided inertial navigation - HAIN), Σύστημα αναφοράς θέσης Artemis Mark V, Σύστημα Τεντωμένου Σύρματος, Σύστημα Παγκόσμιας Πλοήγησης Galileo (GNSS), Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης Beidou (BDS) or Compass και Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης Glonass. Επιπλέον, γίνεται σύγκριση των προαναφερόμενων συστημάτων αναφοράς θέσης.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο αναλύεται και περιγράφεται ο εξοπλισμός και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στη δυναμική θεσιοθέτηση. Αρχικά αναλύονται οι αισθητήρες αναφοράς θέσης που κατηγοριοποιούνται στα εξής, Σύστημα Λείζερ Cysan (cyscan laser positioning system), Σύστημα Αναφοράς Θέσης Fanbeam, Γυροσκοπική Πυξίδα (gyrocompass), Γυροσκόπιο Δακτυλίου Λείζερ (Ring Laser Gyroscopes – RLG), Γυροσκόπιο Οπτικών Ινών (Fibre Optic Gyroscopes - FOG), Σύστημα Αναφοράς Θέσης Rada Scan, Διαφορικό Απολυτό και Σχετικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Differential, Absolute and Relative Positioning System - DARPS). Στη συνέχεια αναλύονται οι αισθητήρες ανέμου και κυμάτων, οι οποίοι διαχωρίζονται στα εξής, Μονάδα Αναφορά Θέσης (Motion Reference Unit - Mru), Αισθητήρες Ανέμου (Wind Sensor), Αισθητήρες Βυθίσματος (Draught Sensors), Υδροδυναμικό Μοντέλο (Hydrodynamic Model) κ.ά.. Έπειτα αναλύονται τα συστήματα ελέγχου που διαχωρίζονται με την σειρά του στα εξής, Φίλτρο Kalman, Προγραμματιζόμενος Ελεγκτής Λογικής (Programmable Logic Controller – PLC), Αναλογικός – Ολοκληρωμένος – Παραγωγός Ελεγκτή (Proportional Integral Derivative

Controller - Pid Controller), Μαθηματικό Μοντέλο του πλοίου (Mathematical Model of the ship) και διάφοροι τρόποι λειτουργίας (Operational Modes).

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο περιγράφονται τα προωθητικά συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης, όπου μέσα από μια εισαγωγή δίνονται βασικά στοιχεία για την προώθηση των πολίων και ακολουθεί η ανάλυση της ηλεκτρικής πρόωσης όπου αναλύονται εκτενέστερα τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης και στην συνέχεια αναλύεται η πρόωση πλώρης (Bow Truster), όπου αναλύονται εκτενέστερα τα επικρατέστερα συστήματα. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση της συνεργασίας που έχει η έλικα με τον κινητήρα.

Στο Πέμπτο Κεφάλαιο δίνονται σημαντικά στοιχεία για τον Χειριστή της δυναμικής θεσιοθέτησης. Ο χειρίστης αυτών των συστημάτων απαιτεί να έχει βασικά στοιχεία και γνώσεις με στόχο να μπορεί να ανταπεξέλθει στην εκάστοτε περίπτωση. Επιπλέον, αναφέρονται τα πιστοποιητικά που θα πρέπει να διαθέτει ο Χειριστής της δυναμικής θεσιοθέτησης.

Στο Έκτο Κεφάλαιο δίνεται η περίπτωση μελέτης της Γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου που χρησιμοποιήθηκαν συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης με στόχο την κατασκευή της. Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή όπου αναφέρονται βασικά στοιχεία που αφορούν την γέφυρα (όπως θέση, ετός κατασκευή, μορφή κ.ά.). Ακολουθούν, το γεωλογικό και γεωτεχνικό περιβάλλον της γεφυρας, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά στοιχεία σχεδιασμού της. Στην συνέχεια περιγράφονται τα βασικά τμήματα της γέφυρας, που είναι τα θεμέλια, οι πυλώνες και το κατάστωμα. Έπειτα, αναλύεται η διαδικασία του σχεδιασμού δίνοντας έμφαση στην φέρουσα ικανότητα των ενισχυμένων εδαφών και παραμετρικών μελετών, τη μη γραμμική ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων του ενισχυμένου εδάφους, τους γενικούς υπολογισμούς της γέφυρας, την συμπεριφορά του ενισχυμένου εδάφους και της δομής καθώς και την ανάλυση των πυλώνων. Στην συνέχεια, αναλύεται η κατασκευή της γέφυρας που δίνεται έμφαση στις μεθόδους κατασκευής και ιδιαίτερα στην χρήση της δυναμικής θεσιοθέτησης, αναλύεται η κατασκευή της βάσης των πυλώνων, δίνονται πληροφορίες για την βασική πλατφόρμα και την πλατφόρμα Tension leg και ακολουθεί η ανάλυση του άνω μέρους των πυλώνων και του καταστρώματος.

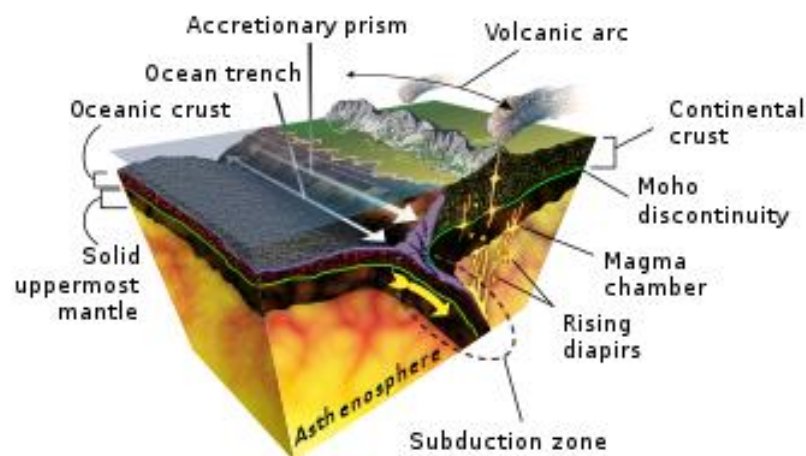
Τέλος, δίνονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιικής εργασίας όπου περιγράφεται η σπουδαιότητα των συστημάτων της δυναμικής θεσιοθέτησης και η επιτυχή ανέγερση ενός τεράστιου τεχνικού έργου όπως είναι η γέφυρα Ρίου Αντιρρίου.

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΛΟΙΟΥ

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Η ανάγκη για την εξόρυξη πετρελαίου καθημερινά γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο εξοπλισμός πολλές φορές να μην είναι επαρκείς ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει προσβασιμότητα ή σε περιπτώσεις που τα κοιτάσματα πετρελαίου βρίσκονται σε μεγάλα θαλάσσια βάθη. Τα προαναφερόμενα προβλήματα οδήγησαν τις εταιρίες που θέλουν να εκμεταλλευτούν ακόμα και τα πιο απομακρυσμένα κοιτάσματα πετρελαίου από την επιφάνεια της θάλασσας να μελετούν τρόπους και διαδικασίες για την επίτευξη του σκοπού τους [1]. Έως και το 1950 οι διατάξεις εξόρυξης ήταν οι ανυψούμενες πλωτές κατασκευές (jack up barges) και οι σταθερές πλατφόρμες όπου μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μικρό σχετικά θαλάσσιο βάθος. Ωστόσο, η ολοένα αυξημένη ζήτηση των ορυκτών καυσίμων οδήγησε στην απαίτηση λύσεων αφενός με καλύτερες δυνατότητες (εξορύξεις σε μεγαλύτερα βάθη) αφετέρου οικονομικότερες [2].

Μία νέα αρχή γίνεται από τον Walter Munk και τον Harry Hammond Hess, όπου προτείνουν στο Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών να πραγματοποιήσουν γεωτρήσεις σε μεγάλο βάθος με στόχο να μελετήσουν και να ερευνήσουν την ασυνέχεια του Μοχορόβιτς (Mohorovicic, καλείται συχνά και Moho) [2], όπου είναι το όριο που ορίζει το τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ του φλοιού της γης και του ανώτερου μανδύα. Το βάθος του είναι μεταξύ 5 έως 10 km κάτω από τον ωκεάνιο φλοιό και 20 με 90 km κάτω από τον ηπειρωτικό [3].



Σχήμα 1: Ασυνέχεια Μοχο μεταξύ του κατώτερου μέρους της επιφάνειας και του συμπαγούς ανώτερου στρώματος του μανδύα της γης [3].

Σε αυτή την θεμελιώδη αρχή βασίστηκε το πρόγραμμα Mohole όπου στόχευε στην διερεύνηση του φλοιού της γης και των υποστρωμάτων του. Το 1957 ο Munk, μέλος της American Miscellaneous Society, κάνει μια σημαντική πρόοδο για το πρόγραμμα Mohole διότι το εντάσσει κάτω από την επίβλεψη του Εθνικού Ιδρύματος Επιστημόνων [1].

Το πρόγραμμα Mohole αποτελείτο από τρεις φάσεις και βασιζόταν στην χρήση τρυπανιών για να λάβει δείγμα από τα κατώτερα στρώματα του φλοιού της γης. Όπως προαναφέρθηκε ήταν πιο εφικτό να υλοποιηθεί η διαδικασία δειγματοληψίας από την θάλασσα αφού ο μανδύας της γης είχε μικρότερη απόσταση από τον βυθό της θάλασσας συγκρινόμενος με την στεριά [3]. Οι φάσεις του προγράμματος Mohole ήταν οι ακόλουθες [1], [3]:

- 1^η φάση: πειραματικές γεωτρήσεις
- 2^η φάση: κατασκευή ενός πλοίου γεωτρήσεων
- 3^η φάση: εξόρυξη πετρωμάτων από την ασυνέχεια Μοχορόβιτις.

Οι πρώτες δοκιμές έλαβαν χώρα στην Καλιφόρνια το 1960 και στην συνέχεια ξεκίνησε η πρώτη φάση του προγράμματος [1].

Το 1961 γίνεται η έναρξη της γεώτρησης με το Cuss 1 (Continental, Union, Shell & Superior oil consortium). Το Cuss 1 ήταν ναυτικό πλοίο που χρησιμοποιούνταν για την μεταφορά στρατιωτικού εξοπλισμού και υλικών. Το εκτόπισμα του Cuss 1 ήταν 3400 LT και αποτελούνταν μια μηχανή 250 HP όπου μετέδιδε απευθείας κίνηση σε δύο προωθητές (thruster) όπου έδιναν την δυνατότητα περιστροφής 360°. Το Cuss 1 υπέστη ολική ανακατασκευή και εξοπλίστηκε εξ' ολοκλήρου με τον τότε σύγχρονο εξοπλισμό γεωτρήσεων [2] [4].



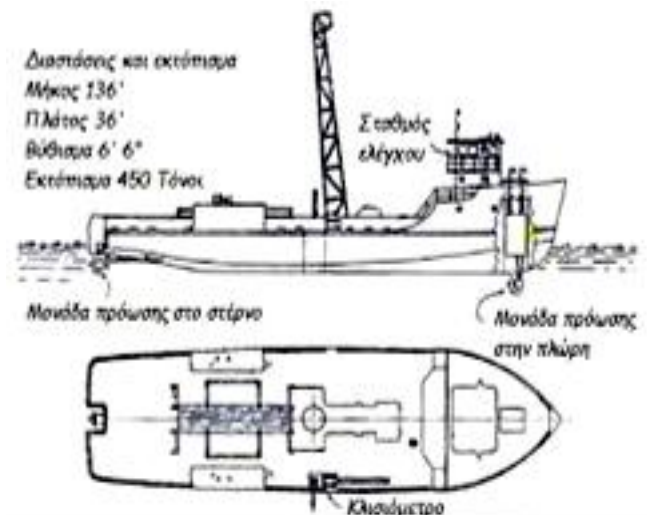
Εικόνα 1: Απεικόνιση του Cuss 1 (Continental, Union, Shell and Superior oil consortium) [4].

Η πρώτη γεώτρηση πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του 1961 στην Guadalupe του Μεξικού και είχε ως βασικό πρόβλημα την σταθερότητα του Cuss 1 στο σημείο που είχε οριστεί να υλοποιηθεί η γεώτρηση. Η μη σταθερότητα του μπορούσε να οδηγήσει στο σπάσιμο του σωλήνα του τρυπανιού. Η λύση του προβλήματος προσπάθησε να δοθεί από την εταιρία Bendix Pacific, όπου ασχολούνταν με συστήματα ραντάρ (radar), συστήματα πτήσης και διαστημικά συστήματα. Ο συνδυασμός αυτών των συστημάτων έδινε την δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης του πλοίου και της θέσης του και παρείχε τις σχετικές πληροφορίες στους χειριστές. Επιπλέον, υπήρχε και ένα υποθαλάσσιο σκάνερ (scanner) το οποίο έδινε κατάλληλα σήματα στους χειριστές για την θέση του πλοίου σύμφωνα με την θέση του σκάνερ το οποίο ήταν τοποθετημένο στο κάτω μέρος του Cuss 1 (γάστρα πλοίου) [1].

Στην ουσία η προαναφερόμενη ιδέα βασιζόταν στην δυνατότητα το πλοίο να μπορεί να μείνει μακριά από την εξόρυξη σε απόσταση 180 m και να υπάρχει μια χειροκίνητη λειτουργία η οποία θα βασίζεται από τα δεδομένα που λαμβάνει από τα συστήματα του εξοπλισμού καθώς επίσης και από τις σηματοδότες που υπήρχαν στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα αποτελέσματα της πρώτης αυτής εφαρμογής οδήγησαν στην δημιουργία τριών οπών με μέγιστο βάθος 601m κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας και υποθαλάσσιο βάθος 11.700ft καθώς επίσης ανέδειξαν ότι στα 557m υπάρχουν υπολείμματα μειοκαινής περιόδου και υπόλοιπο βασάλτη κάτι που δεν γνώριζαν μέχρι τότε. Το 1996 το πρόγραμμα διακόπηκε χωρίς να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα ωστόσο έφερε στην επιφάνεια ένα σοβαρό πρόβλημα της δυναμικής θεσιοθέτησης (Dynamic Positioning).

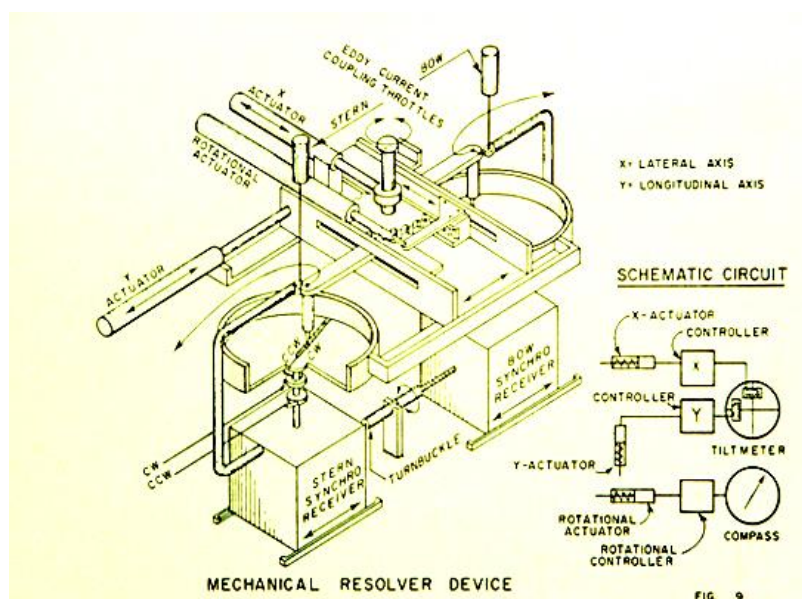
Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι από το 1960 υπήρχαν μηχανικοί που δούλευαν πάνω σε ένα νέο σχέδιο πλοίο και αυτό οφειλόταν γιατί είχαν κάποιες ενστάσεις σύμφωνα με την αρχική σχεδίαση του Cuss 1. Συγκεκριμένα ο Bill Bates, ο οποίος εργαζόταν στο Cuss 1, παρουσίαζε διαφορετική άποψη από τον υπεύθυνο μηχανικό William Bascom, με συνέπεια να δουλεύει την «νέα» ιδέα στα ναυπηγεία Orange στο Τέξας, όπου ήταν ένα πλοίο με εκτόπισμα 400LT, δύο προωθητές (thrusters) με 200HP ηλεκτροκινητήρα έκαστος, οι οποίοι ελεγχόντουσαν χειροκίνητα σε ταχύτητα και διεύθυνση μεμονωμένα ο καθένας από την γέφυρα. Η θέση του πλοίου απεικονιζόταν ως μια κουκίδα σε ένα παλμοσκόπιο η οποία προέκυπε από ένα γωνιόμετρο που έδινε τις πληροφορίες της σχηματιζόμενης γωνίας με ένα τεντωμένο συρματόσχοινο, όπου στην μία άκρη του ήταν τοποθετημένο ένα βάρος, στον πάτο της θάλασσας. Όσο αφορά την κατεύθυνση οι πληροφορίες δινόντουσαν από μια γυροσκοπική πυξίδα [1].

Ο μηχανικός του πλοίου ήταν ο Howard Shatto όπου έδειχνε τις ανησυχίες του για την μη ικανοποιητική σταθερότητα του πλοίου σε ανοικτή θάλασσα με το υπάρχον σύστημα. Ο Shatto H. ξεκίνησε βασιζόμενος στην εμπειρία του από την Shell και τους αγωγούς αερίου ότι απαιτούνται συστήματα αυτοματισμού, όπου θα κρατούσαν το πλοίο σταθερό. Ο Howard Shatto για να θεσιοθετήσει το πλοίο κάνει λόγο για την χρήση ελεγκτών τριών –στοιχείων που θα ελέγχουν την ροή, τη θερμοκρασία και την πίεση. Επιπλέον, για τον έλεγχο των τριών αξόνων (surge, sway και yaw) θα χρειαζόντουσαν τρεις ελεγκτές τριών –στοιχείων. Η υλοποίηση του προαναφερόμενου συστήματος γίνεται τον Ιανουάριο του 1961 από την Hughes Aircraft's έναντι των 50.000\$ [6].



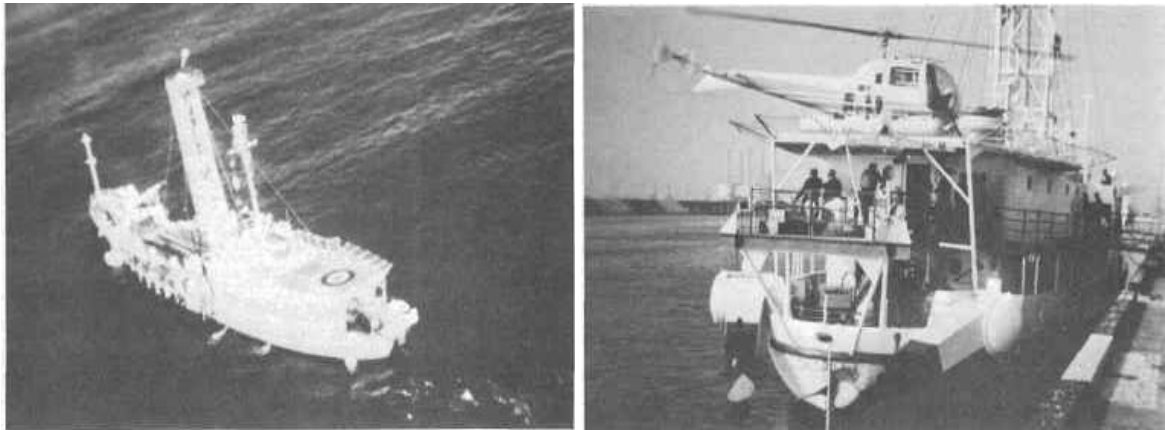
(α) (β)
Εικόνα 2: Το Eureka α) εν πλω β) σχέδια (κάτοψη και πλάγια όψη)

Το Eureka κινήθηκε για πρώτη φορά το Μάιο του 1961 σε βάθος 1000 ft στον κόλπο του Μεξικού. Αρχικά προσπάθησαν να το σταθεροποιήσουν χειροκίνητα χωρίς όμως θετικά αποτελέσματα με συνέπεια να ενεργοποιήσουν το αυτόματο σύστημα όπου επιτεύχθηκε να κινηθεί σε προκαθορισμένο σημείο και παρέμεινε σταθερό για μια ώρα. Αφού διαπιστώθηκε η επιτυχής σταθερότητα του πλοίου ξεκίνησε η γεώτρηση με αποτέλεσμα τα πρώτα κομμάτια γης να έρθουν στην επιφάνεια. Με το Eureka επιτεύχθηκαν 9 οπές σε βάθος 3600 ft, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν υπό άνεμο 40 μιλίων/ώρα και 20 ft Swell. Το Eureka μετά την επίτευξη των προαναφερόμενων θεωρήθηκε ως η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning) [6]



Σχήμα 2: Το πρωτότυπο σχέδιο του συστήματος ελέγχου του Eureka[6]

Η επόμενη προσπάθεια για δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning) ήταν με το Caldrill, το οποίο είχε μήκος 1179ft και πλάτος 33ft. Επιπλέον, αποτελείτο από 4 προωθητές (thruster) με 300 HP έκαστος και εύρος λειτουργίας 360° καθώς και δύο διαφορετικά συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης. Το Caldrill είχε την δυνατότητα πραγματοποίησης γεωτρήσεων 6.000 ft. Το Caldrill κατάφερε στην Nova Scotia στις ακτές του Καναδά να διατηρήσει την θέση του στα 25 ft Swell, 60 mi/h ταχύτητας ανέμου και 3 κόμβους θαλάσσια ρεύματα. Το σκάφος είναι εν ενεργεία ακόμα και σήμερα και έχει πραγματοποιήσει πλήθος γεωτρήσεων στον κόσμο. [7]



(α) (β)
Εικόνα 3: Το Caldrill εν ώρα λειτουργίας [7]

Ωστόσο, το 1964 και το 1967 πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning) για δύο πλοία εκ των οποίων το ένα ήταν το La Terebel, γαλλικής προέλευσης, 85m μήκος και 12m πλάτος με δύο προωθητές (thrusters) συνολικής ισχύος 600HP και το δεύτερο, το Mission Capistrano, έχοντας τις ίδιες διαστάσεις και δύο προωθητές με συνολική ισχύ 1000 HP τα οποία έκαναν χρήση ενός συστήματος ελέγχου το οποίο είχε σχεδιαστεί από την General Motors AC Division [7].

Το 1968 υλοποιείται η επόμενη εφαρμογή της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning) σε ένα πλοίο που προορίζεται για την εξαγωγή πετρωμάτων από μεγάλα θαλάσσια βάθη. Το πλοίο αυτό ήταν το Glomar Challenger, μήκος 400ft, όπου αποτελείτο από κινητήρες συνολικής ισχύος 2.250 HP και τέσσερις προωθητές με 750 HP έκαστος. Επιπλέον, το Glomar Challenger έκανε χρήση δύο συστημάτων ακουστικής τοποθέτησης, ένα σύστημα σύγκρισης φάσης και ένα σύστημα χρόνου άφιξης, όπου ο υπολογισμός της θέσης πραγματοποιούνταν από το σύστημα διαίρεσης της General Motors AC [1],[7].

Το Glomar Challenger εντάχθηκε στο πρόγραμμα Deep Sea Drilling Project το οποίο σχεδιάστηκε από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας και το Ωκεανογραφικό Ίδρυμα των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Σημειώνεται ότι το Glomar Challenger με την ένταξή του στο πρόγραμμα γεωτρήσεων Deep Sea Drilling Project ήταν σταθμός για την δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning) και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα πρώτα δείγματα μετά τις γεωτρήσεις δόθηκαν σε πετρελαϊκές εταιρίες με απώτερο σκοπό την δημοσίευση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων των δειγμάτων [1].



Εικόνα 4: Το Glomar Challenger [3]

Τα αποτελέσματα οδήγησαν στην εύρεση θόλων άλατος όπου και ξύπνησε το ενδιαφέρον πλήθος πετρελαϊκών εταιριών, διότι ήταν βασική ένδειξη πιθανοτήτων εύρεσης πετρελαίου σε μεγάλα θαλάσσια βάθη. Η ανακάλυψη αυτή οδήγησε στο να κατασκευαστούν τρία πλοία, κατά την χρονική διάρκεια από το 1971 και 1972, με σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning) και σκοπό την εξόρυξη πετρελαίου από μεγάλα βάθη. Τα τρία αυτά πλοία ήταν το Sedco 445, το Pelican, και το Saipem II [7],[9].

Τα προαναφερόμενα πλοία είχαν πανομοιότυπες διαστάσεις που κυμαίνονται από 400 έως και 500 ft μήκος και 70 ft πλάτος. Επιπλέον, το εκτόπισμα τους ήταν στους 14.000 tns, ταχύτητα 14 κόμβους και πλεύση 11. Η διάφορα αυτών των πλοίων ήταν τα συστήματα προώσεως όπου το Saipem II είχε τέσσερις προωθητές (thrusters), το Pelican έκανε χρήση πέντε προωθητών (tunnel thrusters) και δύο κύριες προπέλες μεταβλητού βήματος και το Sedco 445 είχε εννέα προωθητές (thrusters) των 800 HP (kortnozzles). Η κίνηση των προωθητών ήταν δεξιόστροφη και αριστερόστροφη με μεταβλητές στροφές και σταθερό βήμα και είχε επίσης και δύο κύριες προπέλες.



Εικόνα 5: Το Sedco 445 το πρώτο πλοίο «τρύπάνι» παγκοσμίως σχεδιασμένο για τη βιομηχανία πετρελαίου [8]

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το Sedco 445 ήταν το πρώτο πλοίο το οποίο στον εξοπλισμό διέθετε βαλβίδα boop, blow out preventor. Αυτή ήταν και η αρχή της εξέλιξης της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning) [8].



Εικόνα 6: Το Pelican μπορεί να λειτουργήσει σε βάθος νερού έως και 320 m [9]



Εικόνα 7: Το Saipem II

Στις αρχές της δεκαετίας του 80' είχαν κατασκευαστεί τουλάχιστον 65 πλοία με συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning), τα οποία χρησιμοποιούνταν στην βιομηχανία εξόρυξης [1]. Ωστόσο, η εξέλιξη των συστημάτων και η ενσωμάτωση της δορυφορικής τεχνολογίας είναι λόγοι που οφείλονται στη ραγδαία αύξηση των πλοίων στα 150 κομμάτια σε λιγότερο από 5 έτη (1985). Το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης, ή Θεσιοθεσίας (Global Positioning System, GPS), που θεωρείται ως το βασικό σύστημα εντοπισμού της γεωγραφικής θέσης [3], είναι ο βασικός παράγοντας που ώθησε την εξέλιξη και την ανάπτυξη του στόλου της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning). Τα πρώτα

πλοία που έκαναν χρήση δορυφορικού συστήματος ασχολούνταν κυρίως με τη σταθερή διατήρηση των στατικών σταθμών. Με το πέρασμα των χρόνων και την αποκτηθείσα εμπειρία τα προαναφερόμενα συστήματα χρησιμοποιήθηκαν με στόχο τον εντοπισμό της ακριβούς κίνησης. Οι «νεότερες» εξελίξεις των συστημάτων μέσω δορυφόρου (DGPS και WAAS) έχουν εκμηδένιση σχεδόν τα σφάλματα των θέσεων σε λιγότερο από 0,5m δίνοντας την δυνατότητα στα πλοία να εκτελούν με ακρίβεια τις εργασίες [6].

Από το 2010 έως και σήμερα η δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning) είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι του υπεράκτιου πετρελαϊκού πεδίου. Η τεχνολογική ανάπτυξη και τα συστήματα θεσιοθέτησης οδήγησαν στην εξερεύνηση βαθύτερων ωκεανών. Πλοία όπως το νεοσύστατο Discoverer Clear Leader, το νεότερο πλοίο τρυπανιών το Enterprise Class Chevrans έχει δυνατότητες εργασίας σε 3.650m νερό και συνολικό βάθος 12.200m. Οι προαναφερόμενες πρόοδοι οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη της τεχνολογίας της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning).



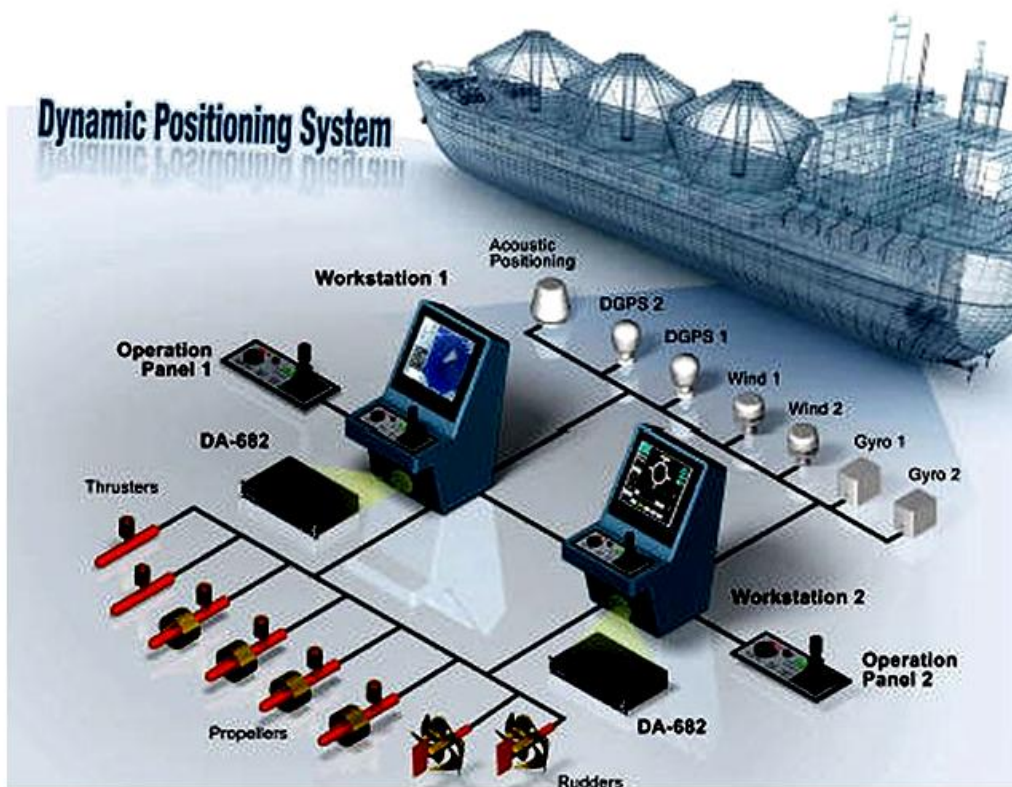
Εικόνα 8: Το Discoverer Clear Leader [3]



Εικόνα 9: Το Enterprise Class Chevrans [3]

1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

Η Δυναμική Θεσιοθέτηση ή Δυναμική Τοποθέτηση (Dynamic Positioning, DP), ορίζεται η πλωτή κατασκευή στην οποία δίνεται η δυνατότητα να παραμείνει σταθερή σε ένα σημείο στον ωκεανό σε σχέση με τον πυθμένα του ωκεανού. Η Δυναμική Θεσιοθέτηση (Dynamic Positioning, DP), κάνει χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών με στόχο να διατηρεί αυτόματα την θέση και να ελέγχει το σύστημα πρόωσης και προώθησης. Επιπλέον αποτελείται από πλήθος αισθητήρων (όπως αισθητήρες αναφοράς, αισθητήρες ανέμου, αισθητήρες κίνησης) και γυροσκοπικές πυξίδες, συστήματα τα οποία προσφέρουν πλήθος πληροφοριών σχετικά με την θέση του πλοίου καθώς και με την κατεύθυνση και το μέγεθος των περιβαλλοντικών δυνάμεων, παράγοντες δηλαδή που μπορούν να επηρεάσουν τη θέση του [1],[2].

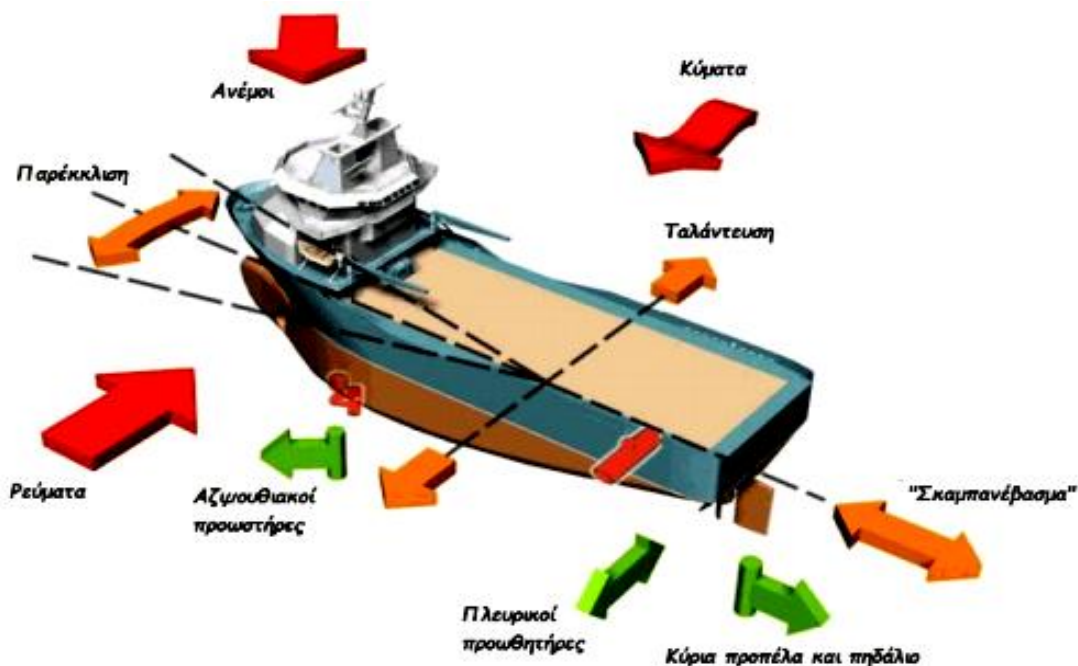


Σχήμα 3: Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης [10].

1.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

Ο βασικός στόχος ενός συστήματος δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) είναι ο αυτόματος έλεγχος είτε ενός πλοίου είτε μιας πλωτής εγκατάστασης με απώτερο σκοπό την διατήρηση της θέσης και της κατεύθυνσης τους [5]. Όταν ένα πλοίο ή μια πλωτή μονάδα βρίσκεται εν πλω δέχεται πλήθος δυνάμεων που προέρχονται από τον αέρα, τα

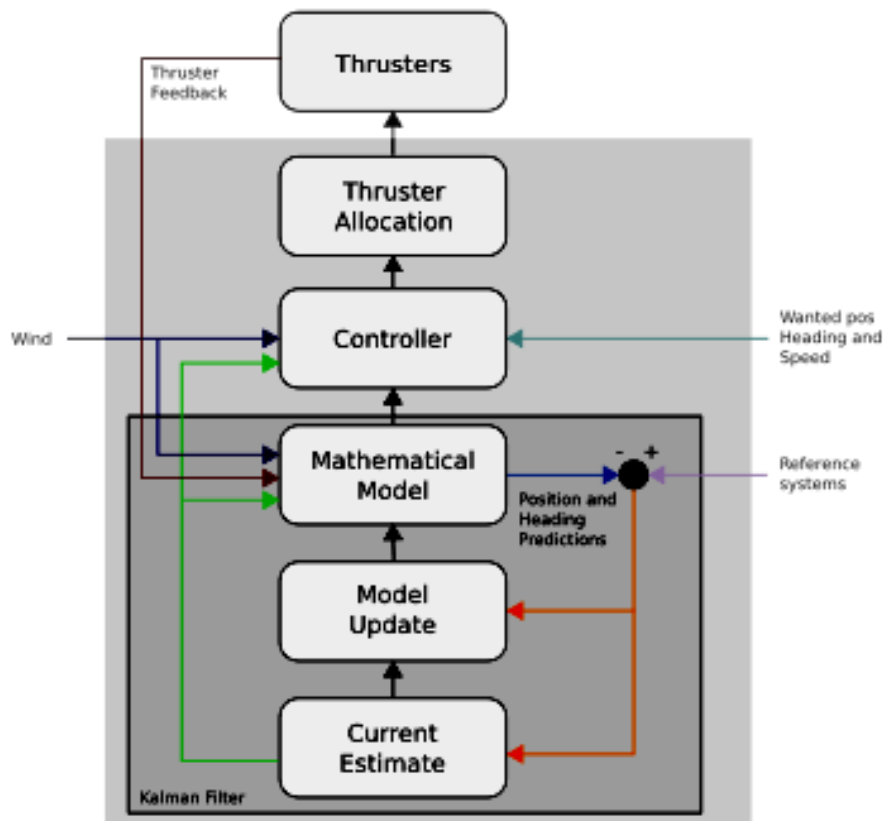
κύματα, το ρεύμα της θάλασσας καθώς επίσης και από δυνάμεις που παράγονται από το σύστημα πρόωσης. Οι δυνάμεις αυτές επηρεάζουν την θέση και την κατεύθυνση του πλοίου [1], [2], [5] (Σχήμα 4).



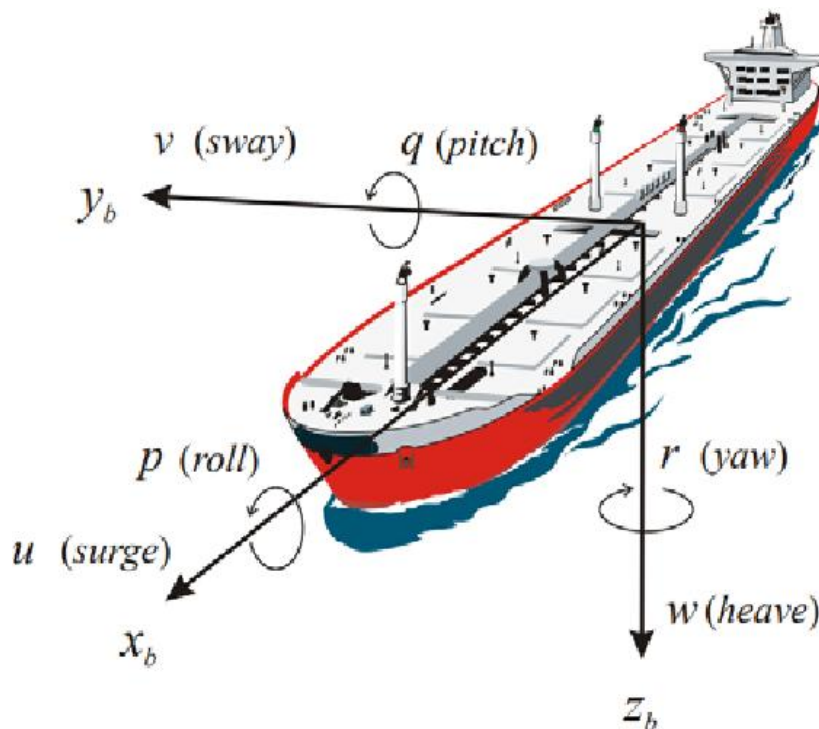
Σχήμα 4: Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης, βασικές δυνάμεις και κινήσεις [5].

Για την καταγραφή των δυνάμεων που ασκούνται στο πλοίο και των κινήσεών του (κατεύθυνση πλοίου) γίνεται χρήση ενός συστήματος αναφοράς θέσης, μιας γυροσκοπικής πυξίδας και ενός συστήματος καταγραφής καθετότητας του πλοίου ή της πλωτής κατασκευής. Όσο αφορά την ταχύτητα του ανέμου η μέτρηση γίνεται με μετρητές ανέμου. Το σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) υπολογίζει την διαφορά της θέσης στην οποία βρίσκεται συγκρινόμενη με την θέση που έχει προκαθοριστεί ως επιθυμητή. Αρχικά ενημερώνεται το σύστημα για την τοποθεσία και την κατεύθυνση του πλοίου ή της πλωτής κατασκευής. Στην συνέχεια με τα προαναφερόμενα δεδομένα πραγματοποιούνται υπολογισμοί μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου και δημιουργεί ένα πλάνο για τον τρόπο και την διαχείριση των διατάξεων πρόωσης (κατανομή προωθητών και προωθητήρες) για να εκμηδενιστεί αυτή η διάφορα (Σχήμα 5) [1],[5].

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί για το σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης είναι ότι είναι ένα σύστημα που δρα αποκλειστικά διορθωτικά είτε έπειτα από την απώλεια της θέσης είτε κάτω από προληπτικές συνθήκες που προβλέπουν την αλλαγή της θέσης. Από τα συλλεχθέντα δεδομένα, δηλαδή τις μετρήσεις που έχουν ληφθεί από τους αισθητήρες και τα κατάλληλα όργανα για την ένταση του ανέμου, το ρεύμα της θάλασσας, τον κυματισμό της θάλασσας κ.ά. λειτουργεί το σύστημα πρόωσης με τέτοιο τρόπο σε συνέπεια να εξουδετερώνει τις δυνάμεις. Συγκεκριμένα το σύστημα μπορεί να ελέγχει τις κινήσεις του πλοίου στους τρεις οριζόντιους άξονες ελευθερίας (surge, sway και yaw) (Σχήμα 6) [1].



Σχήμα 5: Σύστημα Ελέγχου δυναμικής θεσιοθέτησης [3]



Σχήμα 6: Οριζόντιοι άξονες ελευθερίας πλοίου (surge, sway και yaw) [10].

1.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΙΣΗΣ

Πραγματοποιώντας μια προσπάθεια να αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) υλοποιείται μια σύγκριση με άλλα συστήματα που έχουν δημιουργηθεί για τον ίδιο σκοπό, δηλαδή την διατήρηση της θέσης ενός πλοίου ή μιας πλωτής κατασκευής.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Jack – up barge	
- Δεν υπάρχουν πολύπλοκα συστήματα με προωθητήρες, πρόσθετες γεννήτριες και ελεγκτές. - Δεν υπάρχει πιθανότητα να απομακρυνθεί η θέση λόγω βλαβών του συστήματος ή διακοπής ρεύματος. - Δεν υπάρχει υποβρύχιος κίνδυνος από τους προωθητές.	- Καμία ευελιξία όταν τοποθετηθεί. - Περιορίζεται σε βάθη υδάτων 175 m.
Anchoring	
- Δεν υπάρχουν πολύπλοκα συστήματα με προωθητήρες, πρόσθετες γεννήτριες και ελεγκτές. - Δεν υπάρχει πιθανότητα να απομακρυνθεί η θέση λόγω βλαβών του συστήματος ή διακοπής ρεύματος. - Δεν υπάρχει υποβρύχιος κίνδυνος από τους προωθητές.	- Περιορισμένη ευελιξία όταν αγκυρωθεί. - Απαιτούνται ρυμουλκά χειρισμού αγκύρωσης. - Λιγότερο κατάλληλο σε βαθιά νερά. - Ο χρόνος για την αγκύρωση ποικίλλει μεταξύ αρκετών ωρών και αρκετών ημερών. - Περιορίζεται από τον εμποτισμένο βυθό (αγωγούς, βυθούς).
Dynaming Posisitioning	
- Η ευελιξία είναι εξαιρετική. είναι εύκολο να γίνει αλλαγή της θέσης. - Δεν απαιτούνται ρυμουλκά χειρισμού αγκύρωσης. - Δεν εξαρτάται από το βάθος του νερού. - Γρήγορη εγκατάσταση. - Δεν περιορίζεται από παρεμποδισμένο θαλάσσιο βυθό.	- Συγκροτήματα με προωθητήρες, πρόσθετες γεννήτριες και ελεγκτές. - Υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης. - Υψηλό κόστος καυσίμων. - Ευκαιρία στη θέση απενεργοποίησης σε περίπτωση ισχυρών ρευμάτων ή ανέμων ή λόγω βλαβών του συστήματος ή διακοπών ρεύματος. - Υποβρύχιους κινδύνους από προωθητές για δύτες και τηλεχειριζόμενα υποβρύχια όχημα. - Υψηλότερη συντήρηση των μηχανικών συστημάτων.

Πίνακας 1: Σύγκριση συστημάτων διατήρησης θέσης [3]

Από τον Πίνακα 1 γίνεται άμεσα κατανοητό ότι κάθε μέθοδος διατήρησης θέσης έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι ότι το σύστημα της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) έχει πραγματοποιήσει πολλές λειτουργίες πιθανές που με άλλα συστήματα δεν είναι εφικτές. Επιπλέον, όσο αφορά το κόστος των συστημάτων με την ανάπτυξη των τεχνολογιών μειώνεται ολοένα και περισσότερο αυξάνοντας παράλληλα τα περιβαλλοντικά οφέλη αφού με το σύστημα της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) δίνεται δυνατότητα εξερεύνησης βαθύτερων νερών με συνέπεια την προστασία του ωκεάνιου βυθού (κοράλλια) [3].

1.5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

Ο Αμερικανικός Νηογνώμονας (American Bureau of Shipping) έχει δημιουργήσει μια κλίμακα στην οποία πραγματοποιείται μια ταξινόμηση των πλοίων με δυναμική θεσιοθέτηση. Η ταξινόμηση αυτών των πλοίων υλοποιείται ανάλογα με την ικανότητα τους να διατηρούν την θέση του (Πίνακας 2).

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
DPS-0	- Κεντρικό χειροκίνητο σύστημα ελέγχου θέσης - Αυτόματος έλεγχος πορείας, έλεγχος θέσης και κατεύθυνσης κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.
DPS-1	- Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης ικανό να διατηρεί αυτόματα την θέση και την πορεία του πλοίου κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες - Σύστημα χειροκίνητου ελέγχου της θέσης.
DPS-2	- Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης ικανό να διατηρεί αυτόματα την θέση και πορεία του πλοίου εντός συγκεκριμένης περιοχής κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, κατά τη διάρκεια και έπειτα από οποιοδήποτε μεμονωμένο σφάλμα, εκτός από την απώλεια ενός ή περισσότερων διαμερισμάτων.
DPS-3	- Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης να διατηρεί αυτόματα την θέση και πορεία του πλοίου εντός συγκεκριμένης περιοχής κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την διάρκεια και έπειτα από οποιουδήποτε μεμονωμένου σφάλματος, συμπεριλαμβανομένου την ολοκληρωτική απώλεια ενός διαμερίσματος εξαιτίας φωτιάς ή πλημμύρας

Πίνακας 2: Ταξινόμηση πλοίων με δυναμική θεσιοθέτηση [1],[5].

1.6. ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

Η δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP) δεν χρησιμοποιείται μόνο σε πλοία ή πλωτές κατασκευές, τα οποία επιθυμούν να διατηρήσουν σταθερή της θέση τους. Η χρήση της δυναμικής θεσιοθέτησης έχει επεκταθεί σε πλήθος τομών, οι οποίοι απαιτούν το πλοίο να παραμείνει σταθερό σε μια πορεία χωρίς να υπάρχουν αποκλίσεις [2], [5]. Η δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP) έχει επεκταθεί στους τομείς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

ΤΟΜΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ	- Πλοία εναπόθεσης καλωδίων - Πλωτούς γερανούς - Κρουαζιερόπλοια - Πλοία υποστήριξης υποβρύχιων εργασιών - Βυθοκόρους - Πλωτά τρυπάνια - Πλωτές κατασκευές ενδιαίτησης εργατών - Ναρκαλιευτικά πλοία - Πλοία εναπόθεσης υποβρύχιων αγωγών - Βοηθητικά πλοίαρια εξεδρών - Πλοία εναπόθεσης βράχων - Εκτοξευτήρες πυραύλων - Πλωτές στρατιωτικές κατασκευές - Ερευνητικά σκάφη
--	--

Πίνακας 3: Τομείς εφαρμογής της δυναμικής θεσιοθέτησης [2]

Σύμφωνα με τον Τρυφωνίδης Χ. (2013) η ικανότητα των συστημάτων δυναμικής θεσιοθέτησης για ακριβή θέση έκανε την είσοδο τους σε πολλούς τομείς θέμα χρόνου καθώς αυτοματοποιεί και τελειοποιεί την δουλειά που θα έπρεπε να γίνεται μόνο από προσωπικό αρκετά έμπειρο στην πλοήγηση το οποίο όμως είναι και υψηλά αμειβόμενο. Γίνεται άμεσα κατανοητό ότι τα συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης απαιτούν έναν χειριστή ο οποίος δεν εξυπακούεται ότι πρέπει να είναι πλοίαρχος με στόχο να υπάρχει εμπειρία στην πλοήγηση. Η πληθώρα αυτών των πλοίων, πλωτών κατασκευών εφόσον κινούνται επί θαλάσσης θα έπρεπε να συμπεριληφθούν σε κάποιους κανονισμούς [1].

1.7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούν κάποιες από τις βασικές εφαρμογές της χρήσης της δυναμικής θεσιοθέτησης παγκοσμίως.

➤ *Κατασκευή Αιολικού Πάρκου από Damen*

Η Damen κατασκευάζει το πρωτοποριακό σκάφος για τη βρετανική εταιρεία Bibby Marine Services, το πλοίο δρομολογήθηκε για την Βόρεια Θάλασσα και την υποστήριξη της κατασκευής ενός επικείμενου αιολικού πάρκου και των υπηρεσιών Συντήρησης και Επισκευής του.

Σκοπός της Damen είναι μια πλωτή μονάδα ικανή να παραμένει στη θάλασσα για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ θα μεταφέρει συνεχώς μηχανικούς και εργαζόμενους μαζί με τον εξοπλισμό και τα εξαρτήματα τους. Η διατήρηση του προσωπικού σε καλή κατάσταση καθ' όλη την επιχείρηση και η ικανότητα λειτουργίας σε ένα ευρύ φάσμα καιρικών συνθηκών, λήφθηκαν επίσης υπόψη κατά το σχεδιασμό ως βασικά ζητούμενα.

Το συνολικό αποτέλεσμα αυτής της νέας προσέγγισης στο σχεδιασμό ήταν ένα πλοίο που συνδυάζει εξαιρετική απόδοση με τη βέλτιστη άνεση. Ο δυναμικός σχεδιασμός αποδείχθηκε σε αρχικό στάδιο με μια πρώτη-του-είδους της δοκιμής δυναμικής θεσιοθέτησης (DP) στο Ολλανδικό θαλάσσιο ερευνητικό ινστιτούτο MAPIN. Κατά τη διάρκεια αυτών των δοκιμών, ένα μοντέλο τοποθετήθηκε σε προσομοιωμένες συνθήκες βαριάς κακοκαιρίας στη Βόρεια Θάλασσα και ξεπέρασε κάθε προσδοκία [74].

➤ *Πλήρως αυτοματοποιημένη πλοήγηση από λιμάνι σε λιμάνι*

Ο όμιλος Wärtsilä ολοκλήρωσε με επιτυχία τα δοκιμαστικά τεστ στο θέμα που αφορά την αυτοματοποιημένη πλοήγηση από λιμάνι σε λιμάνι. Το σύστημα δοκιμάστηκε στο επιβατηγό - οχηματαγωγό πλοίο Folgefonn πραγματοποιώντας μια πλήρως αυτόνομη διαδρομή από προβλήτα σε προβλήτα, και στα τρία λιμάνια τα οποία εξυπηρετούν το πλοίο παρουσία της Νορβηγικής Ναυτιλιακής Αρχής (NMA).

Η πλοήγηση του πλοίου ελέγχεται χρησιμοποιώντας σημεία και διαδρομές, μέσα από τα οποία το πλοίο καθοδηγείται προς τον επόμενο του προορισμό. Η συσκευή ελέγχου, η οποία βασίζεται στο υπάρχον σύστημα δυναμικής τοποθέτησης της Wärtsilä, ελέγχει την ταχύτητα, τη θέση και την πορεία του πλοίου. Το GNSS χρησιμοποιείται ως ο βασικός αισθητήρας, ενώ το Wärtsilä Guidance Marine CyScan AS δοκιμάζεται ως δευτερεύον αισθητήρας θέσης για την προσέγγιση στην προβλήτα [74].

Η επιτυχής ολοκλήρωση των συγκεκριμένων δοκιμών έχει τεράστια σημασία. Μόλις ο διαχειριστής επέλεξε τον επόμενο προορισμό, η λειτουργία ξεκίνησε απλά με την επιλογή «Sail», η οποία επέτρεψε στην αυτόνομη συσκευή χειρισμού να πάρει τον έλεγχο του πλοίου. Το πλοίο αναχώρησε από την προβλήτα, πραγματοποίησε ελιγμούς κατά την έξοδό του από το λιμάνι, έπλευσε μέχρι το επόμενο λιμάνι, εισήλθε σε αυτό και προσέδεσε στην προβλήτα, και όλα αυτά χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Πιστεύεται ότι αυτή είναι η πρώτη προσπάθεια για πλήρως αυτοματοποιημένη πλοήγηση από λιμάνι σε λιμάνι, χωρίς να υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση, για ένα πλοίο τέτοιου μεγέθους [72].

➤ **Νέα τεχνολογία για εξοικονόμηση καυσίμων στα πλοία**

Ο όμιλος Wärtsilä πραγματοποίησε την εγκατάσταση τριών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε ένα πλοίο κατασκευής υπεράκτιων εγκαταστάσεων, παρέχοντας για πρώτη φορά τη δυνατότητα κατανομής φορτίου και ενέργειας στα συστήματά του. Το σύστημα περιλαμβάνει μια διάταξη που χρησιμοποιεί πετρέλαιο και ηλεκτρική ενέργεια σε συνδυασμό με τη χρήση μπαταριών και έχει σχεδιαστεί ώστε να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου μέχρι και 50%, λαμβάνοντας υπόψη βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας.

Η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε στο πλοίο «North Sea Giant» της εταιρείας North Sea Shipping AS, ένα από τα μεγαλύτερα και πιο προηγμένα πλοία υποθαλάσσιων κατασκευών. Στη δεύτερη φάση του έργου, η Wärtsilä εγκατέστησε ένα σύστημα Electronic Bus Link (EBL), μια νέα μονάδα η οποία επιτρέπει στο πλοίο να μοιράζει το φορτίο και την ενέργεια μεταξύ των τριών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας της Wärtsilä. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναμένεται να οδηγήσει σε πρόσθετη μείωση του λειτουργικού κόστους και σε συνολική μείωση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου κατά δύο εκατομμύρια λίτρα.

Τα τρία συστήματα αποθήκευσης ενέργειας της Wärtsilä μειώνουν τις αυξομειώσεις φορτίου στις γεννήτριες του πλοίου. Συνήθως, τα πλοία που χρησιμοποιούν συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης λειτουργούν δύο ή περισσότερους κινητήρες ταυτόχρονα σε χαμηλό φορτίο ώστε να εξασφαλίζουν εφεδρική ισχύ. Χρησιμοποιώντας το υβριδικό σύστημα με μπαταρίες της Wärtsilä για την παροχή της απαιτούμενης εφεδρικής ισχύος, ο εν λειτουργία κινητήρας μπορεί να έρχεται πιο κοντά στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας [73].

➤ ***To Mein Schiff 3 χρησιμοποιεί το σύστημα ελέγχου «Dynamic Positioning»***

Οι πρόσφατα ολοκληρωμένες θαλάσσιες δοκιμές του χωρητικότητας 99.430 gt κρουαζιερόπλοιου Mein Schiff 3 επιβεβαίωσαν την υψηλή απόδοση του συστήματος ελέγχου δυναμικής θεσιοθέτησης (Dynamic Positioning – DP) της Navis Engineering's, του Navis Nav DP4000. Το Mein Schiff 3 είναι ένα εκλεπτυσμένο και εξαιρετικά καινοτόμο κρουαζιερόπλοιο που δραστηριοποιείται στη γερμανική αγορά κρουαζιέρας διακεκριμένης κατηγορίας.

Το σκάφος ενσωματώνει μια σειρά από φιλικά προς το περιβάλλον χαρακτηριστικά, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή απόδοση. Αυτό σημαίνει ότι το Mein Schiff 3 καταναλώνει περίπου 30% λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα κρουαζιερόπλοια παρομοίου μεγέθους. Το σύστημα ελέγχου δυναμικής θεσιοθέτησης (Dynamic Positioning – DP) του Mein Schiff 3 σχεδιάστηκε σε στενή συνεργασία με την TUI Cruises. Διαθέτει ειδικές λειτουργίες που συμβάλλουν στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των πράξεων ανεφοδιασμού [74].

➤ ***Υπερσύγχρονα υβριδικά συστήματα πρόωσης από την Rolls-Royce***

Η εταιρεία Rolls-Royce έχει συνάψει μια συμφωνία με τη West Sea Yard, μέλος του ομίλου Martifer, προκειμένου να εξοπλίσει δύο κρουαζιερόπλοια του νέου στόλου φιλικών

προς το περιβάλλον. Το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί είναι ένα υπερσύγχρονο υβριδικό σύστημα πρόωσης που μειώνει δραματικά την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂, καθώς και ένα σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης, το οποίο μας επιτρέπει τη χρήση αγκυρών, προστατεύοντας έτσι το θαλάσσιο περιβάλλον [74].

Ωστόσο στην Ελλάδα έχει εφαρμοστεί δυναμική θεσιοθέτηση σε δύο μεγάλα έργα που είναι:

➤ ***Σαντορίνη: Ξεκίνησε αποστολή της NASA στο υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Κολούμπου***

Η NASA στοχεύει στο να δοκιμάσει στο θαλάσσιο βυθό ιδέες που θα κάνουν χρήση «έξυπνων» τεχνολογιών με αυτόματα υποβρύχια οχήματα (Autonomous Underwater Vehicles – AUVs), τα οποία θα παρέχουν την δυνατότητα εξερεύνησης απομακρυσμένων ωκεανών σε μακρινούς δορυφόρους του Δία και του Κρόνου, όπως ο Εγκέλαδος και η Ευρώπη, όπου θα αναζητηθούν υποθαλάσσια ίχνη ζωής σε ακραία, αχαρτογράφητα και πιθανώς επικίνδυνα περιβάλλοντα [69].

Η διεθνής αποστολή που αποτελείται από 30 επιστήμονες από τις ΗΠΑ, την Ελλάδα, την Αυστραλία και τη Γερμανία, υποστηρίζεται επιχειρησιακά από το ελληνικών συμφερόντων πλοίο DP-2 CLV Ocean Link της εταιρείας Maritech International. Διάρκεια του έργου 7 ημέρες (20-27 Νοεμβρίου). Το έργο βασιζόταν στη διεθνή ωκεανογραφική έρευνα του βυθού στο υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπος, περίπου επτά χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Σαντορίνης, η οποία χρηματοδοτείται και στηρίζεται από την Αμερικανική Διαστημική Υπηρεσία (NASA) [70].

Η ομάδα που ανέλαβε την βελτιστοποίηση της τεχνολογίας των ρομποτικών ανιχνευτικών μέσων, συμμετέχουν το Ωκεανογραφικό Ινστιτούτο Woods Hole της Μασαχουσέτης (με επικεφαλής τον Δρ. Ρίτσαρντ Καμίλι), το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT), το Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν, το Πανεπιστήμιο του Σίδνεϊ, το Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών και το Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας, Βιοτεχνολογίας και Υδατοκαλλιεργειών (Ι.ΘΑ.Β.Β.ΥΚ.) του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ).

Η τεχνολογία που χρηματοδότησε η NASA ανοίγει νέους ορίζοντες για την εξερεύνηση του Κολούμπου, ενός ενεργού ηφαιστείου που οι επιστήμονες λένε ότι χρήζει συστηματικής παρακολούθησης. Μέσω ειδικών software που έχουν αναπτύξει οι ερευνητές του MIT- στο οποία έχουν ενσωματωθεί τοπικά γεωλογικά δεδομένα - τα ρομπότ, μετά την υποθαλάσσια βόλτα τους στο ηφαίστειο, παράγουν χάρτες με τα σημεία που παρουσιάζουν ενδιαφέρον εξερεύνησης [71].

Τα αυτόνομα υποβρύχια οχήματα θα κινηθούν μέσα στον κρατήρα του Κολούμπου και θα μελετήσουν τις υδροθερμικές πηγές του και άλλες περιοχές βιογεωχημικού ενδιαφέροντος. Τα ρομπότ, τα οποία διαθέτουν χημικούς αισθητήρες, μεταξύ άλλων, θα αναζητήσουν συνθήκες μέσα στον ηφαιστειακό κώνο, που θα μπορούσαν να ευνοούν την ανάπτυξη μορφών ζωής, όπως θα συνέβαινε αν βρίσκονταν σε ένα εξωγήινο ωκεανό. Σημειώνεται ότι ο ηφαιστειακός κώνος του Κολούμπου έχει τα εξής χαρακτηριστικά

διάμετρο βάσης 3 km και σχηματίζει ένα κρατήρα διαμέτρου 170 m, ο οποίος υψώνεται από βάθος 504 m έως βάθος 18 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας [69-71].

Τα ευρήματα της εξερεύνησης ήταν ότι εντοπίστηκαν για πρώτη φορά στη βορειοανατολική πλευρά του Κολούμπο τρεις νέες καμινάδες, άγνωστες στους επιστήμονες που είχαν χαρτογραφήσει το ηφαίστειο τα προηγούμενα χρόνια. Οι καμινάδες ήταν ενεργές, δηλαδή κάπνιζαν, εμφάνισαν μεγαλύτερη συγκέντρωση βακτηριακού υλικού και η μία εξ αυτών έχει εντυπωσιακές διαστάσεις. Με ύψος περίπου 1m και διάμετρο 1,5 m βρισκόταν σε ένα βύθισμα από όπου εκλύονταν αέρια. Η απόδειξη ότι αυτά τα λογισμικά μπορούν να ανιχνεύσουν μορφές ζωές, χωρίς να σταλεί άνθρωπος στο Διάστημα και με τον έλεγχο όλης της διαδικασίας να γίνεται από τη Γη. Αν αξιοποιηθεί η νέα τεχνολογία και τοποθετηθούν μηχανήματα μόνιμα στον πυθμένα δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης του ηφαίστειου Κολούμπο online, χωρίς να αναμένονται οι επιτόπιες επιστημονικές αποστολές που γίνονται ανά τα χρόνια και τότε σίγουρα, υποστηρίζουν οι επιστήμονες, νέα μυστικά, κρυμμένα στον βυθό του Αιγαίου επί τουλάχιστον 370 χρόνια, θα αποκαλυφθούν στην παγκόσμια κοινότητα [69-71].

➤ **Κορινθιακός κόλπος: κατασκευή Γέφυρας Ρίου Αντιρρίου**

Η Γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου είναι ένα από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα που χρησιμοποιήθηκε η Δυναμική Θεσιοθέτηση για την κατασκευή της. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της υλοποιήθηκε στο πλαίσιο ενός ιδιωτικού συστήματος και ξεπέρασε έναν εξαιρετικό συνδυασμό δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών χάρη στην επιλογή μιας κατάλληλης ιδέας και σεισμικής φιλοσοφίας σχεδιασμού. Ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2004, η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου έχει τεθεί σε κυκλοφορία 4 μήνες πριν τη συμβατική προθεσμία. Το σύστημα δυναμική θεσιοθέτησης χρησιμοποιήθηκε στην διαδικασία κατασκευής της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου για την σταθερότητα και ενίσχυση του εδάφους, την τοποθέτηση των πυλώνων με μεγάλη ακρίβεια και στην τοποθέτηση των τμημάτων ασφαλοτάτητα που απαιτούσε μεγάλη ακρίβεια [54].

Η Γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου θα αναπτυχθεί εκτενέστερα στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας αφού είναι η περίπτωση μελέτης που μελετάτε για τον τρόπο κατασκευής και την χρησιμότητα του συστήματος δυναμικής θεσιοθέτησης.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα αναφοράς θέσεις σε όποια κατηγορία και αν ανήκουν χρησιμοποιούν ένα υπολογιστικό πρόγραμμα που περιέχει ένα μαθηματικό μοντέλο του σκάφους που περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την αντίσταση του ανέμου και του ρεύματος του σκάφους και τη θέση των προωθητήρων. Αυτή η γνώση, σε συνδυασμό με τις πληροφορίες αισθητήρων, επιτρέπει στον υπολογιστή να υπολογίζει την απαιτούμενη γωνία διεύθυνσης και την έξοδο του προωθητήρα για κάθε προωθητήρα. Αυτό επιτρέπει τις εργασίες στη θάλασσα όπου η αγκυροβόληση ή η αγκύρωση δεν είναι εφικτή λόγω του βάθους ύδατος, της συμφόρησης στον πυθμένα της θάλασσας (σωληνώσεις, πρότυπα) ή άλλων προβλημάτων. Η δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP) μπορεί να είναι είτε απόλυτη, διότι η θέση είναι κλειδωμένη σε ένα σταθερό σημείο πάνω από τον πυθμένα ή σε σχέση με ένα κινούμενο αντικείμενο όπως ένα άλλο πλοίο ή ένα υποβρύχιο όχημα. Κάποιος μπορεί επίσης να τοποθετήσει το πλοίο σε ευνοϊκή γωνία προς τον άνεμο, τα κύματα και το ρεύμα, που ονομάζεται weathervaning (καιρικές συνθήκες) [12].

Τα συστήματα DP βασίζονται σε περισσότερα από ένα συστήματα παρακολούθησης θέσης για να λάβουν μια ακριβή και αξιόπιστη είσοδο για την τρέχουσα θέση του σκάφους. Για DP Class 2 ή Class 3, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν τρία διαφορετικά συστήματα παρακολούθησης θέσης. Δύο συστήματα δεν αρκούν, διότι εάν ένα από αυτά δεν λειτουργεί σωστά και δεν παρέχει ενδογενή δεδομένα, το σύστημα ελέγχου DP δεν είναι σε θέση να εντοπίσουν ποιο σύστημα είναι λάθος. Επομένως, είναι απαραίτητο να υπάρχουν τουλάχιστον τρία (3) συστήματα αναφοράς ενεργά για την παροχή πληροφορίας δύο από τα τρία και να προσδιορίσουν το λάθος ως σύνολο δεδομένων. Στην συνέχεια ακολουθούν τα πέντε (5) πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα παρακολούθησης θέσης [13]:

1. Differential Global Positioning System (DGPS)
2. Hydroacoustic position reference (HPR)
 - Long Baseline systems (LBL)
 - Short Baseline systems (SBL)
 - Ultra-short baseline systems (USBL)
3. Taut wire
4. Laser – based systems
5. Artemis

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι τα μεγαλύτερα σκάφη ανύψωσης χρησιμοποιούν πάνω από ένα σύστημα με στόχο την συλλογή περισσότερων πληροφοριών. Για παράδειγμα στο σκάφος Thialf κάνει χρήση πέντε (5) διαφορετικών συστημάτων παρακολούθησης για την δυναμική του θεσιοθέτηση. Τα συστήματα που χρησιμοποιεί το Thialf είναι δύο satellite DGPS, ένα mechanical taut wire (300 m), ένα Artemis, δύο acoustic SSBL/LBL και ένα Fan-beam laser

2.2. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ

Οι τύποι των συστημάτων αναφοράς θέσης είναι τα ακόλουθα:

- Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Global Positioning System - GPS)
- Διαφορικό Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Differential Global Positioning System – DGPS)
- Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System - GIS)
- Ηλεκτρονικό σύστημα εμφάνισης γραφημάτων και πληροφοριών (Electronic Chart Display and Information System – ECDIS)
- Αναφορά υδροακουστικής θέσης (Hydroacoustic Position Reference - HPR)
- Artemis Mark V

Στην συνέχεια θα αναλυθούν και θα περιγραφούν τα αναφερόμενα συστήματα αναφοράς θέσης.

2.2.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (GLOBAL POSITIONING SYSTEM - GPS)

Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (Global Positioning System – GPS) είναι ένα από τα βασικότερα συστήματα όπου έχει την δυνατότητα να ελέγχει ένα μεγάλος πλήθος δορυφόρων (περίπου 27), οι οποίοι εκπέμπουν ραδιοσήματα με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Αυτό έχει σαν συνέπεια, το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (GPS) να παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια από τους ναυτικούς χάρτες. Άρα ένας ηλεκτρονικός χάρτης πλοήγησης μπορεί να συνδυάσει και να διαχειριστεί πληροφορίες από πλήθος συστημάτων παρακολούθησης θέσης (διαφορετικές πηγές), δηλαδή τις υδρογραφικές πληροφορίες και τις ναυτικές, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα πλοήγησης με απεικόνιση της θέσης του πλοίου καθώς και προειδοποιητικά ακουστικά και οπτικά σήματα.



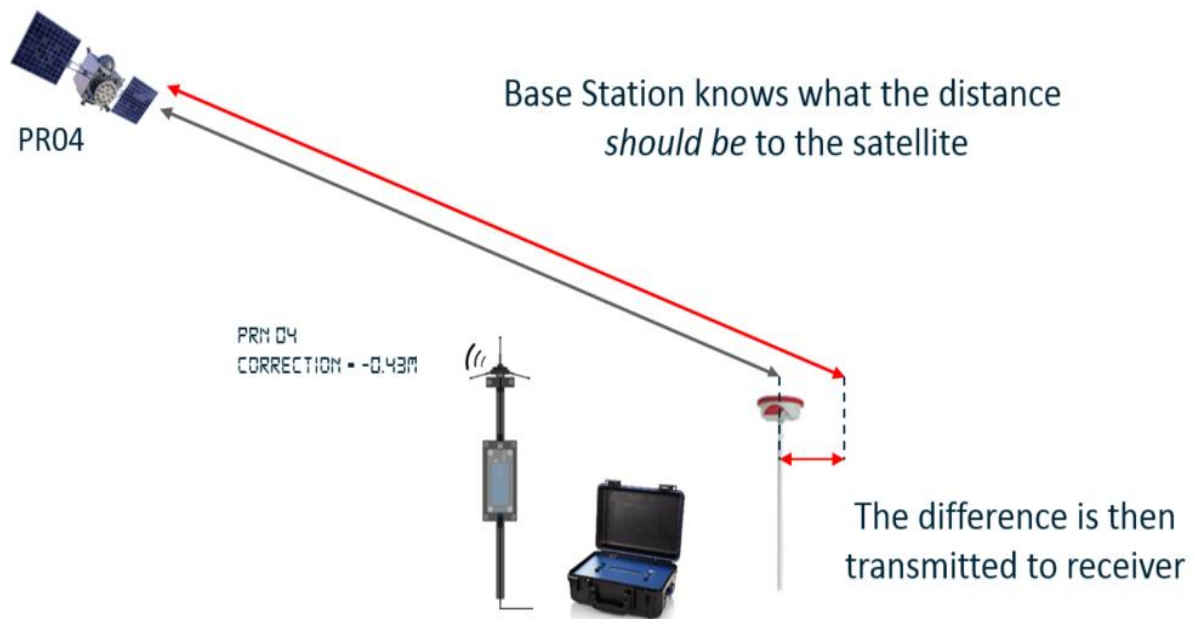
Εικόνα 10: Οι δορυφόροι GPS τοποθετούνται σε ακριβείς, κυκλικές τροχιές 18.000 χιλιόμετρα (11.000 μίλια) πάνω από τη Γη [3].

Όσα αφορά την ακρίβεια του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (GPS) είναι 10 – 15 m. Αυτό το κάνει κάπως απαγορευτικό για την χρήση του στα πλοία και προτείνεται το διαφορικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (Differential Global Positioning System - DGPS) το οποίο δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια που κυμαίνεται από 1-3 cm [1], [3].

2.2.2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM - DGPS)

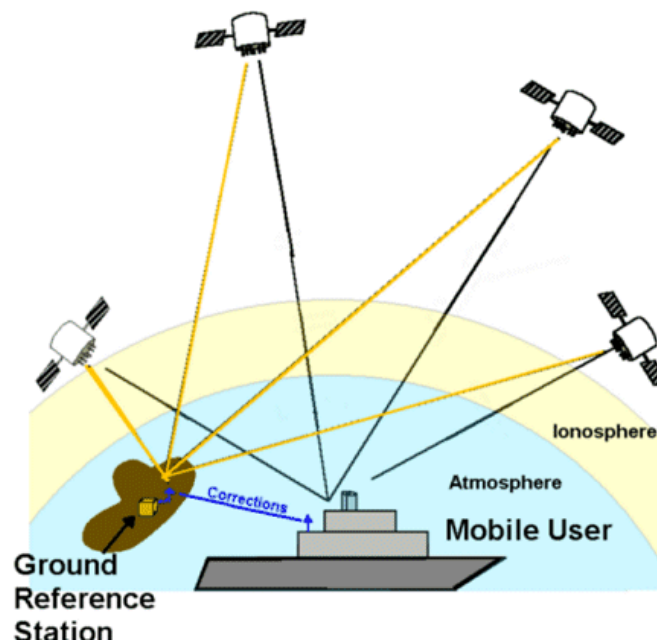
Το δορυφορικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (Differential Global Positioning System - DGPS) είναι ένα βελτιωμένο σύστημα του Global Positioning System (GPS) το οποίο παρέχει βελτιωμένη ακρίβεια θέσης. Στο εύρος των λειτουργιών κάθε συστήματος, από την ονομαστική ακρίβεια 10 – 15 m που παρέχει το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (GPS), το δορυφορικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (DGPS) παρέχει έως περίπου 1 – 3 cm [3].

Το δορυφορικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (DGPS) είναι ουσιαστικά ένα σύστημα που παρέχει σημειακές διορθώσεις στα σήματα GPS. Το δορυφορικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (DGPS) χρησιμοποιεί μια σταθερή, γνωστή θέση για να προσαρμόζει σήματα GPS πραγματικού χρόνου για την εξάλειψη σφαλμάτων ψευδοδιατάξεων [14].



Σχήμα 7: Το δορυφορικό GPS είναι η διαφορά μεταξύ της «πραγματικής» μέτρησης απόστασης και της «θεωρητικής» απόστασης [14].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι διορθώσεις του δορυφορικού παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (DGPS) έχουν την δυνατότητα να βελτιώνουν μόνο την ακρίβεια των δεδομένων θέσης. Το δορυφορικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (DGPS) δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα που βασίζονται σε δεδομένα ταχύτητας, όπως τα αποτελέσματα αύξησης ή μείωσης της ταχύτητας (start – stop) [14].



Σχήμα 8: Γεωμετρία του διαφορικού GPS [15].

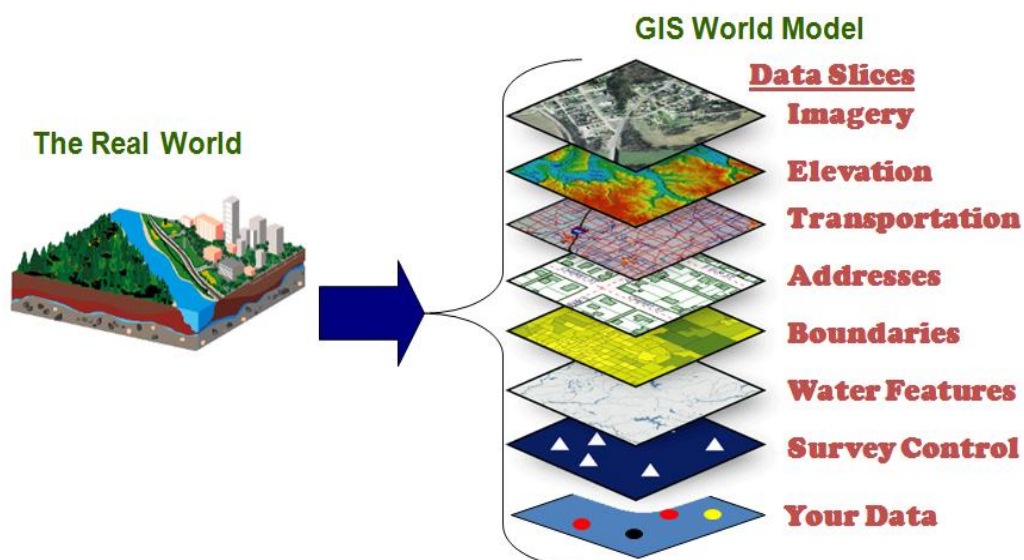
2.2.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM - GIS)

Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information System - GIS) αποτελεί ένα πλαίσιο συλλογής, διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων. Βασισμένο στην επιστήμη της γεωγραφίας, το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) ενσωματώνει πολλούς τύπους δεδομένων. Αναλύει τη χωρική τοποθεσία και οργανώνει τα επίπεδα πληροφοριών σε απεικονίσεις χρησιμοποιώντας χάρτες και τρισδιάστατες σκηνές. Με αυτή τη μοναδική δυνατότητα, το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) αποκαλύπτει βαθύτερες γνώσεις σε δεδομένα, όπως μοτίβα, σχέσεις και καταστάσεις - βοηθώντας τους χρήστες να κάνουν πιο έξυπνες αποφάσεις. Για το λόγο αυτό, οι εφαρμογές του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και εντοπισμού θέσης μπορούν να αποτελέσουν το θεμέλιο για πολλές υπηρεσίες που βασίζονται στην τοποθεσία και βασίζονται στην ανάλυση και την απεικόνιση [16].

Με άλλα λόγια, τα δεδομένα που με κάποιο τρόπο αναφέρονται σε τοποθεσίες στη γη είναι συνήθως πίνακες δεδομένα γνωστά ως δεδομένα χαρακτηριστικών. Τα δεδομένα χαρακτηριστικών μπορούν γενικά να οριστούν ως πρόσθετες πληροφορίες για κάθε χωρικό χαρακτηριστικό. Ένα παράδειγμα αυτού θα ήταν τα σχολεία. Η πραγματική θέση των σχολείων είναι τα χωρικά δεδομένα. Πρόσθετα στοιχεία, όπως το όνομα του σχολείου, το επίπεδο εκπαίδευσης που διδάσκεται, η ικανότητα των σπουδαστών θα αποτελούν τα στοιχεία των χαρακτηριστικών. Είναι η συνεργασία αυτών των δύο τύπων δεδομένων που επιτρέπει στο GIS να είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο επίλυσης προβλημάτων μέσω της χωρικής ανάλυσης. Το GIS είναι κάτι περισσότερο από λογισμικό. Οι άνθρωποι και οι μέθοδοι συνδυάζονται με γεωγραφικό λογισμικό και εργαλεία, για να επιτρέπουν χωρική ανάλυση, να διαχειρίζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων και να εμφανίζουν πληροφορίες σε χάρτη / γραφική μορφή [17], [18].

Το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο τόσο για την επίλυση προβλημάτων όσο και για τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, καθώς και για την απεικόνιση δεδομένων σε ένα χωρικό περιβάλλον. Τα γεωχωρικά δεδομένα μπορούν να αναλυθούν για να προσδιορίσουν είναι [17], [18]:

1. Χαρτογράφηση στοιχείων – αντικειμένων: θέση των χαρακτηριστικών και των σχέσεων με άλλα χαρακτηριστικά
2. Χαρτογράφηση ποσοτήτων: ανάδειξη που υπάρχει το μεγαλύτερο ή / και λιγότερο από κάποιο χαρακτηριστικό
3. Χαρτογράφηση πυκνότητας: πυκνότητα των χαρακτηριστικών σε ένα δεδομένο χώρο
4. Εύρεση του εσωτερικού: ανάδειξη χαρακτηριστικών στο εσωτερικό τμήμα ενός στοιχείου.
5. Εύρεση του τι είναι κοντά: συμβαίνει στη γύρω περιοχή με κάποιο χαρακτηριστικό ή φαινόμενο
6. Αλλαγή χαρτογράφησης: πώς μια συγκεκριμένη περιοχή έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου (και με ποιον τρόπο)



Σχήμα 9: Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) είναι ένα σύστημα σχεδιασμένο για τη σύλληψη, αποθήκευση, χειρισμό, ανάλυση, διαχείριση και παρουσίαση όλων των τύπων χωρικών ή γεωγραφικών δεδομένων [17].

2.2.4. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ELECTRONIC CHART DISPLAY AND INFORMATION SYSTEM - ECDIS)

Ένα ηλεκτρονικό σύστημα απεικόνισης και πληροφοριών ηλεκτρονικού χάρτη (Electronic Chart Display and Information System - ECDIS) είναι ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών που χρησιμοποιείται για τη ναυτική πλοήγηση, το οποίο συμμορφώνεται με τους κανονισμούς του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization - IMO) ως εναλλακτική λύση στα γραφήματα ναυτικών χαρτών. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) αναφέρεται σε παρόμοια συστήματα που δεν πληρούν τους κανονισμούς ως Συστήματα Ηλεκτρονικών Γραφημάτων (Electronic Chart Systems - ECS).

Ένα ηλεκτρονικό σύστημα απεικόνισης και πληροφοριών ηλεκτρονικού χάρτη (ECDIS) εμφανίζει τις πληροφορίες από τους ηλεκτρονικούς πίνακες πλοήγησης (Electronic Navigational Charts - ENC) ή τους ψηφιακούς ναυτικούς χάρτες (Nautical Charts - DNC) και ενσωματώνει πληροφορίες θέσης από τη θέση, την κατεύθυνση και την ταχύτητα μέσω των συστημάτων αναφοράς νερού και προαιρετικά άλλων αισθητήρων πλοήγησης. Άλλοι αισθητήρες που μπορούν να διασυνδεθούν με ένα ηλεκτρονικό σύστημα απεικόνισης και πληροφοριών ηλεκτρονικού χάρτη (ECDIS) είναι το ραντάρ, το Navtex, τα συστήματα αυτόματης αναγνώρισης (Automatic Identification Systems - AIS) και οι βομβητές βάθους. Τα τελευταία χρόνια έχουν προβληθεί ανησυχίες από τη βιομηχανία σχετικά με την ασφάλεια του συστήματος, ιδίως όσον αφορά τις επιθέσεις στον κυβερνοχώρο και τις πλαστογραφίες επιθέσεις του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (GPS) [3].



Εικόνα 11: Απεικόνιση πληροφοριών από το Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)[3].

2.2.5. ΑΝΑΦΟΡΑ ΥΔΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ (HYDROACOUSTIC POSITION REFERENCE - HPR)

Η υδροακουστική αναφορά θέσης (*Hydroacoustic Position Reference – HPR*) είναι ένα σύστημα μέτρησης της σχετικής θέσης μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη κάτω από το νερό. Χρησιμοποιείται μερικές φορές για σκάφη με δυναμική θεσιοθέτηση για τη μέτρηση της σχετικής θέσης μεταξύ ενός σταθερού υποβρύχιου πομπού ή ενός κινητού κάτω από το όχημα [3]. Η ακρίβεια του συστήματος της υδροακουστικής αναφοράς θέσης (HPR) βασίζεται αρχικά στην παρακολούθηση υποθαλάσσιων στόχων και η ακρίβεια είναι του εκατοστού (0-3 cm) και είναι ανεξάρτητη από το βάθος [13].

Η υδροακουστική αναφορά θέσης (HPR) χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους αναμεταδότες τοποθετημένους σε μια προκαθορισμένη θέση πάνω στον πυθμένα και οι μετατροπείς τοποθετούνται στο κύτος του σκάφους. Ο μετατροπέας στέλνει έναν παλμό στον αναμεταδότη, δηλαδή ένα ακουστικό σήμα (μέσω πιεζοηλεκτρικών στοιχείων), ο οποίος ενεργοποιείται με στόχο να σταλεί απαντήσει [13], [19]. Όταν ο αναμεταδότης λάβει τον παλμό, στέλνει ένα νέο παλμό που λαμβάνεται στον μορφοτροπέα. Ο χρόνος μετάδοσης/λήψης είναι ανάλογος με την απόσταση μεταξύ του αναμεταδότη και του μορφοτροπέα. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου μέσω του νερού είναι γνωστή (κατά προτίμηση ένα sound profile), η απόσταση είναι γνωστή [19].

Χρησιμοποιώντας την απόσταση από τέσσερις (4) αναμεταδότες μπορούμε να καθορίσουμε τη θέση του σκάφους [13]. Όμως σημειώνεται ότι επειδή υπάρχουν πολλά στοιχεία στον μορφοτροπέα, μπορεί να προσδιοριστεί η κατεύθυνση του σήματος από τον αναμεταδότη. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί η θέση του πλοίου σε σχέση με τον αναμεταδότη. Ωστόσο, βασικά μειονεκτήματα είναι η ευπάθεια στον θόρυβο από προωθητές ή άλλα ακουστικά συστήματα. Επιπλέον, η χρήση περιορίζεται σε ρηγά νερά λόγω της κάμψης των ακτίνων που συμβαίνει όταν ο ήχος ταξιδεύει οριζόντια στο νερό [19].

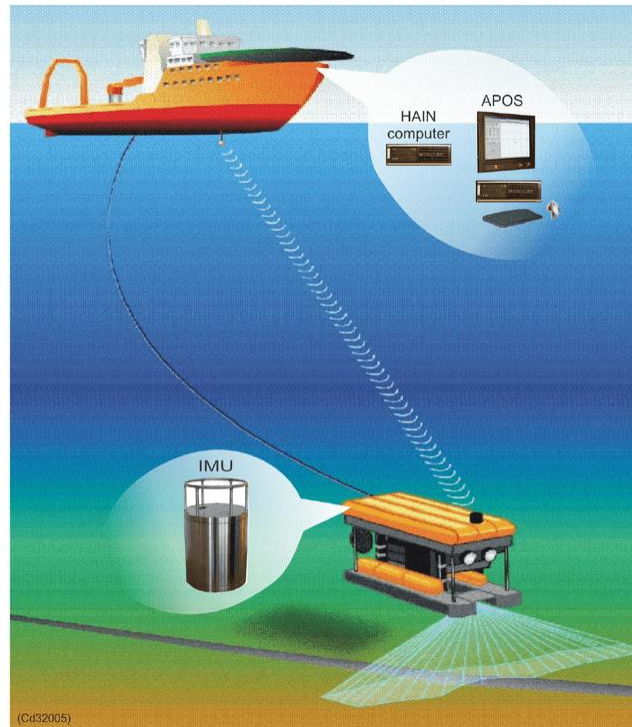
Υπάρχουν τρία συστήματα υδροακουστικής αναφοράς θέσης (HPR) [19]:

- Γραμμή Βάσης Μικρής Απόστασης (Ultra - ή Super - Short Base Line, USBL ή SSBL): λειτουργεί όπως τα πρότυπα συστήματα υδροακουστικής αναφοράς θέσης. Ωστόσο, επειδή μετράται η γωνία προς τον αναμεταδότη, πρέπει να γίνει διόρθωση του κυλίνδρου και του βήματος του πλοίου. Αυτά καθορίζονται από μονάδες αναφοράς κίνησης. Λόγω της φύσης της μέτρησης της γωνίας, η ακρίβεια επιδεινώνεται με την αύξηση του βάθους του νερού. Σημαντικά στοιχεία του συστήματος αυτού είναι ότι η θέση με βάση τις μετρήσεις απόστασης και γωνίας από τη μία δορυφορικό μετατροπέα σε έναν αναμεταδότη θαλάσσιου βυθού η ακρίβεια του συστήματος (τυπική απόκλιση) είναι περίπου 0,2% της κλίσης της κλίσης και ο χρόνος ενημέρωσης είναι 1 sec σε βάθη νερού κάτω από περίπου 700 m βάθος νερού άρα ο ρυθμός ενημέρωσης εξαρτάται από το νερό από 1 έως 6 sec σε βάθος νερού.
- Γραμμή Βάσης Μεγάλης Απόστασης (Long Base Line, LBL): αποτελείται από μια σειρά από τουλάχιστον τρεις αναμεταδότες. Η αρχική θέση των αναμεταδοτών καθορίζεται από το σύστημα γραμμής βάσης μικρής απόστασης (USBL) και / ή μετρώντας τις βασικές γραμμές μεταξύ των αναμεταδοτών. Μόλις γίνει αυτό, πρέπει να μετρηθούν μόνο οι κλίμακες στους αναμεταδότες για να προσδιοριστεί μια σχετική θέση. Η θέση θα πρέπει θεωρητικά να βρίσκεται στη διασταύρωση φανταστικών σφαιρών, μία γύρω από κάθε αναμεταδότη, με ακτίνα ίση με το χρόνο μεταξύ μετάδοσης και λήψης πολλαπλασιασμένη με την ταχύτητα του ήχου μέσω του νερού. Επειδή η μέτρηση της γωνίας δεν είναι απαραίτητη, η ακρίβεια στα μεγάλα βάθη των υδάτων είναι καλύτερη από το σύστημα γραμμή βάσης μικρής απόστασης (USBL). Σημαντικά στοιχεία του συστήματος αυτού είναι η τοποθέτηση εντοπίζεται με βάση τις μετρήσεις απόστασης από έναν μεταγωγέα με δοχείο σε ένα αναμεταδότη θαλάσσιου βυθού με γνωστή γεωμετρία, η ακρίβεια του συστήματος (τυπική απόκλιση) είναι εντός 1 m ανεξάρτητα από το βάθος και ο χρόνος ενημέρωσης εξαρτάται από 2,5 sec έως 6 sec σε βάθος νερού.
- Γραμμή Βάσης Μέτριας Απόστασης (Short Base Line, SBL): λειτουργεί με μια σειρά μετατροπέων στο κύτος του πλοίου. Αυτά καθορίζουν τη θέση τους σε έναν αναμεταδότη, έτσι μια λύση βρίσκεται με τον ίδιο τρόπο όπως με το σύστημα γραμμής βάσης μεγάλης απόστασης (LBL). Καθώς ο πίνακας βρίσκεται στο πλοίο, πρέπει να διορθωθεί για κυλίνδρους και πίσσα.

2.2.6. ΥΔΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΗ ΠΛΟΗΓΗΣΗ (HYDROACOUSTIC AIDED INERTIAL NAVIGATION - HAIN)

Οι αρχές ακουστικής και αδρανείας τοποθέτησης (Hydroacoustic Aided Inertial Navigation - HAIN) σε συνδυασμό είναι ιδανικές, αφού έχουν συμπληρωματικές ιδιότητες. Η ακουστική τοποθέτηση χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλό και ομοιόμορφο καταναεμημένο θόρυβο και καμία μετατόπιση στη θέση, ενώ η αδρανής τοποθέτηση έχει πολύ χαμηλό

βραχυπρόθεσμο θόρυβο και σχετικά μεγάλη μετατόπιση στη θέση με την πάροδο του χρόνου. Εκτός από ένα σύστημα ακουστικής τοποθέτησης (HiPAP ή HPR) ένα σύστημα υδροακουστικής αδρανειακής πλοήγησης (HAIN) αποτελείται από δύο μόνο φυσικές μονάδες. Αυτά είναι ο υπολογιστής και η μονάδα αδρανειακής μέτρησης που πραγματοποιεί διεπαφές μέσω μιας σειριακής γραμμής.



Σχήμα 10: Σύστημα υδροακουστική αδρανειακή πλοήγηση (HAIN)

Το σύστημα υδροακουστικής αδρανειακής πλοήγησης (HAIN) παρέχει αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα για τη λειτουργία δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) και είναι τα ακόλουθα:

- Βελτιωμένη ακουστική θέση ακρίβειας: Το σύστημα υδροακουστικής αδρανειακής πλοήγησης (HAIN) βελτιώνει συνήθως την ακρίβεια περίπου 2-3 φορές. Σε περίπτωση δηλαδή που η απόκλιση «ping toping» είναι 2 m, το σύστημα αυτό θα μειώσει αυτό περίπου 1 m. Αυτό σημαίνει ότι η προτιμώμενη αρχή Γραμμή Βάσης Μικρής Απόστασης (Super Short Baseline SSBL) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια πολύ σταθμισμένη αναφορά σε βαθύτερο νερό από το κανονικό.
- Υψηλότερο ποσοστό ενημέρωσης θέσης: Το σύστημα υδροακουστικής αδρανειακής πλοήγησης (HAIN) υπολογίζει μια νέα θέση κάθε 1 sec ανεξάρτητα από το βάθος του νερού όπως θα το κάνει «Συμπληρώστε τα ακουστικά κενά» με υπολογισμένες τιμές βάσει των μετρήσεων από το Motion Reference Unit (IMU). Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα υδροακουστικής αναφοράς θέσης (HPR) θα διατηρήσει τη στάθμιση του έναντι του ρυθμού ενημέρωσης του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (GPS).

- Επεκτείνει τις δυνατότητες βάθους λειτουργίας: Επειδή τόσο η ακρίβεια όσο και ο ρυθμός ενημέρωσης θέσης βελτιώνονται, το σύστημα υδροακουστικής αδρανειακής πλοήγησης (HAIN) ως εκ τούτου επιτρέπει τη λειτουργία της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) σε βαθύτερα νερά.
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του αναμεταδότη: Ο ρυθμός ενημέρωσης θέσης του συστήματος υδροακουστικής αδρανειακής πλοήγησης (HAIN) επιτρέπει την επιβράδυνση της ακουστικής ενημέρωσης συχνότητα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα λιγότερο «ping» ανά ώρα, και κατά συνέπεια μεγαλύτερη διάρκεια μπαταρίας.
- Ενημέρωση θέσης κατά την ακουστική απόρριψη. Το σύστημα υδροακουστικής αδρανειακής πλοήγησης (HAIN) δίνει συνέχεια στην έξοδο θέσης ακόμα και όταν η ακουστική θέση μπορεί να αποτύχει, παρέχοντας αξιόπιστα δεδομένα θέσης σε περιόδους έως μερικά λεπτά.

2.2.7. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ARTEMIS MARK V

Το Artemis Mk V είναι ένα σύστημα αναφοράς θέσης μικροκυμάτων για χρήση σε μεγάλης κλίμακας θαλάσσιες εφαρμογές δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP). Η Artemis μετρά με ακρίβεια την εμβέλεια και το έδρανο ενός κινητού στοιχείου σε σχέση με μια σταθερή θέση. Η θέση προσδιορίζεται με τη μέτρηση της απόλυτης απόστασης και τη σχετική γωνία μεταξύ δύο σταθμών Άρτεμις. Ο αισθητήρας αναφοράς μικροκυμάτων μεγαλύτερης εμβέλειας στην αγορά σήμερα, δηλαδή η τεχνολογία της Artemis έχει αποδειχθεί στην υπεράκτια λειτουργία της εκφόρτωσης και της μεταφοράς πετρελαίου μεταξύ δεξαμενόπλοιων και FPSOs [20].

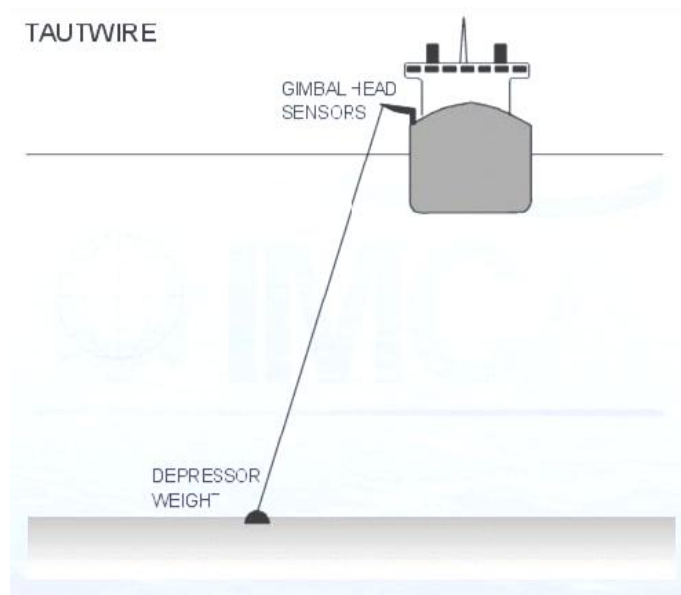


Σχήμα 11: Σύστημα Artemis Mk V

Το Mk V βασίζεται σε πάνω από 40 χρόνια στην κατασκευή του Artemis, συνδυάζοντας αποδεδειγμένα τεχνικές παρακολούθησης κεραιών μικροκυμάτων με τον νέο καινοτόμο πίνακα πλοήγησης της Guidance Marine και τη θέση σε λειτουργία. (Το σύστημα αναφοράς Artemis είναι ένα σύστημα που έχει ξεκινήσει να χρησιμοποιείται και στο Πολεμικό Ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής). [20]

2.2.8. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΕΝΤΩΜΕΝΟΥ ΣΥΡΜΑΤΟΣ (TAUT WIRE)

Το σύστημα τεντωμένου σύρματος (Taut Wire) ήταν το πρώτο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε σε πλοία δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) και πιο συγκεκριμένα στο πλοίο Eureka. Πρόκειται για ένα σύρμα το οποίο είναι τοποθετημένο σε έναν γερανό που βρίσκεται στο πλάι του πλοίου και το ενώνει με ένα σταθερής έντασης βαρούλκο. Έτσι το βάρος μετατοπίζεται στο βυθό της θάλασσας και το βαρούλκο με την σειρά του που σκοπός του είναι να προσαρμόζει το βάρος κρατά τεντωμένο το σύρμα και τελικά καταγράφεται η κίνηση του πλοίου άρα και η θέση του. [21]



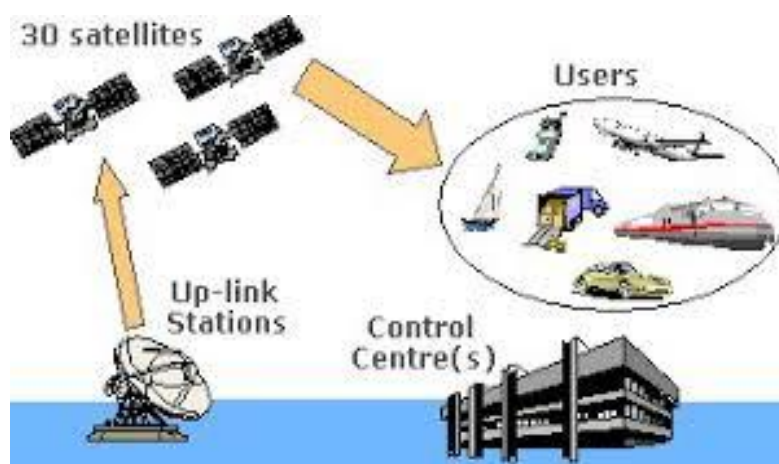
Σχήμα 12: Σύστημα τεντωμένου σύρματος (Taut Wire).

2.2.9. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ GALILEO (GNSS)

Το Galileo είναι ένα σύστημα παγκόσμιας δορυφορικής πλοήγησης (GNSS) υπό κατασκευή από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος. Ένας από τους στόχους του συστήματος Galileo είναι η παροχή ενός συστήματος εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας στο οποίο μπορούν να βασιστούν τα ευρωπαϊκά κράτη,

ανεξαρτητοποιώντας τα έτσι από τα αντίστοιχα συστήματα GLONASS (Ρωσία), GPS (ΗΠΑ) και Compass (Κίνα), τα οποία μπορούν να απενεργοποιηθούν εν καιρώ πολέμου ή συρράξεων [3]

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι το ευρωπαϊκό σύστημα παγκόσμιας δορυφορικής πλοήγησης Galileo (GNSS) συμβάλλει ουσιαστικά στον ναυτιλιακό τομέα. Όλα τα επιβατηγά πλοία και τα φορτηγά πλοία μεγαλύτερα των 500 κόρων ολικής χωρητικότητας ρυθμίζονται και βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο σύστημα παγκόσμιας δορυφορικής πλοήγησης Galileo (GNSS) για ναυσιπλοΐα. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα πλοήγησης (GNSS) για τη θαλάσσια ναυσιπλοΐα είναι ευρέως διαδεδομένα σε εμπορικά σκάφη, τόσο στο εξωτερικό όσο και σε περιοχές με υψηλή κυκλοφορία. Το σύστημα παγκόσμιας δορυφορικής πλοήγησης Galileo (GNSS) χρησιμοποιείται επίσης για την ασφαλή πλοήγηση στις εσωτερικές πλωτές οδούς (ποτάμια, κανάλια, λίμνες και εκβολές ποταμών) [22].



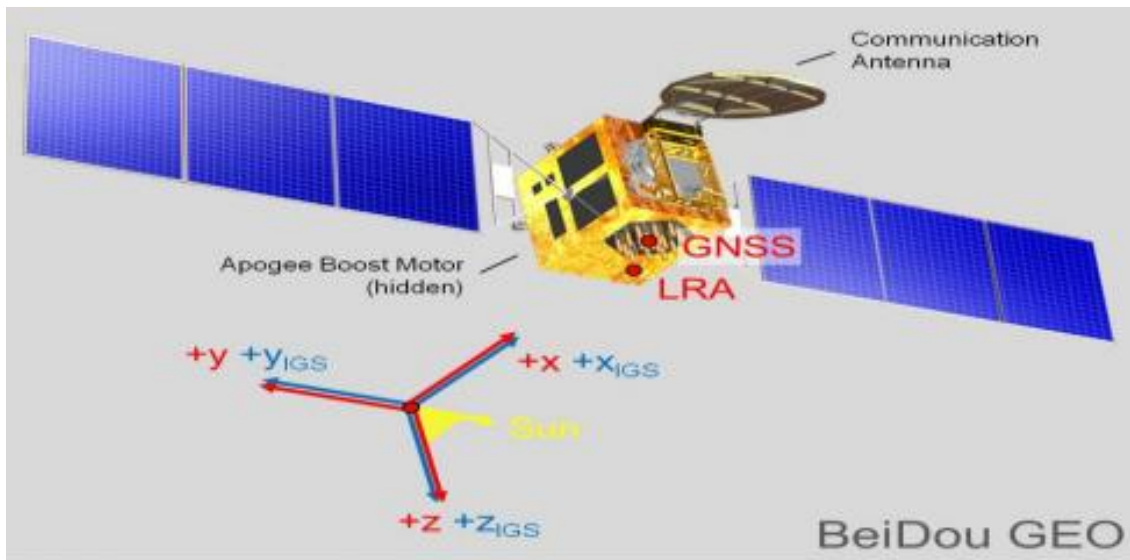
Σχήμα 13: Σύστημα παγκόσμιας δορυφορικής πλοήγησης Galileo (GNSS)[21]

Ο δορυφόρος του δορυφόρου Galileo έχει αρχίσει να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θέση, τη ναυσιπλοΐα και το χρονοδιάγραμμα για τη ναυτιλία, τις υπεράκτιες δραστηριότητες και τις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) έχει αρχίσει επίσημα ανοικτές υπηρεσίες στους πρώτους δεκαοκτώ (18) δορυφόρους στον αστερισμό του Galileo [23].

Ο δορυφόρος Galileo προσχωρεί στο παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) που χρηματοδοτείται από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) και στο Glonass της Ρωσίας ως επίσημοι αστερισμοί για την παροχή πληροφοριών θέσης, πλοήγησης και χρονισμού. Τα πλοία χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες για σύγχρονη ηλεκτρονική πλοήγηση και για πλοία ανοικτής θάλασσας τα χρησιμοποιούν για δυναμικές λειτουργίες εντοπισμού θέσης. Οι υπηρεσίες αναζήτησης και διάσωσης χρησιμοποιούν τις πληροφορίες για να εντοπίσουν λανθάνοντα σκάφη και να διαχειριστούν τις εργασίες ανάκτησης [23].

2.2.10. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ BEIDOU (BDS) OR COMPASS

Το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης BeiDou (BDS) είναι ένα κινεζικό σύστημα πλοήγησης μέσω δορυφόρου. Αποτελείται από δύο χωριστούς δορυφορικούς αστερισμούς. Το πρώτο σύστημα BeiDou, που ονομάζεται επίσημα το πειραματικό σύστημα δορυφορικής πλοήγησης BeiDou και επίσης γνωστό ως BeiDou-1, αποτελείται από τρεις δορυφόρους οι οποίοι από το 2000 έχουν προσφέρει περιορισμένες υπηρεσίες κάλυψης και πλοήγησης, κυρίως για χρήστες στην Κίνα και τις γειτονικές περιοχές [3], [25].



Σχήμα 14: Δορυφορικό σύστημα πλοήγησης BeiDou (BDS)[25]

Η δεύτερη γενιά του συστήματος, που ονομαζόταν επίσημα το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης BeiDou (BDS) και επίσης γνωστό ως COMPASS ή BeiDou-2, άρχισε να λειτουργεί στην Κίνα το Δεκέμβριο του 2011 με μερική συστοιχία δέκα (10) δορυφόρων σε τροχιά. Από τον Δεκέμβριο του 2012, προσφέρει υπηρεσίες σε πελάτες στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού. Το 2015, η Κίνα ξεκίνησε τη συσσώρευση του συστήματος BeiDou τρίτης γενιάς (BeiDou-3) για τον αστερισμό της παγκόσμιας κάλυψης. Ο πρώτος δορυφόρος BDS-3 ξεκίνησε στις 30 Μαρτίου 2015. Από τον Οκτώβριο του 2018 ξεκίνησαν δεκαπέντε δορυφόροι BDS-3 [25].

Η BeiDou-3 θα αποτελείται τελικά από 35 δορυφόρους και αναμένεται να παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες μετά την ολοκλήρωσή της το 2020. Όταν ολοκληρωθεί πλήρως, η BeiDou θα παράσχει ένα εναλλακτικό παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης στο παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS. τα ρωσικά συστήματα GLONASS ή European Galileo και αναμένεται να είναι πιο ακριβή από αυτά. Υποστηρίχθηκε το 2016 ότι το BeiDou-3 θα φτάσει σε ακρίβεια σε χιλιοστά (με μετα-επεξεργασία).

2.2.11. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ GLONASS

Το GLONASS είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης, Ρωσικής προέλευσης, πανομοιότυπο με το GPS. Το GLONASS έχει πολλές ομοιότητες σχεδιαστικά αλλά και λειτουργικά σε σχέση με το GPS. Η τροχιά του GLONASS το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (βόρεια ή νότια), όπου η λήψη ενός σήματος GPS μπορεί να είναι προβληματική [3].

2.2.12. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ

Τα συστήματα αναφοράς θέσης προσφέρουν πλήθος εφαρμογών για τους χρήστες με συνέπεια να δίνεται πληθώρα δυνατοτήτων. Ωστόσο, ο καθοριστικός ρόλος τους είναι η εύρεση της θέσης με μετρήσεις του κάθε στίγματος από κάθε δορυφόρο του συστήματος από τον εκάστοτε δέκτη. Η λειτουργία του κάθε στίγματος είναι και ο εντοπισμός του κάθε αντικειμένου και η κάλυψη είναι από τους δορυφόρους που έχουν γίνει ένα κομμάτι της ζωής μας, χωρίς του δορυφόρους δεν έχουμε καμία λειτουργία της καθοδήγησης σε μια πορεία και την πληροφορία του χώρου και τόπου που θέλουμε [24]. Στην συνέχεια ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός Πίνακας με τα στοιχεία για τα δορυφορικά συστήματα αναφοράς θέσης.

Σύστημα	Χώρα	Ύψος Τροχιάς	Περίοδος	Αριθμός Δορυφόρων Κατάσταση
GPS	ΗΠΑ	20,200km, 12h	>24	Σε πλήρη λειτουργία
GLONASS	ΡΩΣΙΑ	19,100km, 11,3h	24	Σε πλήρη λειτουργία με περιορισμούς
GALILEO	ΕΥΡΩΠΗ	23,222km, 14,1h	>27	Τελικό στάδιο κατασκευής
COMPASS	ΚΙΝΑ	21,150km, 12,6h	35	Compass-2 σε λειτουργία

Πίνακας 4: Σύγκριση δορυφορικών συστημάτων αναφοράς θέσης [24].

Επιπλέον, για την καλύτερη δυνατή κατανόηση σύγκρισης των προαναφερόμενων συστημάτων καθώς και των δυνατοτήτων που προσφέρει κάθε ένα από αυτά δίνεται το Σχήμα 15 που απεικονίζεται η σύγκριση τους δίνοντας και τα βασικά στοιχεία όπως το ύψος της τροχιάς.



Σχήμα 15: Σύγκριση γεωστατικών GPS, GLONASS, GNSS, COMPASS, Διεθνής διαστημικός σταθμός, Διαστημικό Τηλεσκόπιο Χαμπλ, με τις ζώνες ακτινοβολίας Van Allen και τη γη σε κλίμακα [3].

3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

3.1. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ

Ένα από τα βασικά συστήματα που αποτελεί τον βασικό εξοπλισμό της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) είναι οι αισθητήρες αναφοράς θέσης. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση οι βασικοί αισθητήρες αναφοράς θέσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθοι:

- Σύστημα αναφοράς θέσης λέιζερ CyScan (CyScan Laser Positioning System)
- Σύστημα αναφορά θέσης FanBeam
- Γυροσκοπική πυξίδα (Gyrocompass)
- Γυροσκόπιο λέιζερ δακτυλίου (Ring Laser gyroscopes - RLG)
- Γυροσκόπιο οπτικών ινών (Fibre optic gyroscopes -FOG)
- Σύστημα αναφοράς θέσης Rada Scan
- Διαφορικό, απόλυτο και σχετικό σύστημα εντοπισμού θέσης (Differential, Absolute and Relative Positioning System - DARPS)

Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση των προαναφερόμενων αισθητήρων θέσης, δίνοντας έμφαση στο βασικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε συστήματος.

3.1.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ΛΕΙΖΕΡ CYSCAN (CYSCAN LASER POSITIONING SYSTEM)

Το σύστημα αναφοράς θέσης λέιζερ CyScan (CyScan Laser Positioning System) είναι ένα σύστημα αισθητήρων όπου δίνει στην δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP), ανεξάρτητο σύστημα ελιγμών για την ακριβή θέση του σκάφους. Επιπλέον, το προαναφερόμενο σύστημα είναι ένας τοπικός αισθητήρας αναφοράς θέσης που έχει την δυνατότητα να μετράει την εμβέλεια και τον αντίκτυπο των αντικειμενικών στόχων που επιτρέπουν στο σύστημα DP να διατηρεί τη θέση και την κατεύθυνση του σκάφους σε σχέση με τη δομή στόχου ενός άλλου σκάφους. Η τελευταία τεχνολογία λέιζερ δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP), ο αισθητήρας CyScan μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κύρια αναφορά ή συμπληρωματική προσθήκη σε αισθητήρα μικροκυμάτων ή DGPS. Με μια

προαιρετική θερμοκρασία λειτουργίας -40°C , το CyScan είναι επίσης διαθέσιμο ως παραλλαγή Extreme Low Temperature (XT) για τις λειτουργίες πάγου και αρκτικής [26].



Εικόνα 12: Σύστημα αναφοράς θέσης λέιζερ CyScan (CyScan Laser Positioning System) [26]

3.1.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑ ΘΕΣΗΣ FANBEAM

Το σύστημα αναφοράς θέσης Fanbeam της MDL είναι ένας αισθητήρας θέσης με βάση το λέιζερ, σχεδιασμένος για επαναληπτικές μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας και με ακρίβεια μέτρησης από σκάφη υποστήριξης ανοικτής θάλασσας και άλλες θαλάσσιες δομές (όπως στατικές και ημιστατικές αγκυροβολημένες δομές). Το σύστημα χρησιμοποιείται κυρίως ως ένας αισθητήρας αναφοράς δυναμική θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP), ο οποίος μετρά τη θέση ενός πλοίου υποστήριξης ανοικτής θάλασσας (OSV) σε σχέση με μια υπεράκτια δομή, όπως μια πλατφόρμα. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα θέσης από το Fanbeam και άλλους αισθητήρες, το σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP), συγκρατεί αυτόματα το σκάφος στο σταθμό, επιτρέποντας τη διεξαγωγή των εργασιών [27 -28].



Εικόνα 13: Σύστημα αναφοράς θέσης Fanbeam της MDL [28]

Το σύστημα αναφοράς θέσης Fanbeam χρησιμοποιείται τακτικά ως αναφορά κύριας θέσης κατά τη διάρκεια κρίσιμων εργασιών μικρής εμβέλειας, όπως ανυψωτικά εμπορευματοκιβώτια φορτίου από πλοία προμήθειας πλατφόρμας. Το σύστημα έχει επίσης χρησιμοποιηθεί ευρέως για την τοποθέτηση σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεωφυσικά δοχεία εξερεύνησης και για τον εντοπισμό εξοπλισμού ανίχνευσης ορυχείων σε σχέση με τα πλοία ναυτικού [27 -28]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα αναφοράς θέσης Fanbeam συμπληρώνει το διαφορικό GPS (DGPS) και μπορεί να αναλάβει πρωταρχικό ρόλο όταν τα διαφορικά σήματα χάνονται ή γίνονται ατελέσφορος. [28].

3.1.3. ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΥΞΙΔΑ (GYROCOMPASS)

Μια γυροσκοπική πυξίδα (Gyrocompass) είναι ένας τύπος μη μαγνητικής πυξίδας που βασίζεται σε ένα δίσκο ταχείας περιστροφής και στην περιστροφή της γης (ή σε άλλο πλανητικό σώμα εάν χρησιμοποιείται σε άλλο μέρος του σύμπαντος) για να εντοπίσει αυτόματα τη γεωγραφική κατεύθυνση. Η χρήση μιας γυροσκοπικής πυξίδας (Gyrocompass) είναι ένας από τους επτά θεμελιώδεις τρόπους προσδιορισμού της επικεφαλίδας ενός οχήματος. Αν και ένα σημαντικό στοιχείο αυτού του συστήματος είναι ένα γυροσκόπιο, αυτές δεν είναι οι ίδιες συσκευές. Μια γυροσκοπική πυξίδα είναι χτισμένη για να χρησιμοποιήσει την επίδραση της γυροσκοπικής μετακόλλησης, η οποία είναι μια διακριτική όψη του γενικού γυροσκοπικού αποτελέσματος [3].



Εικόνα 14: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκοπικής πυξίδα (Gyrocompass) [3]

Στην αυτό το σημείο δίνεται ο πίνακας 5 όπου γίνεται σύγκριση της μαγνητικής και της γυροσκοπικής πυξίδας.

Μαγνητική πυξίδα	Γυροσκοπική πυξίδα
Συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη πυξίδα.	Είναι μια μη μαγνητική πυξίδα
Δείχνει το μαγνητικό βορρά.	Δείχνει τον πραγματικό βορρά, όπως καθορίζεται από τον άξονα της περιστροφής της Γης, που είναι διαφορετικό και πιο χρήσιμο από το ναυτικό, από το μαγνητικό βορρά.
Η μαγνητισμένη βελόνα ευθυγραμμίζεται με την οριζόντια συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου της Γης.	Βασίζεται σε έναν δίσκο ταχείας περιστροφής και στην περιστροφή της γης
Το μαγνητικό πεδίο ασκεί μια ροπή στη βελόνα και τραβά το βόρειο άκρο της βελόνας προς το βόρειο μαγνητικό πόλο της Γης και τραβά το άλλο προς το νότιο μαγνητικό πόλο της Γης.	Χρησιμοποιείται για την αυτόματη εύρεση της γεωγραφικής κατεύθυνσης.
	δεν επηρεάζονται από τα σιδηρομαγνητικά υλικά, όπως στο χαλύβδινο κύτος ενός πλοίου, το οποίο παραμορφώνει το μαγνητικό πεδίο.
	Σημαντικό συστατικό μιας γυροσκοπίας.

Πίνακας 5: Σύγκριση της μαγνητικής και της γυροσκοπική πυξίδας [29].



Εικόνα 15: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκοπικής πυξίδα (Gyrocompass)[29]

Σύμφωνα με τα ανωτέρω η γυροσκοπική πυξίδα (Gyrocompass) είναι ένα όργανο πλοήγησης που χρησιμοποιεί ένα συνεχώς κινούμενο γυροσκόπιο για να αναζητήσει με

ακρίβεια την κατεύθυνση του αληθινού (γεωγραφικού) βορρά. Λειτουργεί αναζητώντας μια κατεύθυνση ισορροπίας κάτω από τις συνδυασμένες επιδράσεις της δύναμης της βαρύτητας και της καθημερινής περιστροφής της Γης [3], [29].

Επιπλέον, είναι άνοσο στις μαγνητικές παρεμβολές, όπως αυτές που προκαλούνται από αποθέσεις μεταλλεύματος, δομές από χάλυβα ή ηλεκτρικά κυκλώματα. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τη γυροσκοπική πυξίδα (Gyrocompass) μια κύρια συσκευή πλοήγησης σε πλοία και υποβρύχια. Σημειώνεται ότι δεν είναι κατάλληλο ως πυξίδα αεροσκάφους επειδή η ταχύτητα αρκετών εκατοντάδων κόμβων που σχετίζονται με τέτοια οχήματα επηρεάζει σοβαρά τις βορειότερες ιδιότητες του οργάνου [29].

3.1.4. ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΛΕΙΖΕΡ (RING LASER GYROSCOPES – RLG)

Ένα γυροσκόπιο δακτυλίου λέιζερ (Ring Laser gyroscopes - RLG) αποτελείται από ένα δακτυλιοειδές λέιζερ που έχει δύο ανεξάρτητες αντίθετες πολλαπλασιαστές τρόπους συντονισμού κατά την ίδια διαδρομή. Η διαφορά στις συχνότητες χρησιμοποιείται για την ανίχνευση περιστροφής. Λειτουργεί βάσει της αρχής του αποτελέσματος Sagnac, η οποία μετατοπίζει τις μηδενικές τάσεις του εσωτερικού μοτίβου κυματιστών κυμάτων σε απόκριση της γωνιακής περιστροφής. Η παρεμβολή μεταξύ των αντίθετων πολλαπλασιαστικών ακτίνων, που παρατηρείται εξωτερικά, έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του μοτίβου όρθιου κύματος και συνεπώς υποδεικνύει περιστροφή [3].

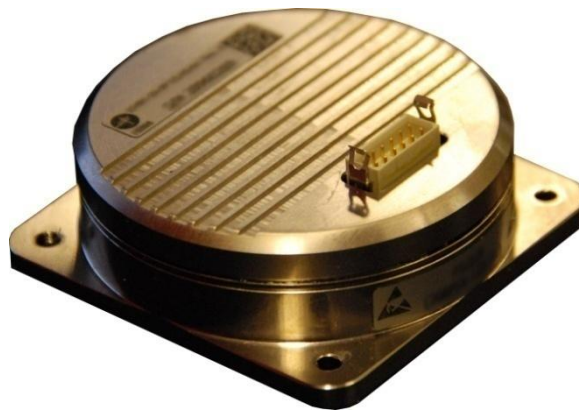


Εικόνα 16: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκόπιο δακτυλίου λέιζερ (Ring Laser gyroscopes - RLG)

3.1.5. ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ (FIBRE OPTIC GYROSCOPES -FOG)

Ένα γυροσκόπιο οπτικών ινών (Fibre optic gyroscopes - FOG) αισθάνεται αλλαγές στον προσανατολισμό χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα Sagnac (φαινόμενο που συναντάται στην ιντερφερομετρία που προκαλείται από την περιστροφή), εκτελώντας έτσι τη λειτουργία ενός μηχανικού γυροσκοπίου. Ωστόσο, η αρχή της λειτουργίας της βασίζεται στην παρέμβαση του φωτός που έχει περάσει από ένα πηνίο οπτικών ινών, το οποίο μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 5 km (3 μίλια).

Το γυροσκόπιο οπτικών ινών (Fibre optic gyroscopes - FOG) παρέχει εξαιρετικά ακριβείς πληροφορίες ρυθμού περιστροφής, εν μέρει λόγω της έλλειψης ευαισθησίας στα άξονες σε κραδασμούς, επιτάχυνση και σοκ. Σε αντίθεση με το κλασικό γυροσκόπιο μάζας περιστροφής ή συντονιστικά / μηχανικά γυροσκόπια, το FOG δεν έχει κινούμενα μέρη και δεν βασίζεται στην αδρανειακή αντίσταση στην κίνηση. Ως εκ τούτου, το γυροσκόπιο οπτικών ινών (Fibre optic gyroscopes - FOG) είναι μια εξαιρετική εναλλακτική λύση για ένα μηχανικό γυροσκόπιο. Λόγω της εγγενούς αξιοπιστίας τους και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους χρησιμοποιούνται για εφαρμογές υψηλής απόδοσης στο χώρο και για στρατιωτικά συστήματα αδρανούς πλοήγησης. Το γυροσκόπιο οπτικών ινών (Fibre optic gyroscopes - FOG) εμφανίζει συνήθως υψηλότερη ανάλυση από ένα γυροσκόπιο δακτυλίου λέιζερ (Ring Laser gyroscopes - RLG)



Εικόνα 17: Σύστημα αναφοράς θέσης γυροσκόπιο οπτικών ινών (Fibre optic gyroscopes - FOG) [3]

3.1.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΘΕΣΗΣ RADA SCAN

Το σύστημα αναφοράς θέσης RadaScan είναι ένας προηγμένος τοπικός αισθητήρας αναφοράς θέσης για μεγάλη χρήση σε εφαρμογές θαλάσσιας δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP). Ο αισθητήρας είναι μια περιστρεφόμενη κεραία τοποθετημένη στο σκάφος που διαθέτει δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP). Εκπέμπει δέσμη μικροκυμάτων και μετρά με ακρίβεια την εμβέλεια και το εύρος ενός ή περισσότερων

ευφών στόχων μικροκυμάτων που ονομάζονται ανταποκρινόμενοι, επιτρέποντας τον υπολογισμό της θέσης του πλοίου και της κατεύθυνσης [30].



Εικόνα 18: Σύστημα αναφοράς θέσης RadaScan [30]

3.1.7. ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ, ΑΠΟΛΥΤΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (DIFFERENTIAL, ABSOLUTE AND RELATIVE POSITIONING SYSTEM - DARPS)

Το Διαφορικό, απόλυτο και σχετικό σύστημα εντοπισμού θέσης (Differential, Absolute and Relative Positioning System - DARPS) είναι ένας αισθητήρας απόλυτης και σχετικής θέσης είναι ένα σύστημα αναφοράς θέσης στη δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP) προσαρμοσμένο στις λειτουργίες φόρτωσης σε ανοικτή θάλασσα. Το σύστημα αυτό συνδυάζει αισθητήρες υψηλής απόδοσης για αξιόπιστη και ακριβή απόλυτη και σχετική τοποθέτηση δύο σκαφών, όπως ένα δεξαμενόπλοιο και ένα FPSO / FSU. Το Διαφορικό, απόλυτο και σχετικό σύστημα εντοπισμού θέσης (DARPS) έχει αποδειχθεί ξανά και ξανά σε σκληρά περιβάλλοντα σε όλο τον κόσμο [31].

3.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΩΝ

Τα πλοία που χρησιμοποιούν δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP) απαιτούν να διαθέτουν στον εξοπλισμό αισθητήρες που έχουν την δυνατότητα να δίνουν πληροφορίες για τον άνεμο και τα κύματα. Οι βασικότεροι αισθητήρες είναι οι ακόλουθοι:

- Μονάδα αναφοράς κίνησης (Motion reference unit – MRU)
- Αισθητήρες ανέμου ή σέρνσορες ανέμου (Wind Sensor)
- Αισθητήρας Βυθίσματος (Draught Sensors)
- Υδροδυναμικό μοντέλο (Hydrodynamic model)
- Άλλοι αισθητήρες (Other Sensors)

Στην συνέχεια αναλύονται οι προαναφερόμενοι αισθητήρες δίνοντας έμφαση στα βασικά χαρακτηριστικά τους καθώς επίσης και στα δυνατότητες που παρέχουν.

3.2.1. ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (MOTION REFERENCE UNIT -MRU)

Τα πλοία που λειτουργούν στη θάλασσα είναι, από τη φύση τους, ικανά να πραγματοποιούν εξαιρετικά δύσκολη δραστηριότητα. Προκειμένου να αναλάβουν καθήκοντα όπως παρακολούθηση ύψους κύματος, χρήση γερανών κατά τη διάρκεια δύσκολων καιρικών συνθηκών ή προσδιορισμό όπου τα σκάφη χρησιμοποιούν δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP), πρέπει να μετρηθεί η κίνηση, η κλίση και η ανύψωση. Εκεί βρίσκονται οι μονάδες αναφοράς κίνησης (MRU) [32]



Εικόνα 19: Μονάδα αναφοράς κίνησης (Motion reference unit – MRU) [32].

Οι μονάδες αναφοράς κίνησης (MRU) είναι κατάλληλές για οποιαδήποτε θαλάσσια επιχείρηση που απαιτεί προσδιορισμό στάσης και κίνησης. Η γκάμα αισθητήρων κίνησης που αποτελούνται παρέχουν μετρήσεις κίνησης υψηλής ακρίβειας σε όλα τα δυναμικά περιβάλλοντα. Καλύπτουν όλες τις θαλάσσιες δραστηριότητες, από μικρά υδρογραφικά σκάφη έως μεγάλα σκάφη και εγκαταστάσεις [32].

3.2.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΑΝΕΜΟΥ (WIND SENSOR)

Οι αισθητήρες ανέμου ή σέρνσορες ανέμου (Wind Sensor) είναι και αυτοί αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος γιατί παρέχουν ακριβή δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου στο σύστημα της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP). Ένα

ανεμόμετρο είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου [1].



Εικόνα 20: Ανεμόμετρο αισθητήρες ανέμου

3.2.3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΒΥΘΙΣΜΑΤΟΣ (DRAUGHT SENSORS)

Οι αισθητήρες βυθίσματος (draught sensors) είναι σημαντικό κομμάτι των πλοίων δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) καθώς η αλλαγή του βυθίσματος επηρεάζει την επίδραση του ανέμου και του ρεύματος στο κύτος. Το βύθισμα ενός πλοίου είναι η απόσταση της εμφόρτου ισάλου γραμμής (η γραμμή όπου το πλοίο αγγίζει το νερό) από τη βασική γραμμή. Λέγεται αλλιώς έμφορτο ή μέσο βύθισμα. Μαζί με το μήκος και το πλάτος αποτελεί ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά ενός πλοίου που χρησιμεύουν για να διαπιστώσει κανείς αν ένα πλοίο μπορεί να προσεγγίσει σε κάποιο λιμάνι ή να διέλθει κάποιο αμφίγειο, (διάυλο, διώρυγα ή στενά) [3].



Εικόνα 21: Αισθητήρες βυθίσματος (draught sensors)

3.2.4. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (HYDRODYNAMIC MODEL)

Το υδροδυναμικό μοντέλο (hydrodynamic model) αφορά τη μελέτη υγρών σε κίνηση. Η κίνηση υγρών μπορεί να δημιουργηθεί από πολλές δυνάμεις που δρουν μόνες ή σε συνδυασμό. Αυτές περιλαμβάνουν τις δυνάμεις που παράγονται από την παλίρροια, τον άνεμο και τα κύματα (π.χ. metocean), καθώς και την κλίση (π.χ. ροή ποταμών, φράγματα και φράγματα), στρόβιλοι (π.χ. παλίρροιακές λιμνοθάλασσες και παλίρροιακές εκμεταλλεύσεις) απορρίψεις νερού ψύξης). Η υδροδυναμική κίνηση παράγει δυνάμεις που δρουν σε στερεά σώματα βυθισμένα στο ρευστό (π.χ. δομές, χαρακτηριστικά θαλάσσιου βυθού και όρια γης), γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει τη συμπεριφορά του υγρού. Η κατανόηση και η ποσοτικοποίηση αυτής της περίπλοκης αλληλεπίδρασης είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποτελεσματική και υπεύθυνη ανάπτυξη της υπεράκτιας υποδομής και περιουσιακών στοιχείων [33].

Τα υδροδυναμικά μοντέλα αποτελούν μια αποτελεσματική και ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αντιπροσώπευση της δυναμικής των παράκτιων υδάτων. Αυτά τα αριθμητικά υπολογιστικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση των ρευμάτων, των επιπέδων των υδάτων, της μεταφοράς ιζημάτων και της αλατότητας [34].

3.2.5. ΆΛΛΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ (OTHER SENSORS)

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια ακόμα αισθητήρες που η χρήση τους εξαρτάται από το είδος του πλοίου.

- Ένα πλοίο διοχέτευσης απαιτεί την χρήση αισθητήρα που θα μπορεί να μετρήσει τη δύναμη που χρειάζεται για να τραβήξει έναν αγωγό.
- Ένα πλοίο με γερανό θα έχει αισθητήρες για να καθορίσει τη θέση των γερανού, καθώς αυτό αλλάζει το μοντέλο του ανέμου.

Παρόλα αυτά ορισμένες εξωτερικές δυνάμεις δεν μετριοούνται άμεσα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η δύναμη μετατόπισης συνάγεται σε μια χρονική περίοδο, επιτρέποντας την εφαρμογή μιας μέσης τιμής αντισταθμιστικής ώσης. Όλες οι δυνάμεις που δεν αποδίδονται στις άμεσες μετρήσεις φέρουν την ένδειξη «current» (τωρινό), αλλά στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα τωρινό συνδυασμό, κυμάτων, φουσκοθαλασσιάζ και οποιωνδήποτε σφαλμάτων στο σύστημα [3].

3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται στη δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP) είναι:

- Φίλτρο Kalman (Kalman Filter)
- Προγραμματιζόμενος ελεγκτής λογικής (Programmable Logic Controller - PLC)
- Αναλογικός - Ολοκληρωμένος - Παράγωγος ελεγκτής (Proportional Integral Derivative Controller - PID Controller)
- Μαθηματικό μοντέλο του πλοίου (Mathematical Model of the ship)

Στην συνέχεια δίνονται βασικά στοιχεία για κάθε ένα από τα προαναφερόμενα συστήματα έλεγχου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα ανωτέρω χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό μεταξύ τους με στόχο να μπορούν να δοθούν άρτιες πληροφορίες και αποτελέσματα.

3.3.1. ΦΙΛΤΡΟ KALMAN (KALMAN FILTER)

Το Φίλτρο Kalman (Kalman Filter) κατατάσσεται στις σημαντικότερες εφευρέσεις του τελευταίου αιώνα και εφευρέτης του ήταν ο Rudolf E. Kalman (1960). Το Φίλτρο Kalman είναι ένα αλγόριθμος, ο οποίος εφαρμόζεται σε συστήματα ελέγχου τα οποία δέχονται εξωτερικές φυσικές διαταραχές, όπως είναι ο θόρυβος, και στοχεύει στον «καθαρισμό» των μετρήσεων με στόχο την αρτιότητα των αποτελέσματα αφού γίνεται νέα εκτίμηση της κατάστασης του συστήματος απομακρύνοντας την οποιαδήποτε διαταραχή. Ο αλγόριθμος του φίλτρου Kalman αποτελείται από ένα σύνολο εξισώσεων που παράγουν μια εκτίμηση της κατάστασης του συστήματος, το οποίο θεωρείται αρκετά έγκυρο αφού σύμφωνα με τα μέχρι τώρα δεδομένα θεωρείται βέλτιστο αφού η διακύμανση του σφάλματος μεταξύ την πραγματικής κατάστασης και της εκτίμησης είναι μικρή [35].

Το Φίλτρο Kalman (Kalman Filter) θεωρείται από τα πολύ σημαντικά επιστημονικά επιτεύγματα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί την γέφυρα ανάμεσα στη θεωρία και την πράξη. Γίνεται άμεσα κατανοητό ότι δεν θα δινόταν η δυνατότητα να αναπτυχθούν πλήθος εφαρμογών αν δεν βρισκόταν τρόπος απομόνωσης και απομάκρυνσης των θορύβων και δεν θα μπορούσαν να παρθούν αποφάσεις αφού θα υπήρχε η αβεβαιότητα που δημιουργεί ο θόρυβος.

Επιπλέον, το Φίλτρο Kalman (Kalman Filter) είναι γνωστό στη θεωρία των στατιστικών και ελέγχου ως η γραμμική τετραγωνική εκτίμηση (LQE), όπου ο αλγόριθμος κάνει χρήση μια σειρά μετρήσεων που παρατηρούνται με τον χρόνο που περιέχουν στατιστικό θόρυβο και άλλες ανακρίβειες και παράγει εκτιμήσεις άγνωστων μεταβλητών που τείνουν να είναι περισσότερο ακριβείς από εκείνες που βασίζονται μόνο σε μία μόνο μέτρηση, υπολογίζοντας μια κοινή κατανομή πιθανότητας στις μεταβλητές για κάθε χρονικό πλαίσιο [35].

Το Φίλτρο Kalman (Kalman Filter) χρησιμοποιείται ευρέως σε πλήθος εφαρμογών χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι στη ναυπηγική, στην δυναμική θεσιοθέτηση πλοίων, στην εκτίμηση της θέσης ενός αντικειμένου (π.χ. οχημάτων), στην πλοήγηση αεροσκαφών και οχημάτων, στην εξομάλυνση (smoothing) μηνυμάτων (ήχου, εικόνας) που έχουν επηρεαστεί από θόρυβο, σε Radar καθώς επίσης και σε οποιαδήποτε τεχνολογική διαδικασία απαιτεί υψηλή ακρίβεια δεδομένων. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι ότι το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται στον τομέα του σχεδιασμού και του ελέγχου ρομποτικής κίνησης και μερικές φορές συμπεριλαμβάνονται στη βελτιστοποίηση των τροχιών [37].

Το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του κεντρικού νευρικού συστήματος τον έλεγχο της κίνησης και αυτό οφείλεται στη χρονική καθυστέρηση μεταξύ της έκδοσης εντολών κινητήρα και της λήψης αισθητηριακών ανατροφοδοτήσεων. Η χρήση του φίλτρου Kalman υποστηρίζει ένα ρεαλιστικό μοντέλο για την εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης του κινητήρα και την έκδοση ενημερωμένων εντολών. Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε μια διαδικασία δύο σταδίων.

Στο βήμα πρόβλεψης, το φίλτρο Kalman παράγει εκτιμήσεις των μεταβλητών της τρέχουσας κατάστασης, μαζί με τις αβεβαιότητές τους. Μόλις παρατηρηθεί το αποτέλεσμα της επόμενης μέτρησης (αναγκαστικά καταστραφεί με κάποιο ποσό σφάλματος, συμπεριλαμβανομένου του τυχαίου θορύβου), οι εκτιμήσεις αυτές επικαιροποιούνται χρησιμοποιώντας σταθμισμένο μέσο όρο, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα σε εκτιμήσεις με μεγαλύτερη βεβαιότητα. Ο αλγόριθμος είναι αναδρομικός. Μπορεί να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας μόνο τις τρέχουσες μετρήσεις εισόδου και την κατάσταση που είχε υπολογιστεί προηγουμένως και τον πίνακα αβεβαιότητας. Δεν απαιτούνται πρόσθετες παρελθούσες πληροφορίες [35].

Όσο αφορά την δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning, DP), ο ελεγκτής που χρησιμοποιείται βασίζεται σε ένα λεπτομερές μαθηματικό μοντέλο της κίνησης του σκάφους ανταπόκριση στις δυνάμεις από τους προωθητές, τον άνεμο, τα κύματα και ρεύμα νερού. Ο ελεγκτής χρησιμοποιεί ένα εκτεταμένο Kalman φίλτρο για βέλτιστη εκτίμηση των κινήσεων του σκάφους και περιβαλλοντικές δυνάμεις από τον άνεμο, τα κύματα και το ρεύμα. Ο ελεγκτής δυναμικής θεσιοθέτησης (DP) βασίζεται σε ανατροφοδότηση από το μεταβλητές κίνησης όπου η ταλάντωση, προκαλούμενη από κύματα, αφαιρείται από τον εκτιμητή. Η ανατροφοδότηση από την εκτίμηση του ρεύματος νερού παρέχεται από το ολοκλήρωμα δράσης του συστήματος και να προωθείται από τον άνεμο οι εκτιμήσεις δύναμης εφαρμόζονται [34].

3.3.2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER - PLC)

Το PLC λαμβάνει πληροφορίες από συνδεδεμένους αισθητήρες ή συσκευές εισόδου, επεξεργάζεται τα δεδομένα και ενεργοποιεί εξόδους βάσει προκαθορισμένων παραμέτρων. Ανάλογα με τις εισόδους και τις εξόδους, ένα PLC μπορεί να παρακολουθεί και να καταγράφει δεδομένα χρόνου εκτέλεσης όπως παραγωγικότητα της μηχανής ή θερμοκρασία

λειτουργίας, αυτόματη εκκίνηση και διακοπή διεργασιών, δημιουργία συναγεμίων σε περίπτωση δυσλειτουργίας μηχανής και πολλά άλλα. Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές είναι μια ευέλικτη και ανθεκτική λύση ελέγχου, προσαρμόσιμη σε σχεδόν οποιαδήποτε εφαρμογή [38].

3.3.3. ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ - ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ - ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ (PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE CONTROLLER - PID CONTROLLER)

Ένας Αναλογικός - Ολοκληρωμένος - Παράγωγος ελεγκτής (Proportional – Integral – Derivative Controller, PID Controller) είναι ένας μηχανισμός βρόχου ελέγχου που χρησιμοποιεί ανατροφοδότηση που χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου και μια ποικιλία άλλων εφαρμογών που απαιτούν συνεχώς διαμορφωμένο έλεγχο. Ένας Αναλογικός - Ολοκληρωμένος - Παράγωγος ελεγκτής (PID) υπολογίζει συνεχώς μια τιμή σφάλματος $e(t)$ ως η διαφορά μεταξύ ενός επιθυμητού σημείου ρύθμισης (SP) και μιας μεταβλητής διαδικασίας (PV) και εφαρμόζει μια διόρθωση βασιζόμενη σε αναλογικούς, ολοκληρωματικούς και παράγωγους όρους (δηλαδή P, I και D αντίστοιχα), όπου και οφείλεται το όνομα του.

Στην πράξη, ο Αναλογικός - Ολοκληρωμένος - Παράγωγος ελεγκτής (PID) εφαρμόζει αυτόματα διορθωτική και ακριβή διόρθωση σε μια λειτουργία ελέγχου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο έλεγχος της ταχύτητας ενός οχήματος όπου η εμφάνιση μια αντίστασης θα μείωνε την ταχύτητα εάν εφαρμοζόταν μόνο σταθερή ισχύς κινητήρα. Ο αλγόριθμος PID του ελεγκτή αποκαθιστά τη μετρούμενη ταχύτητα στην επιθυμητή ταχύτητα με ελάχιστη καθυστέρηση και υπέρβαση, αυξάνοντας την ισχύ εξόδου του κινητήρα.

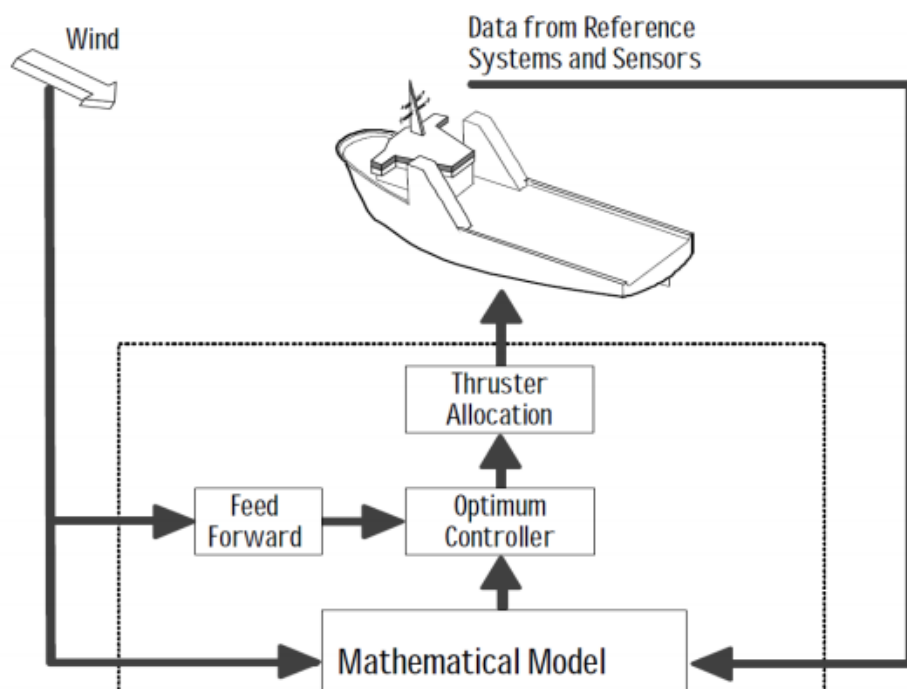
Η πρώτη θεωρητική ανάλυση και πρακτική εφαρμογή ήταν στον τομέα των αυτόματων συστημάτων διεύθυνσης πλοίων, που αναπτύχθηκαν από τις αρχές της δεκαετίας του 1920 και μετά. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για τον αυτοματοποιημένο έλεγχο της διαδικασίας στη μεταποιητική βιομηχανία, όπου εφαρμόστηκε ευρέως σε πνευματικά, και στη συνέχεια ηλεκτρονικά, ελεγκτές. Σήμερα η ιδέα του Αναλογικού - Ολοκληρωμένου – Παράγωγου ελεγκτής (PID) χρησιμοποιείται παγκοσμίως σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή και βελτιστοποιημένο αυτόματο έλεγχο [3].

3.3.4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ (MATHEMATICAL MODEL OF THE SHIP)

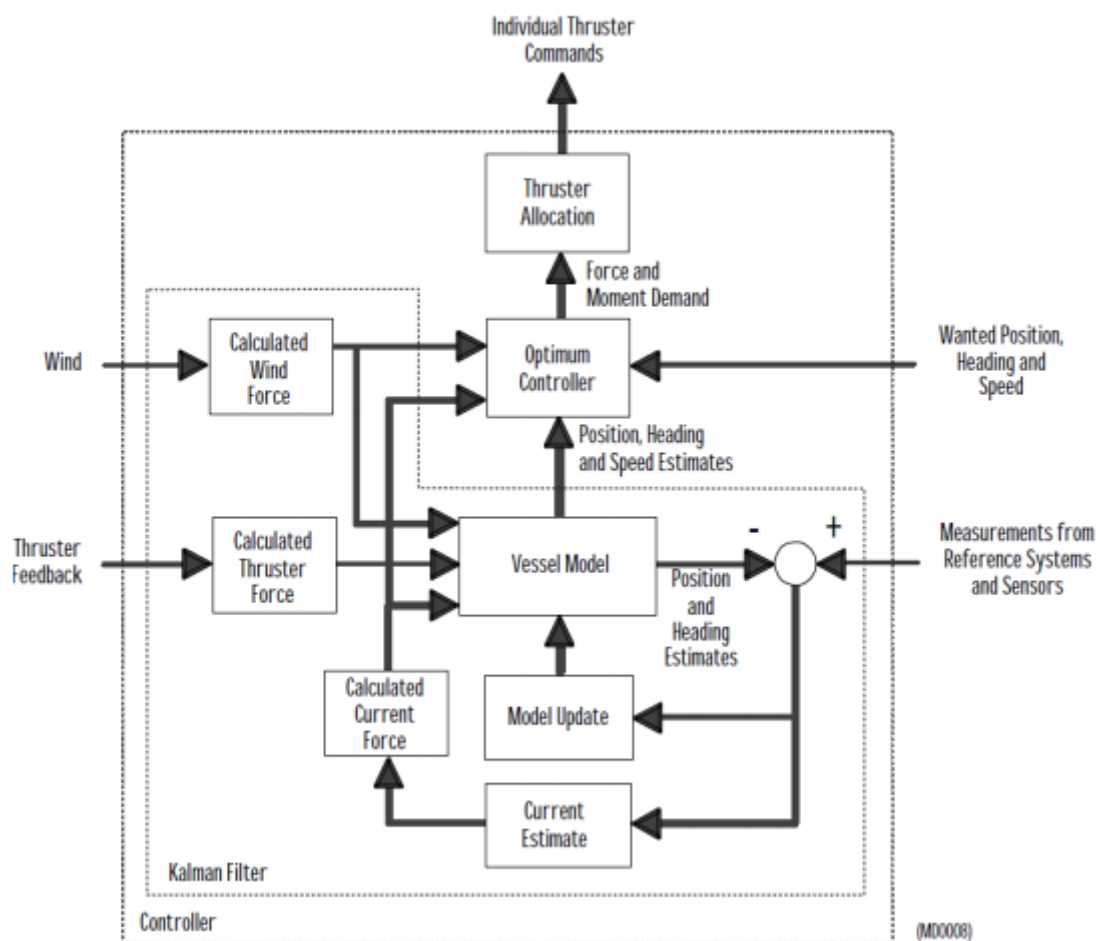
Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν Αναλογικοί - Ολοκληρωμένοι - Παράγωγοι Ελεγκτές (Proportional – Integral – Derivative Controller, PID Controller) αλλά ακόμα και σήμερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα απλούστερα συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP). Ωστόσο, οι σύγχρονοι ελεγκτές χρησιμοποιούν ένα μαθηματικό μοντέλο του πλοίου που βασίζεται σε μια υδροδυναμική και αεροδυναμική περιγραφή που αφορά ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του πλοίου όπως η μάζα και η οπισθέλκουσα.

Το μοντέλο είναι μια μαθηματική περιγραφή του τρόπου με τον οποίο το αγγείο αντιδρά ή κινείται ως συνάρτηση των δυνάμεων ενεργώντας επ' αυτού. Το μοντέλο είναι μια υδροδυναμική περιγραφή, δηλαδή περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά του σκάφους όπως η μάζα και η οπισθέλκουσα. Το κριτήριο σχεδιασμού για το μοντέλο είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερη περιγραφή του μοντέλου των κινήσεων του σκάφους και την αντίδραση σε οποιεσδήποτε εξωτερικές δυνάμεις. Το μαθηματικό μοντέλο επηρεάζεται από τις ίδιες δυνάμεις που επηρεάζουν το ίδιο το σκάφος. Οι δυνάμεις του ανέμου υπολογίζονται ως συνάρτηση της μετρούμενης ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου, ενώ οι δυνάμεις ώθησης υπολογίζονται ως συνάρτηση του βήματος του προωστήρα/έλικα/στροφές ανά λεπτό και της κατεύθυνσης. Το σύστημα ενσωματώνει αλγόριθμους για την εκτίμηση του θαλάσσιου ρεύματος και των κυμάτων και των δυνάμεων που προκαλούνται από αυτά.

Οι κύριες εκροές από το μαθηματικό μοντέλο είναι οι φιλτραρισμένες εκτιμήσεις της θέσης, της θέσης του σκάφους και την ταχύτητα σε κάθε έναν από τους τρεις βαθμούς της ελευθερίας - κύμα, κυριαρχία και στροφή. Το ίδιο το μαθηματικό μοντέλο δεν είναι ποτέ 100% ακριβής αναπαράσταση του πραγματικού σκάφους. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας την τεχνική φιλτραρίσματος Kalman, το μοντέλο μπορεί να διορθωθεί συνεχώς. Το μπροστινό τμήμα του σκάφους και η θέση μετρώνται με τη χρήση των γυροσκοπίων και των συστημάτων αναφοράς θέσης και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP). Αυτά τα δεδομένα συγκρίνονται με τα προβλεπόμενα ή εκτιμώμενα δεδομένα που παράγονται από το μαθηματικό μοντέλο και υπολογίζονται οι διαφορές. Αυτές οι διαφορές είναι χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση του μαθηματικού μοντέλου και την ένδειξη της πραγματικής κατάστασης.



Σχήμα 16: Αρχή λειτουργίας Μαθηματικού Μοντέλου Ελέγχου Θέσης Πλοίου [1]



Σχήμα 17: Διάγραμμα ροής λειτουργίας μαθηματικού μοντέλου με την Φίλτρου Kalman

Το μαθηματικό μοντέλο του σκάφους και η τεχνική φιλτραρίσματος Kalman παρέχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Βέλτιστο φιλτράρισμα θορύβου για μετρήσεις κεφαλής και θέσης.
- Βέλτιστος συνδυασμός δεδομένων από τα διάφορα συστήματα αναφοράς.

Το σύστημα υπολογίζει μια διακύμανση για κάθε σύστημα αναφοράς θέσης που χρησιμοποιείται και τοποθετεί διαφορετική στάθμιση στις μετρήσεις του σύμφωνα με κάθε σύστημα ατομικής ποιότητας (ακρίβεια, σταθερότητα, επαναληψιμότητα). Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τη υπολογισμένη διακύμανση και τη στάθμιση μπορεί να βρεθεί στην αναφορά Τμήμα επεξεργασίας δεδομένων συστήματος και αισθητήρων. Εάν δεν υπάρχουν μετρήσεις θέσης ή κλάσης, το μοντέλο παρέχει μία ακριβή λειτουργία «dead-reckoning». Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα είναι σε θέση να εκτελέσει ακριβή τοποθέτηση για αρκετά λεπτά χωρίς ενημερώσεις θέσης από οποιαδήποτε συστήματα αναφοράς θέσης.

➤ Βέλτιστος ελεγκτής (Optimum Controller)

Ο βέλτιστος ελεγκτής χρησιμοποιείται με στόχο τον υπολογισμό της δύναμης που απαιτείται να ασκηθεί από τους προωθητήρες / έλικες για να διατηρήσει το σκάφος στην απαιτούμενη θέση ή την επιθυμητή διαδρομή. Το αποτέλεσμα αυτού του υπολογισμού αναφέρεται ως ζήτηση δύναμης και αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη [1]:

- Ανάδραση θέσεως πορείας
- Προώθηση τροφοδοσίας ανέμου
- Ανάδραση του ρεύματος της θάλασσας

Ωστόσο, σημειώνεται ότι δίνεται η δυνατότητα να υπάρχει χειριστής που θα χρησιμοποιεί joystick του συστήματος δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) και να περιστρέψει τον ελεγκτή που ελέγχει τη δύναμη που ασκούν οι προωθητήρες / προωστήρες [39]. Στην συνέχεια αναλύονται τα προαναφερόμενα μέρη για τον υπολογισμό της δύναμης που απαιτείται.

➤ Ανάδραση θέσεως πορείας (Excursion Feed back)

Με το βέλτιστο ελεγκτή ο χειριστής καθορίζει τα σημεία για την διεύθυνση, την κατεύθυνση και τη θέση του συστήματος δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP). Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ αυτών των σημείων ρύθμισης και των δεδομένων διηθημένης θέσης και οι διαφορές μεταξύ των απαιτούμενων και των πραγματικών στροφών. Αυτές οι διαφορές στην ουσία είναι πολλαπλασιασμένες με συντελεστές κέρδους και το αποτέλεσμα είναι η ζήτηση δύναμης που απαιτείται για να επιστρέψει το σκάφος στην επιθυμητή θέση και την κατεύθυνση, ενώ ταυτόχρονα επιβραδύνει τις κινήσεις του. Αυτή η ζήτηση δύναμης αποτελείται από τα ακόλουθα δύο μέρη:

- Επαναφορά της ζήτησης, η οποία είναι ανάλογη με την απόκλιση μεταξύ της πραγματικής και την απαιτούμενη θέση και κατεύθυνση
- Η μείωση της ζήτησης, η οποία είναι ανάλογη της απόκλισης μεταξύ της πραγματικής και την απαιτούμενη ταχύτητα και ταχύτητα περιστροφής.

Οι συντελεστές κέρδους υπολογίζονται και προσαρμόζονται για να βελτιστοποιούν την απόδοση ελέγχου με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας [39].

➤ Προώθηση τροφοδοσίας ανέμου (Wind Feed Forward)

Προκειμένου να αντισταθμιστούν οι δυνάμεις του ανέμου όσο το δυνατόν γρηγορότερα, χρησιμοποιείται η έννοια της ροής προς τα εμπρός. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) δεν θα επιτρέψει στο σκάφος να παρασυρθεί από την απαιτούμενη θέση, αλλά αντισταθμίζει τις δυνάμεις που προκαλούνται από τον αέρα μόλις εντοπιστούν [1].

➤ Ανατροφοδότηση του ρεύματος της θάλασσας (CurrentFeedback)

Ακόμα και αν οι δυνάμεις που χρησιμοποιούνται για να εξουδετερώσουν τον άνεμο, και παράλληλα να σταματήσουν τις κινήσεις του πλοίου δεν δίνεται η δυνατότητα πάντα το πλοίο να μένει σταθερό σε μία θέση ή να ακολουθεί μια προκαθορισμένη διαδρομή, αφού μπορεί ακόμα να κινηθεί εκτός θέσης. Αυτή η κίνηση οφείλεται στις δυνάμεις που δεν μετριοούνται άμεσα, όπως τα κύματα και το ρεύμα στη θάλασσα. Το σύστημα αξιολογεί αυτές τις δυνάμεις μια χρονική περίοδο και στη συνέχεια υπολογίζει τα σήματα εντολών του προωθητήρα που απαιτούνται για την εξουδετέρωση τους.

➤ Αντιστοίχιση πηδαλίου / Κατανομή της ώσης (Thruster Allocation)

Ο βέλτιστος ελεγκτής έχει την δυνατότητα να υπολογίζει τη ζήτηση δύναμη στις διευθύνσεις κύματος και ταλάντευσης καθώς και τις απαιτούμενες δυνάμεις για την περιστροφική στιγμή. Αυτές οι δυνάμεις κατανέμονται έπειτα στους διάφορους προωθητήρες και/ή έλικες /πηδάλια που ενεργοποιούνται από το σύστημα. Ο βέλτιστος αλγόριθμος κατανομής ώθησης ελαχιστοποιεί την κατανάλωση καυσίμου και τη βέλτιστη κατανάλωση. Η άρτια λειτουργία του ελεγκτή μειώνει μακροπρόθεσμα τη φθορά [39].

3.3.5. ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (OPERATIONAL MODES)

Το σκάφος μπορεί να ελεγχθεί σε διάφορους τρόπους. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των τρόπων είναι πώς παράγονται τα σημεία θέσης και ταχύτητας. Ακολουθούν οι διάφοροι τρόποι λειτουργίας ενός πλοίου [39]:

- Η λειτουργία Manual / Joystick επιτρέπει στον χειριστή να ελέγχει χειροκίνητα το σκάφος χρησιμοποιώντας ένα joystick για τον έλεγχο θέσης και έναν ελεγκτή περιστροφής για τον έλεγχο του μπροστινού τμήματος.
- Οι λειτουργίες αυτόματης θέσης και αυτόματης αντιστροφής θέσης διατηρούν αυτόματα την απαιτούμενη θέση και επικεφαλίδα.
- Η λειτουργία αυτόματης θέσης περιοχής διατηρεί αυτόματα το σκάφος μέσα σε μια επιτρεπόμενη περιοχή και εντός των επιτρεπόμενων ορίων κλάσης ενώ χρησιμοποιείτε η ελάχιστη ποσότητα ενέργειας.
- Οι τρόποι λειτουργίας αυτόματης παρακολούθησης (χαμηλής ταχύτητας και υψηλής ταχύτητας) κάνουν το σκάφος να ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδρομή που περιγράφεται από ένα σύνολο σημείων αναφοράς.
- Η λειτουργία αυτόματου πιλότου επιτρέπει στο σκάφος να κατευθύνεται αυτόματα έχοντας όμως προκαθορισμένες ρυθμίσεις βασιζόμενες σε μια σειρά μαθηματικών προγραμματισμών.

- Η λειτουργία Follow Target (ακολουθώ τον Στόχο) επιτρέπει στο σκάφος να ακολουθεί αυτόματα το ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο σημείο ρύθμισης θέσης.

Εκτός από αυτές τις λειτουργίες, έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσαρμοσμένες λειτουργίες για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σκάφους για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και τύπων σκαφών [39].

4. ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ (DP)

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη συστημάτων θαλάσσιας πρόωσης είναι συνεχώς σε εξέλιξη. Οι κύριοι αναπτυξιακοί στόχοι μπορεί να ομαδοποιούνται στις ακόλουθες ομάδες:

- Βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση
- Βελτιωμένη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα
- Μειωμένα επίπεδα θορύβου και κραδασμών

Η βασική ώθηση για αυτές τις εξελίξεις δεν είναι μόνο ότι σχετίζεται με τους οικονομικούς παράγοντες της εκάστοτε εταιρίας αλλά και με υγεία και την ασφάλεια. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας δεν δημιουργούνται τόσο έντονα τα φαινόμενα που απαιτούν έλεγχο, αλλά σε συνθήκες εκτός σχεδιασμού η ασφάλεια μπορεί να γίνει ο κύριος οδηγός. Συχνά σε αυτές τις καταστάσεις οι απαιτήσεις στο σύστημα ελέγχου μπορεί να διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο [40].

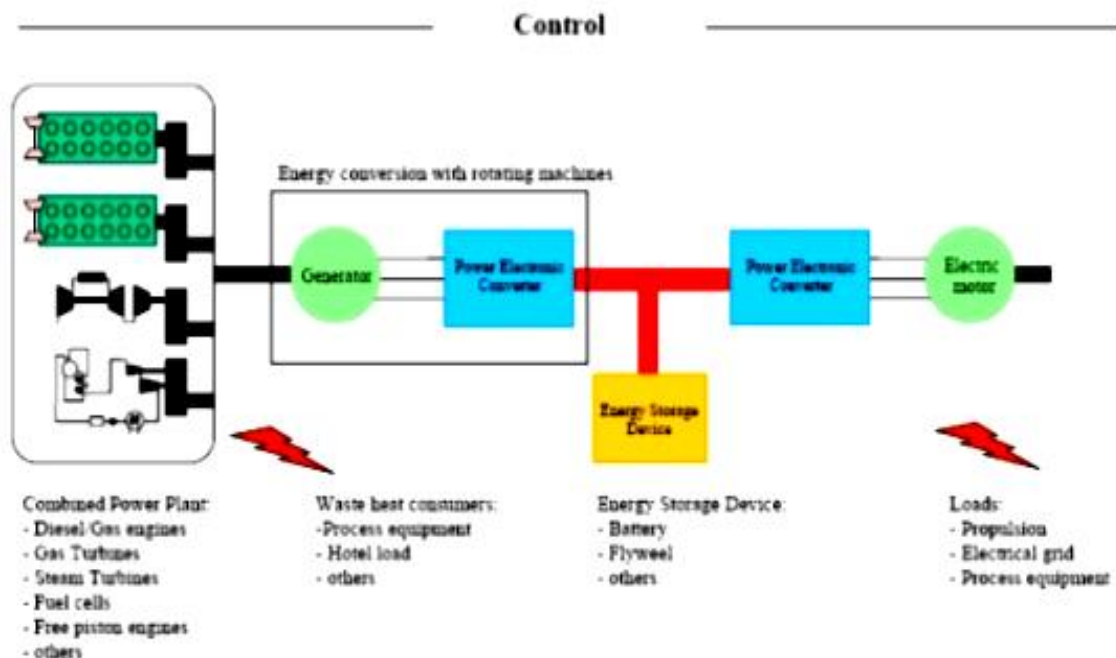
Ανεπιθύμητη ή απροσδόκητη συμπεριφορά των συστημάτων πρόωσης και / ή του ελιγμού σκαφών μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες καταστάσεις. Για να αποφευχθεί οποιαδήποτε επικίνδυνη κατάσταση, δεν είναι μόνο επιθυμητό να υπάρχει όσο το δυνατόν περισσότερη δύναμη ώθησης, αλλά το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να αντιδράσει όσο το δυνατόν γρηγορότερα [40].

Οι διαμορφώσεις πρόωσης πλοίου δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) χρησιμοποιούνται συνήθως ως ηλεκτρικά - ντίζελ. Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλοία μεγαλύτερων αποστάσεων με συμβατικό μηχανικό σύστημα πρόωσης και με ελεγχόμενη πρόωση (pitch propeller). Συνδυάζεται επίσης συνδυασμός μηχανικού και ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης που ονομάζεται υβριδική πρόωση, όπου οι προωστήρες των συστημάτων δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) οδηγούνται μέσω του γραναζιού από μηχανικό κινητήρα ή ανεξάρτητο ηλεκτροκινητήρα ή και τα δύο.

Για λόγους αναγκαιότητας περιορισμού της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στο πλοίο ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα με την κατανομή ισχύος μεταξύ της πρόωσης του πλοίου και του τμήματος της βιομηχανίας. Αφορά ιδιαίτερα εκείνες τις καταστάσεις όπου πρέπει να διατηρηθεί η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο τμήμα της βιομηχανίας όμως παρουσιάζεται και ανάγκη αύξησης της ισχύος που παραδίδεται στο τμήμα πρόωσης πλοίου με σκοπό τη διατήρηση της θέσης ή της πορείας του πλοίου.

Το πρωταρχικό καθήκον του συστήματος διαχείρισης ισχύος (Power Management System, PMS) είναι η πρόληψη συσκότισης σε ενεργειακό δίκτυο πλοίων και, συνεπώς, η διανομή ισχύος για να ξεπεραστούν οι κρίσιμες συνθήκες αυτού. Προσωρινά μπορεί να προκύψει η επιδείνωση της ακρίβειας λειτουργίας εντοπισμού θέσης χωρίς κρίσιμες καταστάσεις του κλάδου. Η πιθανότητα στιγμιαίας υπερφόρτωσης του ενεργειακού δικτύου είναι πρωταρχική προϋπόθεση ασφάλειας. Η κρίσιμη διάρκεια της υπερφόρτωσης είναι ένα λεπτό. Αυτός είναι απαραίτητος χρόνος για την αύξηση της προσβάσιμης ισχύος στο ενεργειακό σύστημα μέσω της ενεργοποίησης της επόμενης γεννήτριας (genset). Είναι αναγκαία μια γρήγορη ανάλυση σε κρίσιμες συνθήκες για να εκτιμηθεί τι πρέπει να κάνουν οι βασικές δράσεις για να ξεπεραστούν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Το επόμενο είναι η χρήση συσκευών αποθήκευσης ενέργειας. Είναι δυνατή μέσω μετατροπής AC / DC. Ωστόσο, ερευνητές μελετούν το πρόβλημα με στόχο να βρεθούν λύσεις εξισορρόπησης του φορτίου των γεννητριών με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου [41].

Οι διαμορφώσεις πρόωσης πλοίου με δυναμικά συστήματα εντοπισμού χρησιμοποιούν συνήθως συνδυασμό συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στο μηχανικό σχεδιασμό της πρόωσης καθώς και στη χρήση διαφορετικών πηγών ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται οι γεννήτριες AC που είναι φθηνότερες και έχουν τη δυνατότητα μετατροπής τάσης. Στο μέλλον, τα συστήματα πρόωσης δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) φαίνεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον. Ένα παράδειγμα της δομής του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος του πλοίου παρουσιάστηκε στο Σχήμα 18.



Σχήμα 18: Δομή του συνδυασμένου σταθμού παραγωγής ενέργειας του πλοίου [41],[42]

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι το εύρος ισχύος του εργοστασίου του πλοίου είναι ένα συνολικό άθροισμα πηγών ενέργειας / παραγωγών εγκατεστημένων επί του σκάφους. Για παράδειγμα σε συστήματα ηλεκτρικά - ντίζελ (D-E) χρησιμοποιούν 3-10 κύριες

γεννήτριες (genset) με δυνατότητα παράλληλης ή ανεξάρτητης εργασίας σε ηλεκτρικό δίκτυο πλοίων. Τα παραγόμενα στοιχεία από τα ηλεκτρονικά ισχύος ενδέχεται να επηρεάσουν τις κύριες γεννήτριες καθώς και άλλο εξοπλισμό επί του σκάφους και θα πρέπει να ληφθούν προσεκτικά υπόψη.

Η επίδραση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος στο πλέγμα σε σχέση με τις στρατηγικές ελέγχου καθώς και οι τρόποι αστοχίας πρέπει επίσης να ληφθούν. Σήμερα στα θαλάσσια συστήματα ισχύος δίνεται έμφαση σε σημαντικό βαθμό στις συσκευές αποθήκευσης ενέργειας λόγω της μεταβλητής χρονικής ζήτησης της ισχύος. Χρειάζεται μια μεγάλη συνολική ονομαστική ηλεκτρική ισχύ από γεννήτριες (για την προστασία της υπερφόρτωσης) και ένα μεγάλο περιθώριο ηλεκτρικής ισχύος. Αναζητώντας τη μέση ζήτηση ισχύος, το μέσο φορτίο των γεννητριών είναι συχνά περίπου το 60-70% της ονομαστικής ισχύος [41].

Υπάρχει μεγάλος αριθμός εφαρμογών (εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας πλοίου) που συλλογικά μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία «υποστήριξη ισχύος αιχμής». Για παράδειγμα, τα σκάφη γεώτρησης και οι πλατφόρμες γεώτρησης διατηρούν έναν αριθμό κινητήρων ντίζελ για την κάλυψη των υψηλών αναγκών ισχύος. Οι γεννήτριες που λειτουργούν παράλληλα φορτώνουν τους κινητήρες σε κατάσταση αδράνειας ή χαμηλής χωρητικότητας λόγω ακανόνιστων απαιτήσεων ισχύος μονάδων γεώτρησης ή / και λειτουργίας δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP).

Ένα σύστημα σφονδύλου θα μπορούσε να αυξήσει την χωρητικότητα των γεννητριών ντίζελ, καθιστώντας δυνατή την ικανοποίηση των απαιτήσεων αιχμής ισχύος με μικρότερο αριθμό γεννητριών εργασίας. Σε αυτήν την περίπτωση θα είναι η δυνατότητα μείωσης του απαιτούμενου επενδυτικού κόστους λόγω της εφαρμογής μικρότερου συνολικού αριθμού εγκατεστημένων γεννητριών (genset). Η προστιθέμενη αξία αυτής της εφαρμογής μπορεί να προέρχεται από τη μειωμένη φθορά του εξοπλισμού παραγωγής και τις μειωμένες εκπομπές αέρα, ιδιαίτερα σημαντικές για τις περιοχές του ECA (επιτρεπόμενα όρια ή φόροι ατμοσφαιρικής ρύπανσης) [42].

Ωστόσο, ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου για το πραγματικό προφίλ λειτουργίας και τις ταχύτητες σέρβις. Ο τρόπος διατήρησης σταθμών απαραίτητος για τη λειτουργία δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP) σπαταλά πολύ ενέργεια, ειδικά σε συνθήκες κακοκαιρίας. Χρησιμοποιώντας κατάλληλες λύσεις για την παραγωγή, την παροχή ισχύος με συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, είναι δυνατή η καλύτερη χρήση του συστήματος πρόωσης κατά τη λειτουργία δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP). Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η ασφάλεια και η αξιοπιστία της λειτουργίας δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP).

Η ανάπτυξη συσκευών αποθήκευσης ενέργειας επιτρέπει τη διατήρησή τους σε σκάφη σε πολλές εφαρμογές. Η πιο ενδιαφέρουσα συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, η οποία μπορεί να πληροί τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου πλοίων, είναι ο σφόνδυλος. Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής ντίζελ με μετατροπή ενέργειας μέσω ενέργειας DC δίνει μεγαλύτερη συνολική αξιοπιστία και υψηλή ευελιξία, ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο υπερφόρτωσης και η διακοπή ρεύματος επιτρέπει στο τέλος τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Σε μια πρακτική, ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής των πλοίων που είναι εξοπλισμένοι με σφόνδυλους αποθήκευσης ενέργειας θα είναι πιο περίπλοκος, αλλά θα αποτρέψει πολλές επικίνδυνες

καταστάσεις και θα βελτιώσει την ασφάλεια των εργασιών των πλοίων δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning, DP).

4.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΩΣΗ

Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών στα πλοία σε όποια κατηγορία και αν ανήκουν (κρουαζιερόπλοια, επιβατικά, φορτηγά, σκάφη αναψυχής, δεξαμενόπλοια, γεωτρύπανα, πλοία δυναμικής θεσιοθέτησης κ.ά.). Ο βασικός στόχος αυτών των συστημάτων είναι η μείωση των μηχανών πρόωσης πετρελαίου με ηλεκτρικούς κινητήρες καθώς επίσης και ο διαχωρισμός της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε μικρότερες γεννήτριες [43].

Σύμφωνα με τον Αλέξη Η., (2018) οι ηλεκτρικοί προωστήρες μπορούν να σχεδιαστούν για πολύ υψηλές αποδόσεις σε όλο το φάσμα της λειτουργίας τους όσο αφορά την ταχύτητα και την ιπποδύναμη, σε αντίθεση με τους κλασικούς πετρελαιοκινητήρες που έχουν μια σαφή καθορισμένη αιχμή στην απόδοση τους γύρω από το ονομαστικό σημείο λειτουργίας τους. Ένα πλοίο του οποίου ποικίλλει η ταχύτητά του θα είναι σε θέση να λειτουργεί με υψηλή απόδοση σε όλο το φάσμα της λειτουργίας του, επιλέγοντας το βέλτιστο αριθμό των γεννητριών για την παροχή της επιθυμητής ζήτησης ισχύος. Για ένα συμβατικό σύστημα πρόωσης με ντίζελ η απόδοση θα μειωθεί σημαντικά για τη λειτουργία έξω από την ονομαστική του λειτουργία. Η ηλεκτρική πρόωση αποτελεί μια νέα τεχνολογία πάνω στα πλοία και το γεγονός ότι έχει αρχίσει να εφαρμόζεται πολύ πρόσφατα αποτελεί περιοχή έρευνας για διάφορους κλάδους της μηχανικής [43].

Στην περίπτωση της ηλεκτροπρόωσης η κίνηση των προωθητικών συστημάτων πραγματοποιείται αμέσως από τους ηλεκτρικούς κινητήρες χωρίς την χρήση άλλων μηχανών (ντίζελ, αεριοστρόβιλους κ.ά.). Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που υπάρχουν συμβατικοί κινητήρες στην εγκατάσταση της ηλεκτροπρόωσης αντικαθίσταται η κίνηση του αξονικού συστήματος με έλικα με την κίνηση των ηλεκτρικών γεννητριών η οποίες τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως. Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της (αυξομείωση στροφών ή αλλαγή φοράς των ηλεκτρικών κινητήρων).

Αρχικά τα ηλεκτρικά συστήματα των πλοίων ήταν συνεχούς ρεύματος και το εναλλασσόμενο ρεύμα εμφανίζεται σε πλήθος εφαρμογών μετά το 1950. Ωστόσο, τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης συνεχίζουν να βασίζονται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας δίνει την δυνατότητα για την εκμετάλλευση της ηλεκτρικής πρόωσης αφού ικανοποιούνται πλήθος απαιτήσεων τόσο από μεριά ευελιξίας όσο και για την κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον, σημαντική εξέλιξη ήταν η εισαγωγή αξιμουθιακών προωστήρων, όπου δίνει στα πλοία ευελιξία στις κινήσεις, ευκολία στις διελεύσεις από περιοχές υψηλής κινητικότητας και τη δυνατότητα δυναμικής τοποθέτησής τους (dynamic positioning – DP).

Με το πέρασμα των χρόνων η ηλεκτρική πρόωση βρίσκει σε ολοένα και περισσότερες εφαρμογές χρήση σε πλήθος τύπων πλοίων αρχικά σε μικρότερα σκάφη και εν καιρώ σε

μεγαλύτερα. Σύμφωνα με τον Αλέξη η., (2018) η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών [43]:

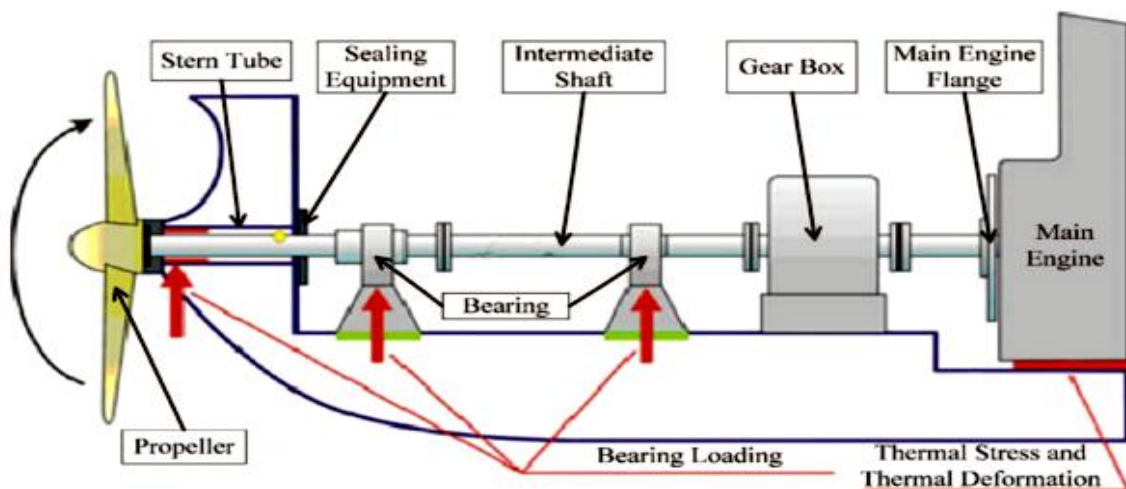
- Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελκτικών ικανοτήτων (π.χ. πλοία διάτρησης).
- Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- Σκάφη με έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Ωστόσο, αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η επιλογή του συστήματος ηλεκτροπρόωσης δίνει την ευκαιρία στην μεγαλύτερη γκάμα επιλογών των επιπρόσθετων υποσυστημάτων ενός πλοίου καθώς επίσης και την δυνατότητα διαφορετικών διατάξεων της ηλεκτρικής και προωστήριας εγκατάστασης [43]

4.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΡΟΩΣΗΣ

4.2.1.1. Αξονική πρόωση (shaft propulsion)

Στην αξονική πρόωση (shaft propulsion) η κίνηση στους έλικες δίνεται από κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας. Ο άξονας του έλικα συνδέεται με ηλεκτρικές μηχανές είτε με άμεσο τρόπο (απ' ευθείας) είτε έμμεσο τρόπο (μειωτήρα). Ο δεύτερος τρόπος οδηγεί στη χρήση μηχανών υψηλών ταχυτήτων με συνέπεια οι μηχανές να παρουσιάζουν πιο συμπαγή μορφή. Τονίζεται ότι το βασικό μειονέκτημα είναι το προαναφερόμενο σύστημα παρουσιάζει πολλές μηχανικές απώλειες διότι αποτελείται από πλήθος υποσυστημάτων.



Σχήμα 19: Αξονική Πρόωση (shaft propulsion) [46]

Η αξονική πρόωση (shaft propulsion) εφαρμόζεται σε ηλεκτρικά συστήματα πετρελαίου πρόωσης όπου παρουσιάζουν μεγαλύτερη ισχύ συγκρινόμενα με τα συστήματα αζιμουθιακής πρόωσης. Ωστόσο, στην αξονική πρόωση απαιτείται και η χρήση επιπλέον βοηθητικών μέσων πρόωσης όπως για παράδειγμα προωθητές πλώρης (bow thrusters) καθώς και η χρήση πηδαλίων για κάθε έλικα. Σημειώνεται ότι ως επί των πλυστών οι έλικες που χρησιμοποιούνται είναι σταθερού βήματος (FPP) και ως χρησιμοποιούνται έλικες μεταβλητών στροφών. Οι περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται έλικες μεταβλητού βήματος (CPP) είναι όταν απαιτείται από το σύστημα μεγαλύτερη απόδοση έλικα [45]. Στην συνέχεια ακολουθεί η απεικόνιση ενός συστήματος αξονικής πρόωσης (Σχήμα 19).

4.2.1.2. Αζιμουθιακοί προωστήρες (azimuth thrusters)

Οι αζιμουθιακοί προωστήρες (azimuth thrusters) έχουν την δυνατότητα να παράγουν την απαραίτητη ώση σε οποιαδήποτε διεύθυνση. Η παραγόμενη ώση μπορεί να ελέγχεται με τους ακόλουθους τρεις τρόπους [45]:

- Προωστήρες με έλικες ελεγχόμενου βήματος CPP με σταθερές στροφές/λεπτό
- Προωστήρες με έλικες σταθερού βήματος FPP με μεταβλητές στροφές/λεπτό με
- Προωστήρες μεταβλητού βήματος και στροφών.

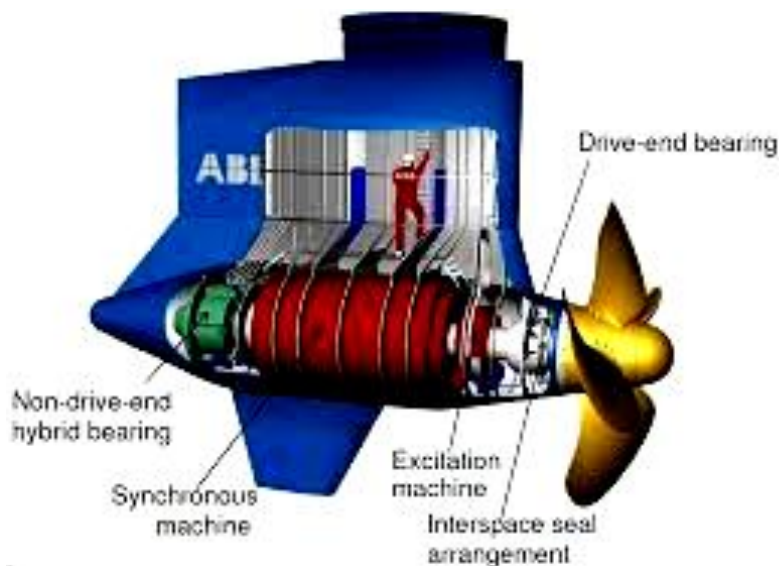


Σχήμα 20: Αζιμουθιακοί προωστήρες (azimuth thrusters) [47]

Οι αξιμουθιακοί προωστήρες χρησιμοποιούνται σε πλοία δυναμικής θεσιοθέτησης όπου δίνουν την δυνατότητα να κρατούν σταθερή την θέση ενός πλοίου με στόχο να μπορούν να υλοποιηθούν εύκολα κάποιες «μανούβρες». Στις μέρες μας διακρίνεται ότι ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός των αξιμουθιακών προωστήρων είναι με ηλεκτρική πρόωση όπου μπορούν να ανταπεξέλθουν σε εφαρμογές με απαιτούμενη ισχύ που κυμαίνεται από 6 έως 7 MWatt [44].

4.2.1.3. Αξιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod/azipod (podded propulsion)

Η ευρεία χρήση της ηλεκτρικής πρόωσης οδήγησε στην εμφάνιση εναλλακτικών λύσεων με στόχο την εκμετάλλευση όσο των δυνατών περισσότερων των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν αυτά τα συστήματα πρόωσης. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκε μια ενιαία μονάδα που αποτελείται από ένα σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικα, η οποία είναι εμβαπτισμένη στο νερό στο πρυμναίο μέρος του πλοίου, όπως στην περίπτωση των εξωλέμβιων. Το παρόν σύστημα μπορεί να φέρει είτε μία είτε δύο έλικες με δυνατότητα περιστροφής έως και 360° κατά την αξιμουθιακή διεύθυνση με συνέπεια να δίνεται η ευκαιρία στο πλοίο να πραγματοποιεί περισσότερους ελιγμούς. Βασικό πλεονέκτημα είναι ο εκμηδενισμός του αξονικού συστήματος καθώς και η μη ύπαρξη μηχανισμού πηδαλίου. Το αξιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod/ azipod (podded propulsion) χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης της τάξης των 1 έως και 25MWatt [45].



Σχήμα 21: Αξιμουθιακό σύστημα πρόωσης pod/azipod (podded propulsion) [48]

4.2.1.4. Σύστημα πρόωσης Voith Propeller Schneider

Το σύστημα πρόωσης Voith Schneider Propeller (VSP), έχει εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια. Η έλικα Voith Schneider (VSP) είναι επίσης γνωστή ως κυκλοποιητική κίνηση και κατατάσσεται στα εξειδικευμένα συστήματα θαλάσσιας προώθησης (MPS). Το σύστημα πρόωσης Voith Schneider αποτελείται από μια κυκλική πλάκα, η οποία περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα. Συγκεκριμένα είναι μια κυκλική συστοιχία κάθετων πτερυγίων (σχήμα υδροπτέρυγα) που προεξέχουν έξω από τον πυθμένα του πλοίου. Ωστόσο, σε κάθε λεπίδα δίνεται η δυνατότητα να περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα. [49]. Σύμφωνα με το Μουντάκης Σ., (2014) η εσωτερική ταχύτητα αλλάζει τη γωνία προσβολής των πτερυγίων σε συγχρονισμό με την περιστροφή της πλάκας, έτσι ώστε κάθε λεπίδα μπορεί να παρέχει ώση προς οποιαδήποτε κατεύθυνση παρέχοντας ικανοποιητικές ταχύτητες πλεύσης αλλά κυρίως πάρα πολύ καλό έλεγχο δυναμικής τοποθέτησης, πράγμα το οποίο βρίσκει χρήση σε πλοία εργασιών [44].



Σχήμα 22: Σύστημα πρόωσης Voith Schneider [49]

4.3. ΠΡΟΩΣΗ ΠΛΩΡΗΣ (BOW THRUSTER)

Η πρόωση των πλοίων μπορεί να υλοποιηθεί με πλήθος συστημάτων. Για την καλύτερη δυνατή λειτουργία τους προτείνεται όπως έχει προαναφερθεί ο συνδυασμός κάποιων συστημάτων. Οι προωθητήρες πλώρης (bow thruster) χρησιμοποιούνται για την διευκόλυνση των κινήσεων του πλοίου ιδιαίτερα σε δυσμενείς περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στην απομάκρυνση από ένα λιμάνι ή ένα σημείο που δεν του δίνεται μεγάλη έκταση για την ευκολία των κινήσεων του. Τα συστήματα αυτά προσδίδουν αυξημένη ικανότητα χειρισμών και μεγάλη ευελιξία.

Σε πολλές περιπτώσεις τα πλοία που καλούνται να εισέλθουν σε λιμάνια ή θαλάσσιες περιοχές όπου ο χώρος είναι περιορισμένος απαιτείται λεπτομερής χειρισμός για την αποφυγή ατυχημάτων. Οι προωθητήρες πλώρης (bow thruster) είναι συστήματα που δίνουν την δυνατότητα να υπάρξει ένας συνολικός έλεγχος των κινήσεων του πλοίου. Επιπλέον,

μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και στην αγκυροβόληση ενός πλοίου η οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί σε μια πολύ δύσκολη γωνία με λίγο χώρο για ελιγμούς.

Οι προωθητήρες πλώρης (bow thruster) τοποθετούνται στην περιοχή της προώρας του πλοίου διαμήκη στον άξονα του. Η θέση τοποθέτησης τους δεν είναι τυχαία αφού με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται οι απαραίτητες πλευρικές δυνάμεις με συνέπεια την ώθηση και άμεση μετατόπιση της πλώρας του πλοίου. Ωστόσο, η επιτυχία των προαναφερόμενων οφείλεται και σε κατάλληλους χειρισμούς του πηδαλίου και της έλικας του πλοίου. Ο κατάλληλος συνδυασμός και χρήση των προαναφερόμενων συστημάτων δίνει την δυνατότητα στο πλοίο να λαμβάνει άμεσα οποιαδήποτε θέση σε μικρές ταχύτητες (μειωμένη ταχύτητα ή/και κρατημένες μηχανές) χωρίς να απαιτείται η χρήση ρυμουλκού (μείωση κόστους – εξοικονόμηση χρημάτων)

4.3.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΩΣΗΣ ΠΛΩΡΗΣ

4.3.1.1. Πρωραία έλικα μέσα σε σήραγγα (tunnel type)

Η περίπτωση της πρωραίας έλικας μέσα σε σήραγγα (tunnel type) είναι μια έλικα τοποθετημένη μέσα σε ένα τούνελ – εγκάρσια σήραγγα, όπου στις πλευρικές οπές που υπάρχουν τοποθετούνται προστατευτικοί ράβδοι κατά τη φορά της ροής. Η αναστροφή της κίνησης της έλικας, δηλαδή η αριστερή ώση γίνεται δεξιά και αντίστροφα, επιτυγχάνεται με δύο τρόπους [50]:

- Με ηλεκτροκινητήρα αναστρέψιμης φοράς περιστροφής και έλικα σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propeller): η κίνηση επιτυγχάνεται ανάποδα με αναστροφή της φοράς περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα με μικρό βαθμό απόδοσης της έλικας κατά την κίνηση αντιστρόφως.
- Με τον ηλεκτροκινητήρα σταθερής φοράς περιστροφής και έλικα μεταβαλλόμενου και αναστρέψιμου βήματος (Controllable Pitch Propeller): τα πτερύγια μπορούν να μεταβάλουν την κλίση τους ως προς τον άξονα περιστροφής με συνέπεια τη βελτίωση της απόδοσης της έλικας σύμφωνα με την ταχύτητα του πλοίου.

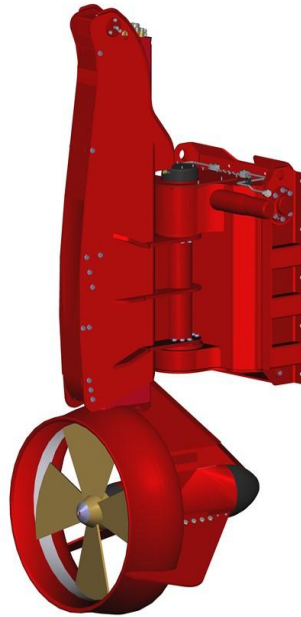


Εικόνα 22: Πρωραία έλικα μέσα σε σήραγγα (tunnel type) [50]

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι με την αναστροφή της κλίσης επιτυγχάνεται η κίνηση αντίστροφα χωρίς να απαιτείται η ανάγκη περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα. Επιπλέον, η πρωραία έλικα χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν μεσαίες και μεγάλες ιπποδυνάμεις και η μεταβολή του βημάτων των πτερυγίων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με ηλεκτρικό είτε με υδραυλικό κινητήρα [50].

4.3.1.2. Έλικα ανασυρόμενη (retractable propeller)

Το βασικό στοιχείο για την ανασυρόμενη έλικα (retractable propeller) είναι ότι τοποθετείται κάτω από τον πυθμένα του πλοίου έως και 2 m διότι θα πρέπει να της δίνεται η δυνατότητα να περιστρέφεται κατά 360° (μοίρες) γύρω από τον κατακόρυφο άξονα της. Αυτό της δίνει την δυνατότητα να αναπτύξει ώση προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και παράλληλα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να υλοποιήσει πολύ δύσκολους χειρισμούς του πλοίου. Ωστόσο η ανασυρόμενη έλικα (retractable propeller) έχει βασικό μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιείται με ασφάλεια κοντά σε προβλήτες η οποία δεν έχουν μεγάλο βάθος [44], [50].



Σχήμα 23: Έλικά ανασυρόμενη (retractable propeller)[51]

Όπως διακρίνεται και στο Σχήμα 23 ο μηχανισμός κίνησης κατεβαίνει μαζί με την έλικά η οποία περιβάλλεται από προστατευτικό δακτύλιο. Επιπλέον, με στόχο την ασφάλεια του συστήματος τοποθετείται ένα προστατευτικό έλασμα, που κατεβαίνει και αυτό μαζί με την έλικά [51].

Το σύστημα της ανασυρόμενης έλικας (retractable propeller) επιβαρύνει τις ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου αφού απαιτεί συγκεκριμένη ισχύς για την λειτουργία της. Παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά την σχεδίαση του πλοίου για τον αριθμό και το μέγεθος των ηλεκτρογεννητριών. Σε περιπτώσεις που η εγκατάσταση της προωραίας έλικας επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό την ηλεκτροπαραγωγή προτείνεται να χρησιμοποιείται χωριστός κινητήρα πετρελαίου για την κίνηση της προωραίας έλικας. Οι προωραίες έλικες χειρισμών για μεγάλα πλοία (Επιβατηγά, Κοντέινερ ή RO-RO Ships) μπορούν να αναπτύσσουν ώσεις πάνω από 20.000 kg με αντίστοιχη ιπποδύναμη άνω από 1.800 Hp [44], [50].

4.4. ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Για την εγκατάσταση συστήματος δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) σε πλοία, η ηλεκτρική πρόωση κρατά την πρώτη θέση με διαφορά. Σήμερα τα συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) εφαρμόζονται σε σύγχρονα πλοία όπου οδηγούνται με ηλεκτρική μηχανή. Η χρήση της τεχνολογίας της δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με προωστήρες με έλικες ελεγχόμενου ή μεταβλητού βήματος (controllable pitchpropellers (CPP)) είτε με

προωστήρες με έλικες σταθερού βήματος (fixed pitch propellers (FPP)) ή με μεταβλητές στροφές/λεπτό [43], [44].

Ένα από τα βασικά πλεονέκτημα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι ο μειωμένος όγκος του συστήματος πρόωσης στο πλοίο συγκρινόμενο με ένα αξονικό σύστημα. Επιπρόσθετος, το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης παρουσιάζει την δυνατότητα των μεταβαλλόμενων στροφών. Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα να λειτουργήσει η εγκατάσταση στο μέγιστο της ροπής τους καθ' όλη την διάρκεια της λειτουργίας τους. Όμως για λόγους ασφαλείας, η έλικα συνήθως κινείται με περισσότερους από δύο ηλεκτροκινητήρες περίπου της ίδιας ισχύος. [43].

Στα συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) οι τύποι των ελίκων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα ακόλουθα [43]:

- Έλικα σταθερού βήματος: είναι ενιαία χυτά κομμάτια και ως επί το πλευστών κατασκευάζονται από κράμα χαλκού. Το βήμα της έλικας, δηλαδή η θέση των πτερυγίων, είναι ίση και σταθερή με στόχο την επίτευξη του επιθυμητού βήματος η οποία δεν δύναται να αλλάξει κατά την λειτουργία. Από τα ανωτέρω γίνεται άμεσα κατανοητό ότι όταν η έλικα λειτουργεί σε συγκεκριμένες συνθήκες οι καμπύλες απόδοσης της έλικας, δηλαδή ο συνδυασμός ισχύος και ταχύτητας (rpm), θα αλλάζουν ακολουθώντας τους φυσικούς νόμους, και η πραγματική καμπύλη της έλικας δεν μπορεί να μεταβληθεί από το πλήρωμα. Η έλικα σταθερού βήματος προτιμάται σε πλοία που δεν απαιτούν σημαντικά ελιγκτικές ικανότητες.
- Έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού βήματος: παρουσιάζουν μεγαλύτερη πλύμνη συγκρινόμενη με την έλικα σταθερού βήματος. Η πλύμνη απαιτεί να έχει αρκετό χώρο για τον υδραυλικό μηχανισμό ελέγχου της γωνίας (βήματος) των πτερυγίων και αυτό οδηγεί και σε μείωση της απόδοσης της έλικας. Η έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού βήματος προτιμάται σε πλοία που απαιτούν σημαντικά ελιγκτικές ικανότητες.

5. ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ (DP)

5.1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

Ο Χειριστής δυναμικής θεσιοθέτησης (Dynamic Positioning Operator, DPO) είναι ένα άτομο που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο με το σύστημα δυναμικής τοποθέτησης. Σκοπός αυτού του Συστήματος είναι η αυτόματη διατήρηση της θέσης και της κατεύθυνσης του σκάφους χρησιμοποιώντας τα δικά του έλικα και τους προωθητήρες. Όπως γνωρίζετε, αυτό

είναι πολύ περίπλοκο έργο επειδή το Σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) πρέπει να συνδυάζει αισθητήρες αναφοράς θέσης, αισθητήρες ανέμου, αισθητήρες κίνησης για τον υπολογισμό του αντίκτυπου των περιβαλλοντικών δυνάμεων που επηρεάζουν τη θέση των σκαφών [53].



Εικόνα 23: Συστήματα πλοίου δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP)

Τα συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) είναι ζωτικής σημασίας για τις εργασίες ασφαλείας, όπως η γεώτρηση σε βάθος (Drillships, Mobile Offshore Drilling Units), η αγκυροβόληση (χειρισμός αγκυροβολίου για την αγκυροβόληση του μη-DP MODU), η προμήθεια πετρελαιοφόρων και πλατφορμών ζώνη ασφαλείας της υπεράκτιας εγκατάστασης), κατασκευή υποθαλάσσιων, κ.ά.. Πρόκειται για ένα ασφαλές, γρήγορο και αξιόπιστο εργαλείο για την εκτέλεση καθημερινών υπεράκτιων δραστηριοτήτων. Το σύστημα αυτό δημιουργήθηκε στη δεκαετία του 1960 για να καλύψει τις απαιτήσεις της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το σύστημα αυτό επέτρεψε σε υπεράκτιες μονάδες γεώτρησης να λειτουργούν σε βαθύτερα νερά, δημιουργώντας νέα πεδία - νέα πηγάδια - νέα κέρδη για τις εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Υπάρχουν διάφορες επιλογές διατήρησης θέσεων: jack-up, αγκύρωση και δυναμική θεσιοθέτηση. Το τελευταίο έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως εξαιρετική ευελιξία, δεν απαιτούνται πρόσθετα σκάφη για να εργάζονται με άγκυρα, ικανά να λειτουργούν σε οποιοδήποτε βάθος νερού, γρήγορη εγκατάσταση, χωρίς να περιορίζονται από παρεμποδισμένο θαλάσσιο βυθό. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα: υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης, κόστος καυσίμων και συντήρησης. Το μεγαλύτερο πρόβλημα όλων: το σύστημα θα μπορούσε να ξεπεράσει τη θέση του από τις αστοχίες του συστήματος. Για να κατανοήσετε τους βασικούς κινδύνους για την απώλεια θέσης των σκαφών, ανατρέξτε στα ακόλουθα παραδείγματα:

- Οι δύτες εξαρτώνται πλήρως από ένα σκάφος ενώ εργάζονται υποβρύχια, αλλά εάν χάσουν τη θέση τους, οι συνέπειες θα μπορούσαν να είναι θανατηφόρες.

- Η απώλεια θέσης ενός σκάφους κοντά σε μια εξέδρα πετρελαίου μπορεί να προκαλέσει σύγκρουση και να οδηγήσει σε θανάτους.
- Η απώλεια της θέσης του Drillship θα μπορούσε να προκαλέσει ανεξέλεγκτες διαρροές πετρελαίου και πιθανόν να προκαλέσει σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Η απώλεια θέσης μπορεί να προκαλέσει οικονομικούς κινδύνους, περιβαλλοντικούς κινδύνους, κινδύνους για την υγεία και την ασφάλεια.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο μόνο το προσωπικό υψηλής εξειδίκευσης μπορεί να ελέγξει τα συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP). Ο Υπεύθυνος Προστασίας Δεδομένων (ΥΠΔ) έχει αρμοδιότητα να χρησιμοποιεί συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) σε χειροκίνητους και αυτόματους τρόπους λειτουργίας χωρίς επίβλεψη. Το Ναυτικό Ινστιτούτο δημιούργησε ένα ειδικό πρόγραμμα κατάρτισης για την επίτευξη προτύπων ασφαλείας για τους Υπεύθυνους Προστασίας Δεδομένων (ΥΠΔ) στην υπεράκτια βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το πρόγραμμα αυτό καθορίζει τα βασικά στάδια της επαγγελματικής κατάρτισης για τους μελλοντικούς Υπεύθυνους Προστασίας Δεδομένων (ΥΠΔ). Υπάρχουν τρία βασικά μπλοκ - πρακτική στο σκάφος, θεωρητικές συνεδρίες και κατάρτιση προσομοιωτών σε ειδικά κέντρα κατάρτισης. Το πιστοποιητικό δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) "UNLIMITED" θα εκδοθεί μετά την επιτυχή ολοκλήρωση όλων των φάσεων του προγράμματος κατάρτισης. Αυτό το πιστοποιητικό επιβεβαιώνει την ικανότητα ενός φορέα εκμετάλλευσης και του επιτρέπει να εργάζεται στα συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) χωρίς επίβλεψη.

Οι σύνθετες λειτουργίες δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) διαφέρουν σημαντικά για τους διάφορους τύπους ανοικτής θαλάσσης. Για παράδειγμα, αν ολοκληρώσετε ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα με εμπειρία μόνο σε ένα σκάφος ανεφοδιασμού με ρυμούλκηση αγκύρωσης, δεν μπορείτε να εργαστείτε ως υπεύθυνος προστασίας δεδομένων στο σκάφος υποστήριξης κατάδυσης κατά τη λειτουργία κατασκευής υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων χωρίς επίβλεψη και περαιτέρω εκπαίδευση [53].

Υπάρχουν πολλά βήματα που πρέπει να ακολουθήσει κάποιος για να μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας καλός δυναμικός χειριστής θέσης. Αυτές οι βαθμολογήσεις που εξελίσσονται μπορούν να απარიθμηθούν ως εξής:

➤ **Βήμα 1^ο:**

Το πρώτο βήμα είναι να εγγραφείτε για ένα βασικό μάθημα σε ένα πρόγραμμα δυναμικής εκπαίδευσης θέσης. Το μάθημα προσφέρει και ατομική όλη την πρωτογενή τεχνογνωσία σχετικά με τη δυναμική τοποθέτηση.

➤ **Βήμα 2^ο:**

Το δεύτερο βήμα αφορά το άτομο που αποκτά πρακτική γνώση στο θέμα της δυναμικής θέσης. Μέσα από μια αποστολή μήκους ενός μηνός στο πλοίο που λειτουργεί με

δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning – DP), ο άνθρωπος αποκτά τις απαιτούμενες γνώσεις - τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά.

➤ **Βήμα 3^ο:**

Το τρίτο βήμα αφορά το άτομο, το οποίο έχει ολοκληρώσει και τις δύο παραπάνω απαιτήσεις, είναι τώρα επιλέξιμο για προχωρημένο μάθημα δυναμικής εκπαίδευσης θέσης. Αναφερόμενο επίσης ως το προηγμένο μάθημα προσομοιωτή δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP), αυτό το μάθημα επιτρέπει σε ένα άτομο να προάγει τη γνώση που αποκτάται μέσω του βασικού μαθήματος και της πρακτικής άσκησης.

➤ **Βήμα 4^ο:**

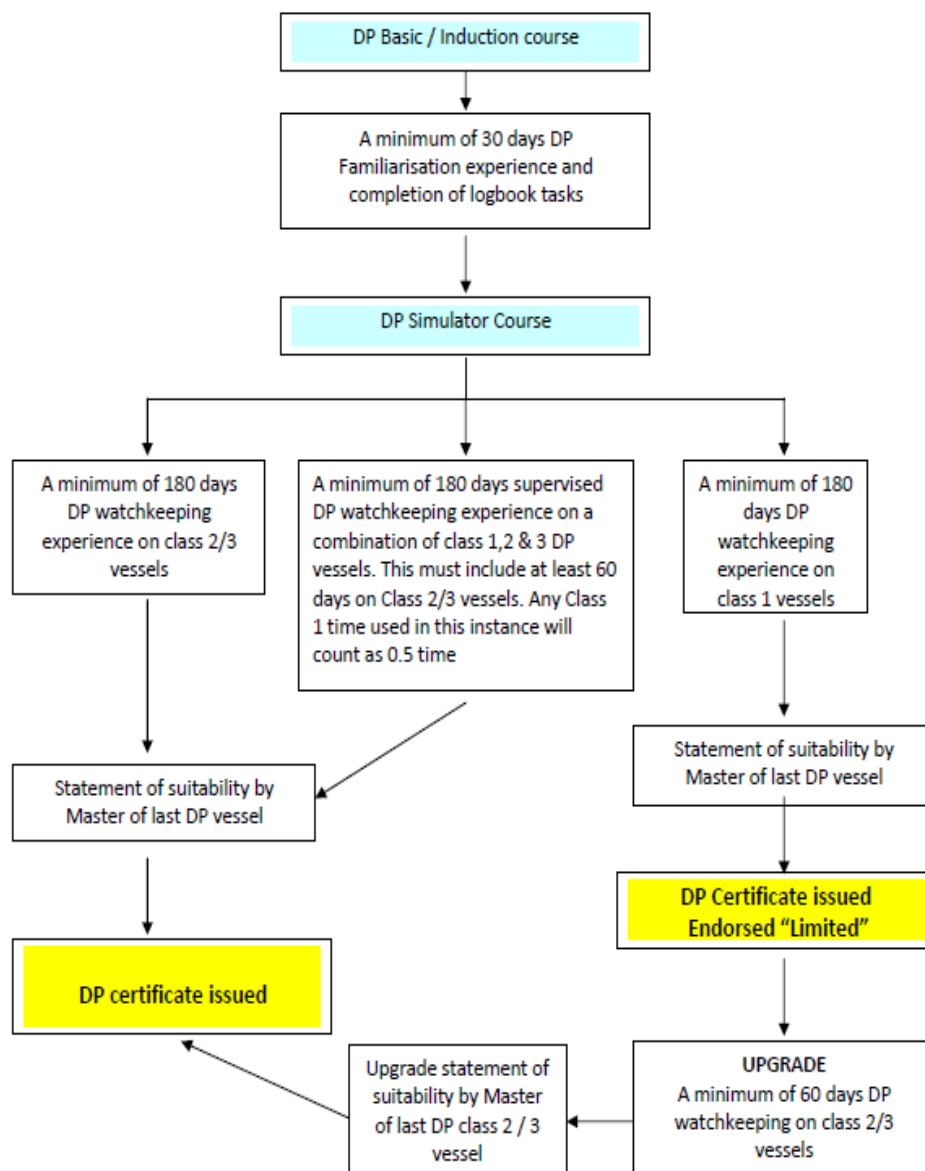
Το τέταρτο βήμα περιλαμβάνει ένα άτομο που αποκτά πρακτική εκπαίδευση - για άλλη μια φορά - για σκάφη εξοπλισμένα με συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης. Η μόνη διαφορά μεταξύ αυτής της απαίτησης κατάρτισης και της προηγούμενης προδιαγραφής είναι ότι τα σκάφη αυτά που είναι εξοπλισμένα με συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) πρέπει να ταξινομηθούν είτε ως βαθμοί II ή III. Το άτομο πρέπει να δαπανήσει έξι μήνες για να κερδίσει, κάτι που αποκαλείται τεχνικά ως «παρακολούθηση» για να χαρακτηριστεί ως φορέας εκμετάλλευσης της απομακρυσμένης παρακολούθησης (ΑΠ). Και ενώ τα άτομα μπορούν να επιλέξουν μαθήματα παρακολούθησης με ένα σκάφος βαθμού I (όπως στο Βήμα II), η πιστοποίηση δυναμικού χειριστή τους θα περιοριστεί.

➤ **Βήμα 5^ο:**

Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση των έξι μηνών παρακολούθησης, ο κύριος χειριστής δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) των πλοίων της Βαθμίδας II ή III εκδίδει το λεγόμενο «Πιστοποιητικό καταλληλότητας». Το πιστοποιητικό αυτό εκδίδεται μετά την επίδειξη της εκπαίδευσής που πραγματοποίησαν οι εκπαιδευόμενοι.

Η πιστοποίηση μαζί με τις παρατηρήσεις του επικεφαλής των επιχειρήσεων δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP), διαβιβάζεται στο Ναυτικό Ινστιτούτο. Το ίδρυμα αυτό είναι η αναγνωρισμένη αρχή για την έκδοση του πιστοποιητικού επικύρωσης του χειριστή δυναμικής θεσιοθέτησης.

Ο ρόλος εργασίας του χειριστή δυναμικής θεσιοθέτησης είναι αρκετά εκτεταμένος. Ένα άτομο πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός, ώστε να μην προκύπτουν προβλήματα ενώ το άτομο έχει ενεργό καθήκον επί του πλοίου. Οποιαδήποτε απροσεξία μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα προβλήματα για το σκάφος και μη εκτέλεση των σημαντικών λειτουργιών του [55]



Σχήμα 24: Διάγραμμα ροής δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) [54]

5.2. ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ

Η δυναμική θεσιοθέτηση (dynamic positioning – DP) είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τη λειτουργία ενός σκάφους, το οποίο είναι αφιερωμένο κυρίως στις υπεράκτιες δραστηριότητες όπως η εξερεύνηση πετρελαίου. Τα δυναμικά συστήματα εντοπισμού θέσης απαιτούν ειδικά εκπαιδευμένο και εξειδικευμένο προσωπικό για τη διαχείριση των συστημάτων στη θάλασσα. Το άτομο που χειρίζεται ολόκληρο το σύστημα και διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία ενός σκάφους δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) είναι γνωστό ως χειριστής δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP). Ο χειριστής δυναμικής θέσης (DPO) πρέπει να εκπαιδευτεί κατάλληλα πριν αναλάβει τα ηνία του

απαιτητικού επαγγέλματος. Αρκετά ναυτικά ινστιτούτα προσφέρουν μια αναγνωρισμένη σειρά μαθημάτων δυναμικών συστημάτων θέσης βοηθώντας με επιτυχία τα άτομα να αποκτήσουν τις απαιτούμενες γνώσεις [3].

Στην συνέχεια ακολουθούν τα βασικά πιστοποιητικά που θα πρέπει να κατέχουν οι χειριστές δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) [52]

- Marine Vocational qualification: είναι ένα πιστοποιητικό μη-STWC (Διεθνής σύμβαση για τα πρότυπα εκπαίδευσης, πιστοποίησης και φύλαξης των ναυτικών, International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) αρμοδιοτήτων το οποίο έχει εκδοθεί από την λευκή λίστα της Ναυτικής Διοίκησης για χρήση μόνο στα τοπικά ύδατα της διοίκησης.
- Competent Officer: είναι ο αξιωματικός καταστρώματος που κατέχει ένα πιστοποιητικό δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) και ένα πιστοποιητικό STWC (Διεθνής σύμβαση για τα πρότυπα εκπαίδευσης, πιστοποίησης και φύλαξης των ναυτικών, International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) αρμοδιότητα το οποίο έχει εκδοθεί από τη Ναυτική Διοίκηση από την λευκή λίστα του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization, IMO).
- Unsupervised seaservice dynamic positioning: είναι όταν ένας χειριστή δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) (ανώτερος ή junior) αποτελεί κομμάτι από την δυαδική παρατήρηση.
- Supervised dynamic positioning seaservice: είναι όταν ένας εκπαιδευόμενος χειριστής δυναμικής θεσιοθέτησης (dynamic positioning – DP) αποτελεί το τρίτο άτομο στην παρατήρηση και ποτέ δεν χειρίζεται τον εξοπλισμό εκτός εάν είναι υπό επίβλεψη από ειδικευμένο ανώτερο χειριστή δυναμικής θέσης (DPO).

6. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟ - ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου διασχίζει τον Κόλπο της Κορίνθου κοντά στην Πάτρα, στη Δυτική Ελλάδα. Το έργο Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου είναι σύμβαση που παραχωρήθηκε από την Ελληνική Κυβέρνηση σε κοινοπραξία με επικεφαλής τη Γαλλική Εταιρεία Vinci Construction (πρώην Dumez - GTM). Η γέφυρα αποτελεί έναν σταθερό σύνδεσμο μεταξύ Πελοποννήσου και ηπείρου στο δυτικό άκρο του κόλπου της Κορίνθου και προορίζεται να αντικαταστήσει ένα υπάρχον σύστημα πορθμείων (Εικόνα 24). Η πρόσκληση υποβολής προσφορών προκηρύχθηκε το 1992, η σύμβαση που ανατέθηκε στην κοινοπραξία το 1996, τέθηκε σε ισχύ τον Δεκέμβριο του 1997. Η κατασκευή άρχισε το 1998 και έχει προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί έως τον Σεπτέμβριο του 2004 [67], [68].



Εικόνα 24: Θέση Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου [68].

Αποτελείται από μια εντυπωσιακή γέφυρα πολλαπλών καλωδίων που συνδέεται με τη γη με δύο προσεγγίσεις. Ένας εξαιρετικός συνδυασμός φυσικών συνθηκών έκανε αυτό το έργο αρκετά ασυνήθιστο: υψηλό βάθος νερού, βαθιά στρώματα ασθενών εδαφών, ισχυρή σεισμική δραστηριότητα και μετατοπίσεις πλακών. Επιπλέον, υπήρχε ένας ακόμα σοβαρός κίνδυνος που έπρεπε να ληφθεί υπόψη και αυτός ήταν η σύγκρουση με βαριά πλοία. Η δομή έχει σχεδιαστεί με σκοπό την πρόκληση σοβαρών σεισμών και τη διασφάλιση της καθημερινής εξυπηρέτησης του συνδέσμου. Για να καταστεί εφικτή η γέφυρα, είχαν αναπτυχθεί καινοτόμες τεχνικές. Η αντοχή του επί τόπου εδάφους έχει βελτιωθεί μέσω εγκλεισμάτων. Το κατάστρωμα της γέφυρας έχει ανασταλεί σε όλο το μήκος του και, ως εκ τούτου, έχει απομονωθεί όσο μπορεί [67], [68].



Εικόνα 25: Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου [67]

Η διέλευση αποτελείται από μια κύρια γέφυρα, μήκους 2252 m και πλάτους 27,20 m που συνδέεται με τη γη με δύο προσεγγίσεις, μήκους 392 m και 239 m αντίστοιχα, σε κάθε πλευρά του κόλπου. Ένας εξαιρετικός συνδυασμός περιβαλλοντικών και φυσικών συνθηκών έκανε το έργο αρκετά περίπλοκο [59] [60]:

- Μεγάλο βάθος νερού
- Βαθιά στρώματα εδάφους ασθενών αλουβίων
- Ισχυρή σεισμική δραστηριότητα
- Πιθανές τεκτονικές κινήσεις
- Πιθανές επιπτώσεις από πλοίο

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι πολύ νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού αποδείχθηκε ότι ο σχεδιασμός ελέγχεται κυρίως από τη σεισμική ζήτηση που επιβλήθηκε στα θεμέλια. Προκειμένου να ανακουφιστεί η πιθανή ζημιά στη δομή λόγω των παραπάνω δυσμενών συνθηκών και να μεταφερθούν οι μεγάλες σεισμικές δυνάμεις που έφεραν στο θεμέλιο (δύναμη διάτμησης της τάξης των 500 MN και ροπή ανατροπής της τάξης των 18.000 MNm για κάθετη προβλήτα βάρος 750 MN), υιοθετήθηκε τελικά μια καινοτόμος ιδέα θεμελίωσης η οποία αποτελείται από ένα βαρυτικό Τάισον (διαμέτρου 90 m στο επίπεδο του βυθού) που στηρίζεται πάνω από το ενισχυμένο φυσικό έδαφος [61]. Το οπλισμό εδάφους αποτελείται από χαλύβδινους σωληνοειδείς σωλήνες, διαμέτρου 2 m, πάχους 20 mm, μήκους 25 έως 30 m που κινούνται σε πλέγμα 7 m x 7 m κάτω και έξω από το δυο θεμέλιων, καλύπτοντας κυκλική έκταση περίπου 8.000 m². Ο συνολικός αριθμός εγκλεισμάτων σε κάθε θεμέλιο είναι της τάξης των 150 έως 200.

Επιπλέον, η ασφάλεια του έργου ενισχύεται σε μεγάλο βαθμό με την παρεμβολή ενός στρώματος χαλικιού στρώματος, πάχους 2,8 m, πάνω από τα εγκλείσματα ακριβώς κάτω από τη σχεδίαση θεμελίωσης με καμία δομική σύνδεση μεταξύ της σχεδίας και των κεφαλών

εγκλεισμού. Αυτή η ιδέα (συμπερίληψη και στρώμα χαλικιού), εκτός από την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που σχετίζονται με τους διαφορικούς οικισμούς, ενισχύει τη φιλοσοφία σχεδιασμού χωρητικότητας στο σχεδιασμό σεισμικών θεμελίων [62].

6.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ

Η θέση εγκατάστασης της Γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου έχει υποβληθεί σε εκτεταμένες έρευνες υπεράκτιου εδάφους που πραγματοποιήθηκαν είτε από πλωτές φορηγίδες είτε από πλοίο, ελεγχόμενο με δυναμικό σύστημα εντοπισμού. Αυτές οι έρευνες περιελάμβαναν:

- γεώτρηση πυρήνων,
- στατικές δοκιμές διείσδυσης κώνου με μετρήσεις πίεσης πόρων (CPTU),
- δοκιμές τυπικής διείσδυσης (SPT),
- δοκιμές πτερυγίων και δοκιμών dilatometer,
- σεισμικές δοκιμές κώνου
- δειγματοληψία ανέπαφων δειγμάτων εδάφους για εργαστηριακές δοκιμές.

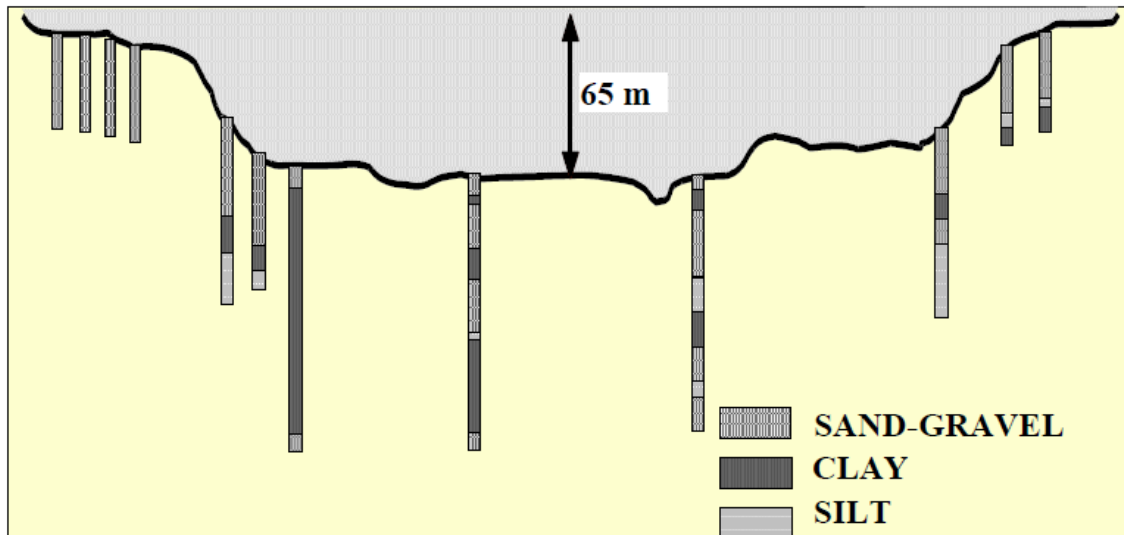
Όλα τα διάδρομα έφτασαν σε βάθη που κυμαίνονται από 60 m έως 100 m κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Κάτω από καθεμία από τις κύριες αποβάθρες γεφυρών έχουν τρυπηθεί τρεις συνεχείς γεωτρήσεις, τρεις στατικές δοκιμές διείσδυσης κώνου με μετρήσεις πίεσης πόρων (CPTU), δύο σεισμικοί κώνοι, μία δοκιμή τυπικής διείσδυσης (SPT)/dilatometer. Περίπου 300 δείγματα ανακτήθηκαν και υποβλήθηκαν σε προηγμένες εργαστηριακές δοκιμές. Με βάση τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών, έχουν καθοριστεί αντιπροσωπευτικά προφίλ εδάφους στις θέσεις των κύριων αποβαθρών γεφυρών και έχουν προκύψει σειρές μηχανικών χαρακτηριστικών εδάφους [68].

Το βάθος του νερού στη μέση του στενού φτάνει τα 65 m. Το προφίλ του εδάφους αποτελείται από ασθενή αλλουβιακά στρώματα που εναποτίθενται σε εναλλακτικά στρώματα, με ατομικό πάχος μερικών μέτρων, από ασημένιες άμμους, αμμώδεις αργίλους και μεσαίες πλαστικές αργίλες. Στα πάνω εκατό μέτρα που διερευνήθηκαν από την έρευνα του εδάφους, επικρατούν τα στρώματα του πηλού ή του αργίλου. Κατά τη διάρκεια των ερευνών δεν συναντήθηκε κανένα θεμέλιο με βάση γεωλογικές μελέτες και γεωφυσικές έρευνες το βάθος του πιστεύεται ότι είναι μεγαλύτερο από 500 m.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υπεράκτιων στρωμάτων είναι μάλλον φτωχά, ενώ οι αντοχές σε διάτμηση των συνεκτικών στρωμάτων αυξάνονται αργά με βάθος από περίπου 30-50 kN/m² στο επίπεδο της θαλάσσιας βάσης στα 80-100 kN/m² σε βάθος 50 m. Μια σημαντική διαφορά εμφανίζεται στα συνεκτικά στρώματα: μερικά από αυτά τα στρώματα είναι επιρρεπή σε σημαντική συσσώρευση πίεσης πόρων, ακόμη και πιθανώς σε υγροποίηση, υπό το σχεδιασμό του σεισμού.

Αντίστοιχα, οι αντοχές που δεν έχουν κατανεμηθεί τα στρώματα χωρίς συνοχή λαμβάνονται ίσες είτε με τις κυκλικές αντοχές που έχουν υποστεί διάτμηση είτε με τις

υπολειμματικές τους αντοχές. Με βάση τα αποτελέσματα του εργαστηρίου, μονοδιάστατες δοκιμές συμπίεστικότητας και συσχετισμών με τα αποτελέσματα των δοκιμών διείσδυσης κώνου με μετρήσεις πίεσης πόρων (CPTU), ή με τις μη εξασθενημένες αντοχές διάτμησης, αποδείχθηκε μια ελαφρά υπερσυγκέντρωση, της τάξης των 150 kN/m^2 , των άνω στρωμάτων. Οι ταχύτητες των διατμητικών κυμάτων είναι επίσης μικρές, αυξάνοντας από 100-150 m/s στην επιφάνεια του εδάφους σε 350-400 m/s σε βάθος 100 m (Σχήμα 25) [68].

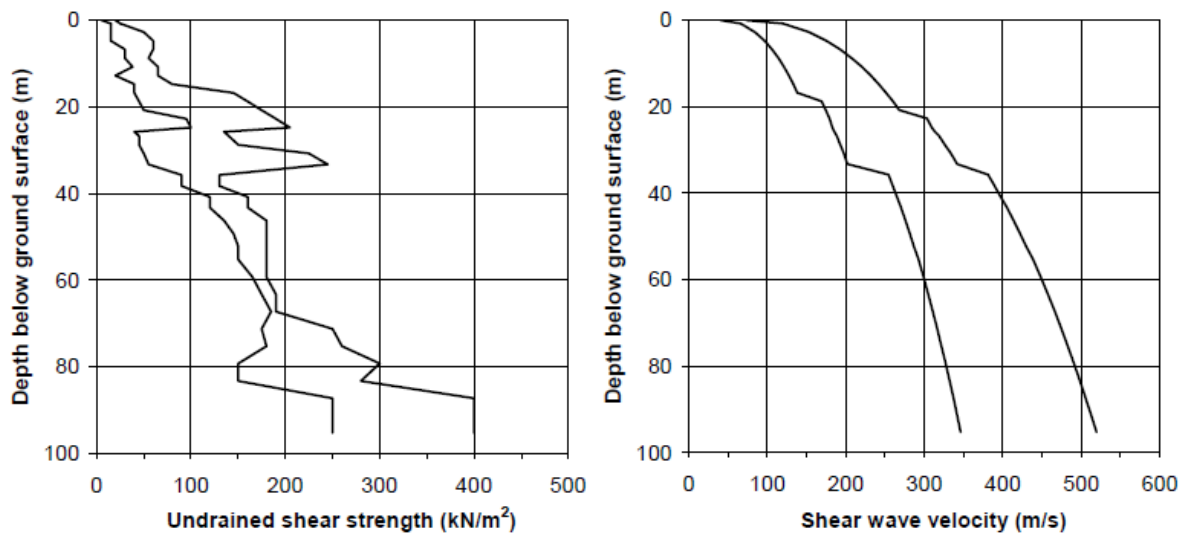


Σχήμα 25: Απεικόνιση προφίλ εδάφους τοποθέτησης γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [68]

Αξίζει να σημειωθεί ότι για το σχεδιασμό, έχουν χρησιμοποιηθεί δύο σύνολα χαρακτηριστικών εδάφους αντί για ένα μόνο σετ βασισμένο σε χαρακτηριστικές τιμές. Αυτή η απόφαση καθοδηγείται από τη θεμελιώδη ανάγκη να διατηρηθεί η συμβατότητα σε ολόκληρη τη διαδικασία σεισμικού σχεδιασμού [68]:

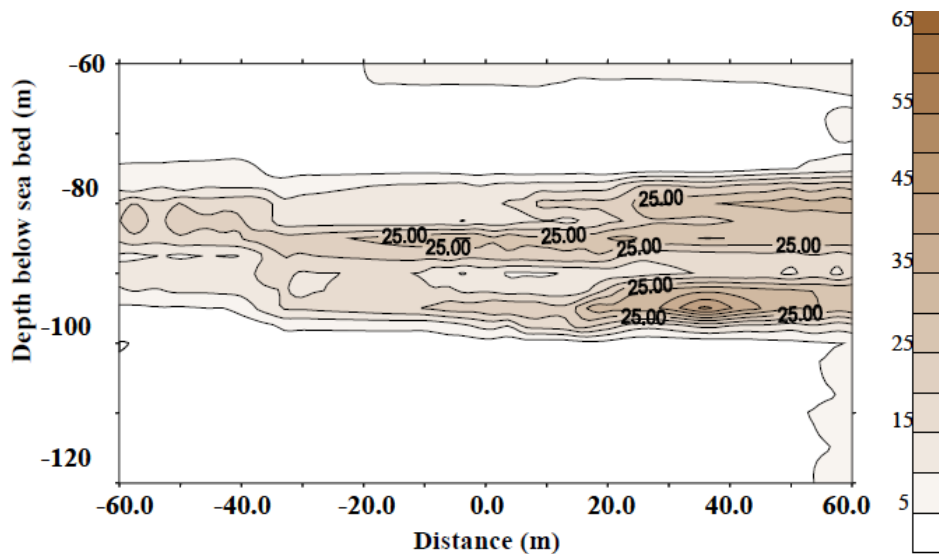
- Η σεισμική ζήτηση υπολογίζεται υποθέτοντας ένα σύνολο ιδιοτήτων (διαδοχικά κατώτερο όριο και άνω όριο)
- Η ικανότητα θεμελίωσης ελέγχεται με τις σχετικές δυνάμεις (αντίστοιχα κατώτερο όριο και άνω όριο)
- Η χωρητικότητα δεν ελέγχεται ποτέ με χαμηλές ιδιότητες όταν οι δυνάμεις υπολογίζονται με υψηλές ιδιότητες και αντιστρόφως.

Επιπλέον, δεδομένων των μεγάλων διαστάσεων θεμελίωσης, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη χωρική μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του εδάφους κανέναν ιδρύμα. Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να έχει αντίκτυπο στη διαφορική διευθέτηση και την κλίση ενός πυλώνα.



Σχήμα 26: α) Μη στραγγιζόμενη αντοχή σε διάτμηση και β) Ταχύτητα κύματος διάτμησης [68]

Το Σχήμα 27 δίνει ένα παράδειγμα της μεταβλητότητας της αντίστασης σε σημείο κώνου σε ένα θεμέλιο, της μεταβλητότητας που αντικατοπτρίζεται προφανώς από τη μεταβλητότητα στην αντοχή διάτμησης και τη συμπίεσιμότητα των στρωμάτων του εδάφους.



Σχήμα 27: Χωρική μεταβλητότητα της αντίστασης κώνου σε όλη την προβλήτα M3 [68]

6.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

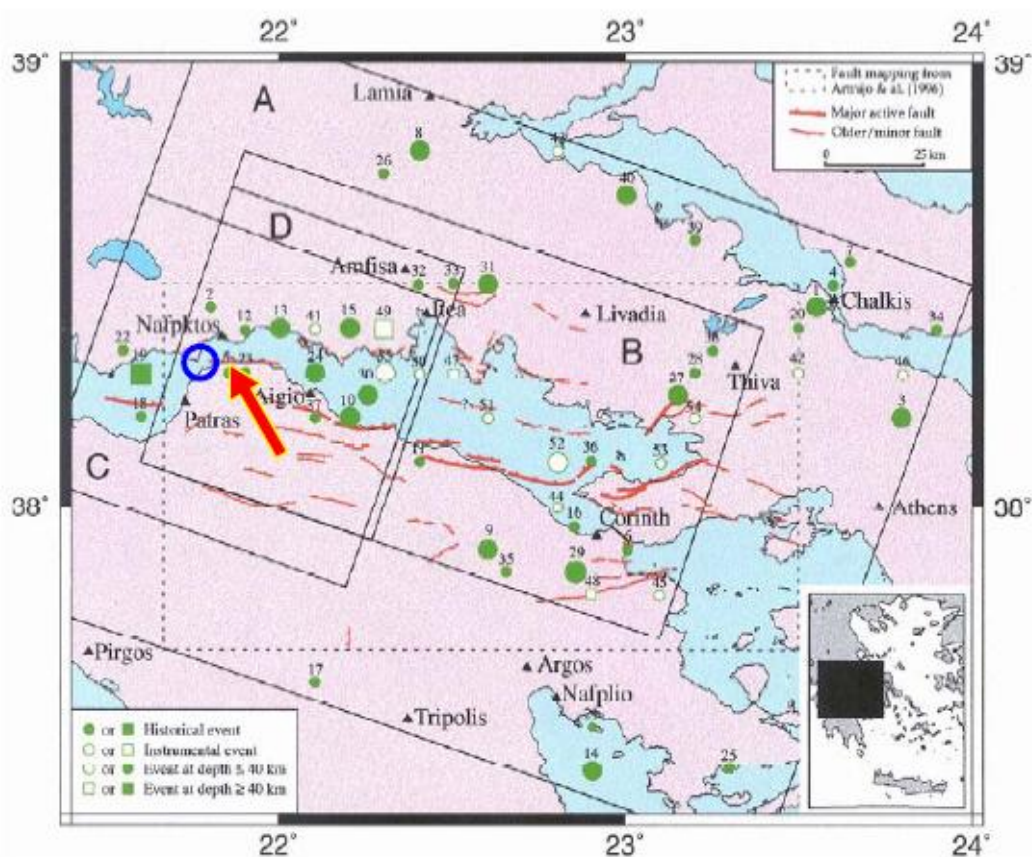
Οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθορίζονται από τρία μεγάλα πιθανά γεγονότα που ενδέχεται να συμβούν κατά τη διάρκεια της ζωής της γέφυρας: επιπτώσεις πλοίου σε μια κύρια προβλήτα γέφυρας, εμφάνιση μεγάλου σεισμού κοντά στη γέφυρα, μακροχρόνιες τεκτονικές κινήσεις [68].

➤ Επίπτωση πλοίου

Ο κίνδυνος που αντιπροσωπεύει αυτή η πρόσκρουση αντιστοιχεί σε 160.000 Mg δεξαμενόπλοιο που χτυπάει μια προβλήτα με ταχύτητα 16 κόμβων (8,2 m/s). Αυτή η πρόσκρουση προκαλεί μια οριζόντια δύναμη διάτμησης 480 MN που ενεργεί στα 70 m πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης. στο επίπεδο θεμελίωσης οι αντίστοιχες δυνάμεις είναι: δύναμη διάτμησης 480 MN και ροπή ανατροπής 34 000 MNm.

➤ **Εκδήλωση γη:**

Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν δοθεί τα τελευταία 35 χρόνια παρουσιάζεται διαθεσιμότητα για τα 6,5 στην κλίμακα Ρίχτερ στον Κόλπο της Κορίνθου. Στο Σχήμα 28 διακρίνεται η σεισμική δραστηριότητα που παρουσιάζεται στην τοποθεσία της Γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου καθώς επίσης και στις γύρω περιοχές.



Σχήμα 28: Τοποθεσίες μεγάλων σεισμών [68].

➤ **Τεχνικές κινήσεις**

Η σεισμική απειλή προκύπτει από την προϊστορική μετατόπιση στον φλοιό της γης που μετατόπισε την Πελοπόννησο από την ηπειρωτική Ελλάδα. Η χερσόνησος συνεχίζει να απομακρύνεται από την ηπειρωτική χώρα κατά μερικά χιλιοστά κάθε χρόνο. Ως αποτέλεσμα, η γέφυρα πρέπει να φιλοξενήσει διαφορετική τεκτονική μετατόπιση 2 m προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και μεταξύ οποιωνδήποτε δύο προβλήτων.

6.4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ

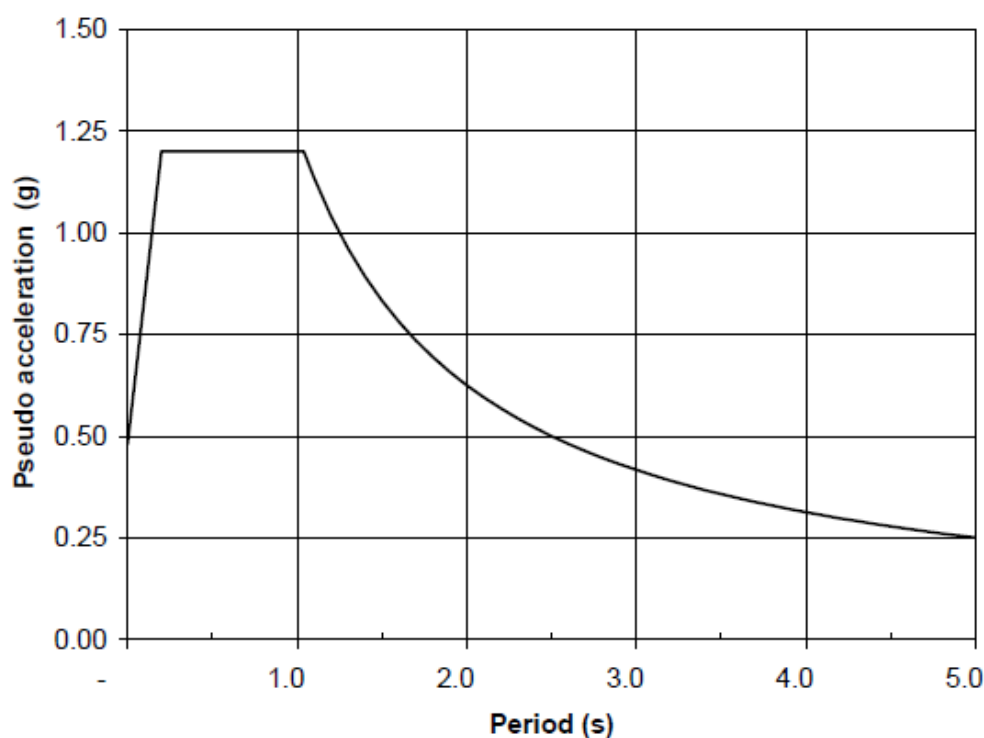
Πράγματι, η κατασκευή εκτείνεται σε μήκος νερού περίπου 2.500 m. Ο βυθός παρουσιάζει αρκετά απότομες πλαγιές σε κάθε πλευρά και ένα μακρύ οριζόντιο οροπέδιο σε βάθος 60 έως 70 m. Κατά τη διάρκεια ερευνών εδάφους σε βάθος 100 μέτρων δεν έχει συναντηθεί κανένα υπόστρωμα. Με βάση γεωλογικές μελέτες, πιστεύεται ότι το πάχος των ιζημάτων είναι μεγαλύτερο από 500 m [67].

Οι γενικές τάσεις που εντοπίζονται μέσω ερευνών του εδάφους είναι οι ακόλουθες [67]:

- Υπάρχει ένα στρώμα χωρίς συνοχή σε επίπεδο γραμμής λάσπης που αποτελείται από άμμο και χαλίκι σε πάχος 4 έως 7 m, εκτός από μία τοποθεσία (κοντά στην πλευρά του Αντιρρίου), όπου το πάχος του φτάνει τα 25 m.
- Κάτω από αυτό το στρώμα, το προφίλ του εδάφους, μάλλον ακανόνιστο και ετερογενές, παρουσιάζει στρώματα άμμου, αμμώδη άμμο και πηλό.
- Κάτω των 30 m, τα εδάφη είναι πιο ομοιογενή και αποτελούνται κυρίως από άργιλλους ή αργίλους αργίλους.

Σε αντίθεση με τις κύριες αποβάθρες γεφυρών, τα τμήματα των οδογέφυρων πρόσβασης δεν δημιούργησαν τεράστια δυσκολία για το σχεδιασμό. Τα θεμέλια των σωρών επιλέχθηκαν φυσικά και στις δύο ακτές. Λόγω της φύσης του εδάφους, η υγροποίηση δεν φάνηκε να αποτελεί πρόβλημα παρά μόνο στη βόρεια ακτή, όπου τα πρώτα 20 m είναι ευαίσθητα σε υγροποίηση [63],[64].

Δεδομένης της εγγύτητας της ακτής της θάλασσας, η ενεργοποίηση της υγροποίησης μπορεί να προκαλέσει σημαντική πλευρική εξάπλωση. Λόγω του μεγάλου όγκου του εδάφους και του πάχους των υγροποιήσιμων στρωμάτων, η βελτίωση του εδάφους δεν ήταν ρεαλιστική. Αποφασίστηκε λοιπόν να σχεδιαστούν οι σωροί κατά της πλευρικής εξάπλωσης. Οι δυνάμεις που επιβλήθηκαν στους πασσάλους εκτιμήθηκαν ότι είναι ισοδύναμες με πίεση 20 kN/m^2 [59],[60]. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαλύβδινους πασσάλους, διαμέτρου 2 m, πάχους 20 mm και μήκους άνω των 40 m. Επιπλέον, τα καλύμματα σωρού τοποθετούνται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους για να αποτρέπεται η μετάδοση στους σωρούς των δυνάμεων που προκαλούνται από παθητική αστοχία στην εμπρόσθια όψη της βάσης. Επιπλέον, οι σεισμικές συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη παρουσιάστηκαν με τη μορφή φάσματος απόκρισης σε επίπεδο βυθού (Σχήμα 29).



Σχήμα 29: Σχεδιασμός οριζόντιου φάσματος [68]

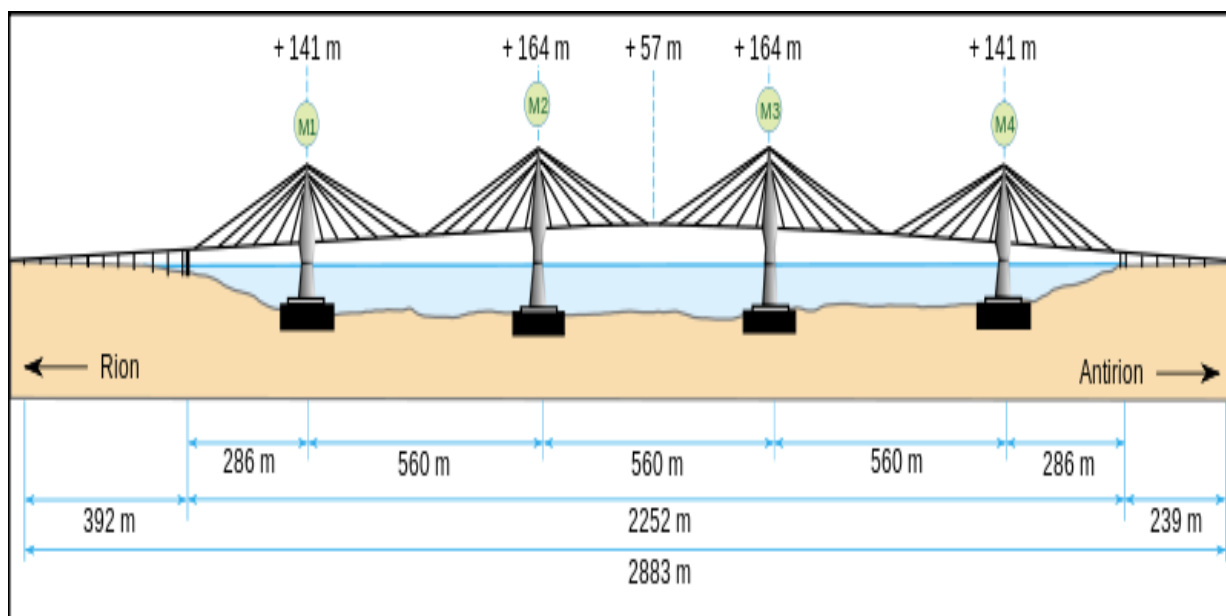
Η μέγιστη επιτάχυνση εδάφους είναι ίση με 0,48 g και η μέγιστη φασματική επιτάχυνση ισούται με 1,2 g μεταξύ 0,2 και 1,0 s. Αυτό το φάσμα υποτίθεται ότι αντιστοιχεί σε περίοδο επιστροφής 2000 ετών. Επιπλέον, με την Πελοπόννησο να απομακρύνεται από την ηπειρωτική Ελλάδα κατά μερικά χιλιστά το χρόνο, οι συμβατικές προδιαγραφές απαιτούσαν τη γέφυρα για να φιλοξενήσει πιθανές κινήσεις σφαλμάτων έως και 2 m προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, οριζόντια ή / και κάθετα, μεταξύ δύο παρακείμενων στηριγμάτων που θα μπορούσαν ταυτόχρονα να είναι το θέμα των μικρών κλίσεων λόγω της αντίστοιχης αναδιάταξης του βυθού κάτω από τα θεμέλια.

Τέλος, τα στηρίγματα της γέφυρας έπρεπε να είναι ικανά να αντέξουν την πρόσκρουση από ένα δεξαμενόπλοιο 180.000 dwt που πλέει στους 16 κόμβους. Σαφώς, αυτές οι συνθήκες τοποθεσίας θα έπρεπε να ευνοούσαν το σχεδιασμό μιας κρεμαστής γέφυρας, αλλά ένα μεγάλο πρόβλημα σταθερότητας πλαγιάς από την πλευρά του Αντιρρίου εξάλειψε μια τέτοια λύση από την αρχή του σχεδιαστικού σταδίου.

6.5. ΈΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Αντ' αυτού, ο τύπος της γέφυρας και τα μήκη της έκτασης έπρεπε να επιλεγούν για να καταστεί απλώς εφικτή η γέφυρα και το συνολικό κόστος του έργου αποδεκτό περιορίζοντας

τον αριθμό των στηριγμάτων που βρίσκονται στο στενό και, τέλος, μια εξαιρετική γέφυρα καλωδίου φτιαγμένο από τρία κεντρικά ανοίγματα μήκους 560 m και δύο πλευρικών διαστάσεων 286 m [56].



Σχήμα 30: Διαστάσεις γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [66]

Φυσικά, η θεμελίωση οποιασδήποτε στήριξης κάτω από 60 μέτρα νερού ήταν ένα σημαντικό σημείο ανησυχίας:

- Καθώς η σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή είναι σοβαρή, είναι σαφές ότι ένας σεισμός θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε υψηλές δυνάμεις αλληλεπίδρασης της δομής του εδάφους σε οποιαδήποτε θέση στήριξης της γέφυρας.
- Καθώς αυτές οι υψηλές δυνάμεις πρέπει να αντισταθούν από αδύναμα στρώματα εδάφους, δεν υπήρχε κανένας κλασικός τύπος θεμελίωσης.

6.5.1. ΘΕΜΕΛΙΑ ΓΕΦΥΡΑΣ

Κατά τη διάρκεια του σχεδιαστικού σταδίου φαίνεται ότι ο σχεδιασμός των θεμελίων θα είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Από τη μία πλευρά, οι δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες χωρίς ικανό στρώμα σε ρηχό βάθος, το μεγάλο βάθος νερού, τυπικά βάθη που συναντώνται σήμερα στην υπεράκτια μηχανική και το υψηλό σεισμικό περιβάλλον αντιπροσωπεύουν έναν συνδυασμό απαιτητικών εργασιών. Συνειδητοποιήθηκε επίσης ότι η ζήτηση για σεισμό θα διέπει την έννοια και τη διάσταση των θεμελίων. Από την άλλη πλευρά, ο προβλεπόμενος χρόνος για το σχεδιασμό αποδείχθηκε βασικός παράγοντας: χάρη στον εργολάβο που αποφάσισε να προβλέψει τις δυσκολίες, οι μελέτες σχεδιασμού ξεκίνησαν ένα χρόνο πριν από την επίσημη ημερομηνία έναρξης ισχύος. Πλεονέκτημα αυτού του χρονικού διαστήματος για

την πλήρη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων θεμελίωσης, την ανάπτυξη και την επικύρωση της καινοτόμου ιδέας που τέθηκε τελικά σε εφαρμογή [67],[68].

Ο χρόνος που αφιερώθηκε αρχικά για την ανάπτυξη της βασικής ιδέας σχεδιασμού ήταν αξιόλογος και είχε ως αποτέλεσμα μια σημαντική εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος. Επιπλέον, η στενή συνεργασία που υπήρχε από την αρχή στην ομάδα σχεδιασμού μεταξύ δομικών και γεωτεχνικών μηχανικών, μεταξύ της ομάδας σχεδιασμού και της ομάδας κατασκευής από τη μία πλευρά, και μεταξύ της ομάδας σχεδιασμού και του ελεγκτή σχεδιασμού από την άλλη πλευρά, ήταν ένα κλειδί στην επιτυχία.

Μετά από προσεκτική εξέταση όλων των περιβαλλοντικών παραγόντων που αναφέρονται παραπάνω, δεν φαίνεται να κυριαρχεί καμία λύση. Διερευνήθηκαν αρκετές λύσεις:

- Θεμελιωμένο θεμέλιο
- Θεμέλιο υδατοστεγές
- Θεμέλιο επιφανείας.

Οι σωροί εγκαταλείφθηκαν γρήγορα για δύο λόγους: τη δυσκολία να συνειδητοποιήσουμε τη δομική σύνδεση μεταξύ της πλάκας και των πασσάλων σε βαθύ νερό, και την μάλλον κακή συμπεριφορά των πλωτών σωρών σε σεισμικές περιοχές, όπως παρατηρήθηκε στην πόλη του Μεξικού κατά τη διάρκεια του σεισμού του 1985 στο Michoacan. Τα υδατοστεγές θεμέλια (Caissons) ήταν επικίνδυνα λόγω της παρουσίας ενός χαλικιού στρώματος στην επιφάνεια του εδάφους, το οποίο μπορεί να προκαλέσει κάποιες δυσκολίες κατά τη διεύθυνση του θεμελίου.

Η επιφανειακή θεμελίωση ήταν σαφώς αδύνατη ενόψει της κακής ικανότητας θεμελίωσης και των υψηλών αναμενόμενων οικισμών. Ωστόσο, συνειδητοποιήθηκε γρήγορα ότι η επιφανειακή θεμελίωση ήταν η μόνη βιώσιμη εναλλακτική από την κατασκευαστική άποψη: τεχνικές κατασκευής που χρησιμοποιούνται για κατασκευές βάσης υπεράκτιων βαρύτητας είναι καλά αποδεδειγμένες και θα μπορούσαν εύκολα να εφαρμοστούν για τη Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου. Το πρόβλημα που τίθεται από τις κακές εδαφικές συνθήκες δεν έχει ακόμη επιλυθεί. Απαιτείται βελτίωση του εδάφους προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής φέρουσα ικανότητα και περιορισμός των οικισμών σε αποδεκτές τιμές για την υπερκατασκευή.

Αρκετές τεχνικές εξετάστηκαν από τη βυθοκόρηση του εδάφους και τη συμπλήρωση του εδάφους (υποκατάσταση εδάφους), έως την επί τόπου επεξεργασία με κολόνες από πέτρα, κολόνες με πέτρα, στήλες ασβέστη. Η ανάγκη για σημαντική υψηλή αντοχή στη διάτμηση του βελτιωμένου εδάφους και για έλεγχο καλής ποιότητας της επιτευχθείσας επεξεργασίας οδήγησε στη χρήση οδηγημένων χαλύβδινων σωλήνων, μιας τεχνικής που προέρχεται από υπεράκτια μηχανική, για την ενίσχυση του εδάφους κάτω από τα θεμέλια. Για να αποφευχθεί οποιαδήποτε σύγκυση με θεμέλια πασσάλων, που συμπεριφέρονται διαφορετικά από τους χαλύβδινους σωλήνες, αυτά ονομάζονται εγκλείσματα.

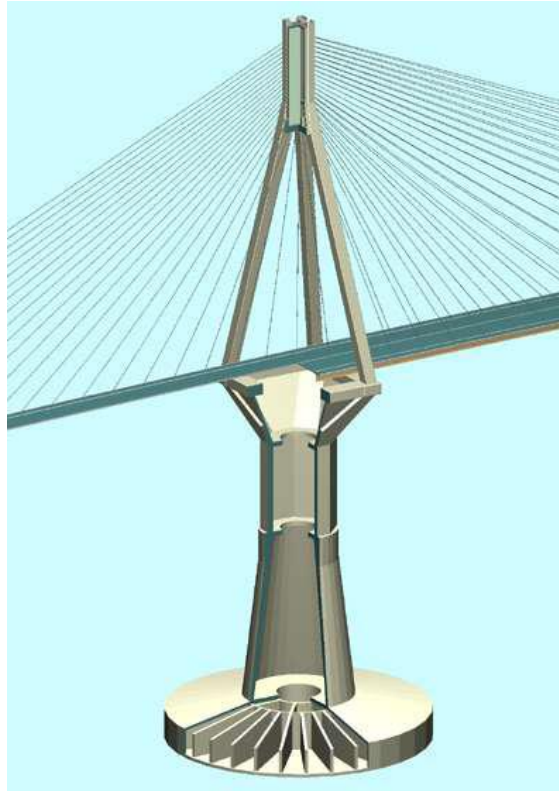
Προκειμένου να ανακουφιστεί η πιθανή ζημιά στη δομή λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών και να μεταφερθούν οι μεγάλες σεισμικές δυνάμεις που έφεραν στο ίδρυμα (δύναμη διάτμησης της τάξης των 500 MN και ροπή ανατροπής της τάξης των 18.000 MNm για κάθετη προβλήτα βάρους 750 MN), η πρωτοποριακή σχεδιαστική ιδέα θεμελίωσης που τελικά υιοθετήθηκε αποτελείται από ένα βαρύ κιβώτιο (διαμέτρου 90 m στο

επίπεδο του πυθμένα της θάλασσας) που ακουμπά στην κορυφή του ενισχυμένου φυσικού εδάφους [65].

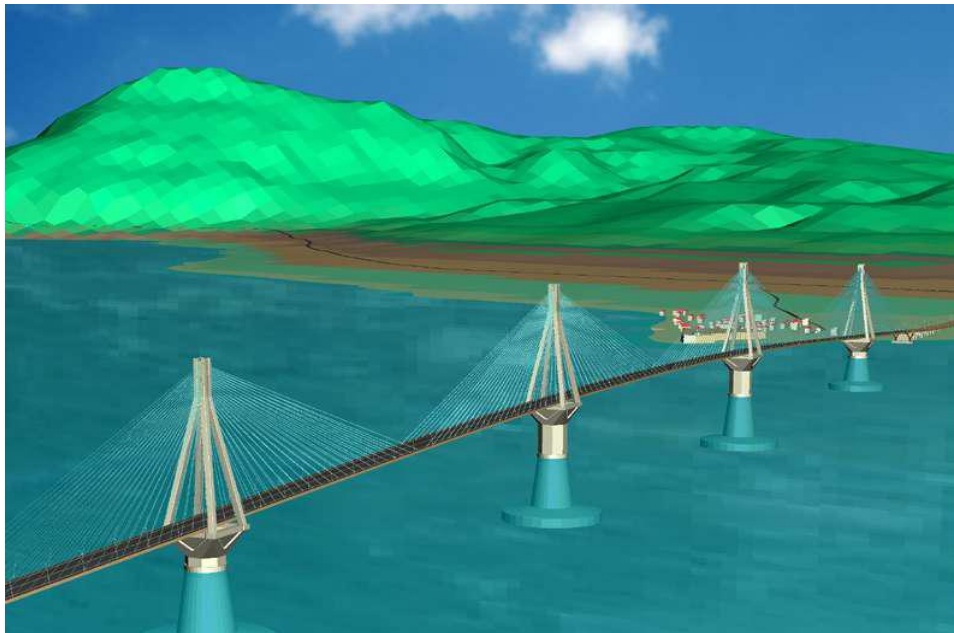
Όπως έχει προαναφερθεί ο οπλισμός εδάφους αποτελείται από χαλύβδινους σωληνοειδείς σωλήνες, διαμέτρου 2 m, πάχους 20 mm, μήκους 25 έως 30 m που κινούνται σε πλέγμα 7 m x 7 m κάτω και έξω από το θεμέλιο που καλύπτει ένα κυκλικό εμβαδόν περίπου 8.000 m². Ο συνολικός αριθμός εγκλεισμάτων σε κάθε θεμέλιο είναι επομένως της τάξης των 150 έως 200 [62]. Επιπλέον, η ασφάλεια του θεμελίου ενισχύεται σε μεγάλο βαθμό με την τοποθέτηση ενός στρώματος χαλικιού στρώματος, πάχους 2,8 m, πάνω από τα εγκλείσματα ακριβώς κάτω από τη σχεδίαση βάσης χωρίς δομική σύνδεση μεταξύ της σχεδίας και των κεφαλών εγκλεισμού. Το σχήμα ενίσχυσης εφαρμόζεται σε τρεις από τις τέσσερις προβλήτες: M1, M2 και M3. Κάτω από την προβλήτα M4, η οποία στηρίζεται σε στρώμα χαλικιού πάχους 20 μέτρων, δεν απαιτείται ενίσχυση του εδάφους και το κιβώτιο στηρίζεται απευθείας σε στρώμα έρματος πάχους 1 m χωρίς εγκλείσματα.

Η ιδέα (συμπερίληψη και στρώμα χαλικιού) επιβάλλει μια φιλοσοφία σχεδιασμού χωρητικότητας στον σχεδιασμό θεμελίωσης [62]. Το στρώμα χαλικιού είναι ισοδύναμο με τον «πλαστικό μεντεσέ» όπου λαμβάνει χώρα ανελαστική παραμόρφωση και διασκεδασμός και το «υπερβολικό μήκος» παρέχεται από την ενίσχυση του εδάφους, η οποία εμποδίζει την ανάπτυξη μηχανισμών βλάβης βαθιάς έδρας που περιλαμβάνουν τρόπους περιστροφικής αστοχίας της βάσης. Αυτοί οι τρόποι περιστροφικής αστοχίας θα ήταν πολύ επιζήμιοι για τον πυλώνα υψηλής ανύψωσης (230 m). Εάν ξεπεραστούν οι σεισμικές δυνάμεις του σχεδιασμού, η λειτουργία «αποτυχίας» θα ήταν καθαρή ολίσθηση στη διεπαφή θεμελίωσης με χαλίκι. Αυτός ο «μηχανισμός αστοχίας» μπορεί να καλυφθεί από τη γέφυρα, η οποία έχει σχεδιαστεί για πολύ μεγαλύτερες τεκτονικές μετατοπίσεις από τις μόνιμες σεισμικά επαγόμενες. Η ιδέα είναι επίσης κάπως παρόμοια με ένα σύστημα απομόνωσης βάσης με περιορισμό των δυνάμεων που μεταδίδονται στην υπερκατασκευή όποτε συμβαίνει ολίσθηση.

Ωστόσο, και οι τέσσερις πυλώνες της κύριας γέφυρας στηρίζονται απλώς στον βυθό μέσω μιας μεγάλης βάσης από σκυρόδεμα, διαμέτρου 90 m, ύψους 65m στην πιο βαθιά θέση. Για την παροχή επαρκούς αντοχής σε διάτμηση στα 20 m εδάφη, τα οποία είναι μάλλον ετερογενή και με χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, το ανώτερο στρώμα εδάφους του βυθού ενισχύεται με εγκλείσματα για να αντιστέκεται σε μεγάλες δομικές δυνάμεις αδράνειας και υδροδυναμικές πιέσεις νερού [68].

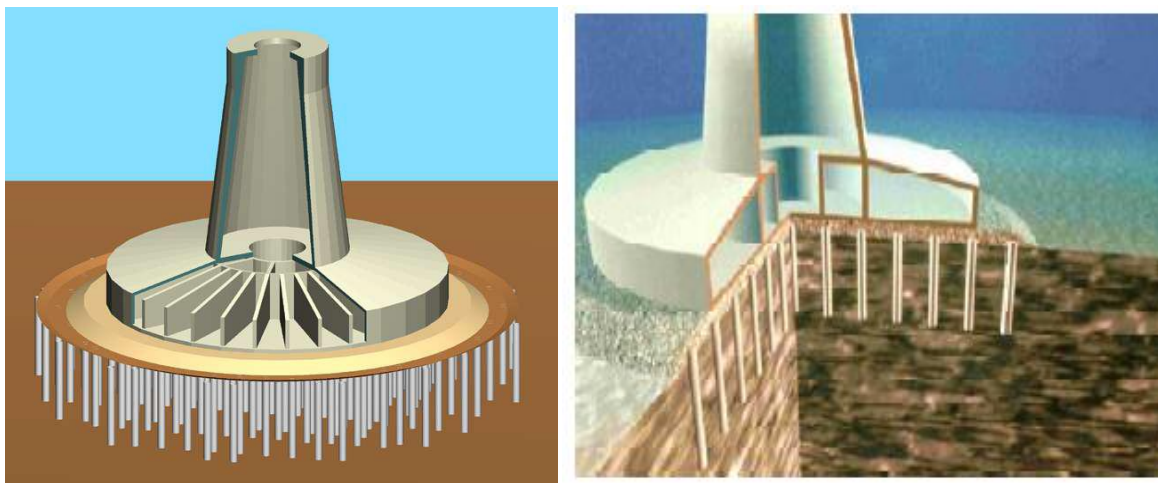


Σχήμα 31: Πυλώνας γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [68]



Σχήμα 32: Προβολή CAD των ρηχών βάσεων της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [56]

Αυτά τα εγκλείσματα είναι κοίλοι χαλύβδινοι σωλήνες, μήκους 25 έως 30 m, διαμέτρου 2 m, που οδηγούνται στο ανώτερο στρώμα σε κανονική απόσταση 7 έως 8 m (ανάλογα με την προβλήτα).



Σχήμα 33: Προβολή CAD συμπερίληψη ενίσχυσης του εδάφους της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [56]

Περίπου 150 έως 200 σωλήνες κινούνταν σε κάθε θέση προβλήτας. Επικαλύπτονται από στρώμα χαλκιού πάχους 3 m, στο οποίο στηρίζονται τα θεμέλια. Λόγω της παρουσίας ενός παχιά στρώματος χαλκιού, αυτά τα εγκλείσματα δεν απαιτούνται κάτω από έναν πυλώνα.

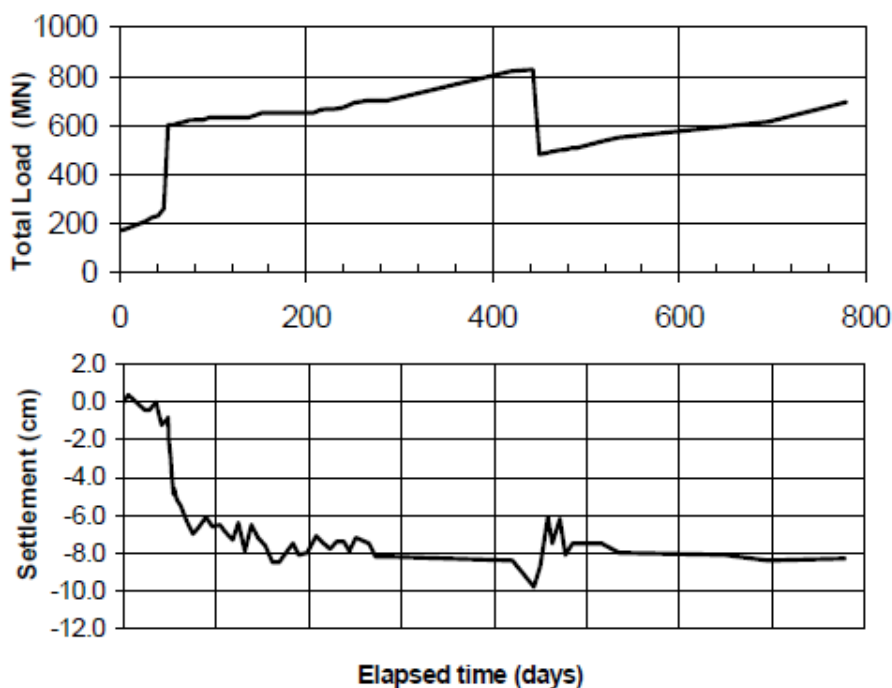
Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η σχεδίαση των θεμελίων βασίστηκε στα στατικά φορτία (νεκρά φορτία, ζωντανά φορτία και τεκτονικές διαφορικές κινήσεις) και σε σχέση με δυναμικά φορτία (πρόσκρουση πλοίου και σεισμός). Όσον αφορά τα στατικά φορτία, το κύριο ζήτημα είναι η αξιολόγηση των οικισμών: απόλυτος διακανονισμός και διαφορικοί οικισμοί που προκαλούν κλίση, στον οποίο ο πυλώνας ύψους 230 m είναι πολύ ευαίσθητος. Όσον αφορά τα σεισμικά φορτία, πρέπει να λυθούν πολλά προβλήματα: αξιολόγηση της σεισμικής ζήτησης, δηλαδή οι δυνάμεις που μεταδίδονται στο θεμέλιο κατά τη διάρκεια σεισμού, και έλεγχος της χωρητικότητας θεμελίωσης, δηλαδή υπολογισμός της τελικής φέρουσας ικανότητας και μόνιμες μετακινήσεις που προκαλούνται από σεισμό.

➤ Στατικά φορτία

Η άμεση διευθέτηση του ιδρύματος δεν αποτελεί μείζονα ανησυχία, καθώς περίπου το 80% του συνολικού μόνιμου φορτίου (750 MN) μεταφέρεται από την προβλήτα κάτω από το επίπεδο του καταστρώματος. Σημαντικότεροι είναι οι οικισμοί ενοποίησης των πήλινων στρωμάτων που προκαλούν διαφορετικούς οικισμούς. Οι οικισμοί υπολογίζονται με την κλασική θεωρία ενοποίησης διαστάσεων αλλά η κατανομή του στρες στο έδαφος υπολογίζεται από μια τρισδιάστατη ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων στην οποία μοντελοποιούνται τα εγκλείσματα. Βρέθηκε ότι το συνολικό φορτίο μοιράζεται μεταξύ των εγγραφών για περίπου 35 έως 45% και του εδάφους για το υπόλοιπο 55 έως 65%.

Ο μέσος συνολικός οικισμός κυμαίνεται από 17 cm έως 28 cm για τις αποβάθρες M1 έως M3. Για την προβλήτα M4 ο υπολογισμένος οικισμός είναι πολύ μικρότερος, της τάξης των 2cm. Οι αριθμοί που δίνονται παραπάνω είναι οι μέγιστοι οικισμοί που προβλέπονται πριν από την κατασκευή. Υπολογίστηκαν με τα πιο συντηρητικά χαρακτηριστικά του εδάφους, αγνοώντας για παράδειγμα το ελαφρύ υπερσύνδεση των άνω στρωμάτων. Οι διακανονισμοί ενοποίησης εκτιμήθηκαν ότι διαρκούν 6 έως 8 μήνες μετά την ολοκλήρωση της αποβάθρας. Οι διαφορικές διευθετήσεις αξιολογούνται με βάση τη χωρική μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών συμπίεστότητας που αξιολογούνται από τη μεταβλητότητα των αντιστάσεων κώνου σημείου. Οι υπολογισμένες κλίσεις θεμελίωσης κυμαίνονται από $7 \cdot 10^{-4}$ έως $1.8 \cdot 10^{-3}$ ακτίνια, μικρότερα από εκείνα που θα είχαν υπολογιστεί χωρίς εγκλείσματα: τα εγκλείσματα ομογενοποιούν τις ιδιότητες του εδάφους στα 25 m και μεταφέρουν μέρος των φορτίων στο βαθύτερο, πιο άκαμπτο, στρώματα. Αν και τα προηγούμενα στοιχεία ήταν αποδεκτά, αποφασίστηκε, προκειμένου να αυξηθεί η ασφάλεια της κατασκευής, να προφορτωθεί η προβλήτα κατά την κατασκευή.

Αυτή η προφόρτιση επιτεύχθηκε με πλήρωση του κεντρικού τμήματος της προβλήτας κώνου με νερό κατά τη διάρκεια της κατασκευής σε συνολικό βάρος ελαφρώς μεγαλύτερο από το βάρος του τελικού προβλήτα. Το Deballasting πραγματοποιήθηκε καθώς προχωρούσε η κατασκευή, διατηρώντας το συνολικό βάρος περίπου στην τελική του τιμή. Το ευεργετικό αποτέλεσμα αυτής της προφόρτισης είναι άμεσα εμφανές στο Σχήμα 34, το οποίο δείχνει τον καταγεγραμμένο διακανονισμό και το εφαρμοζόμενο φορτίο έναντι του χρόνου κατά την κατασκευή. Ο τελικός διακανονισμός ανέρχεται σε 8 cm σε σύγκριση με 22 cm που αναμενόταν αρχικά και σημειώθηκε πιο γρήγορα. Αυτό είναι σαφώς ένα ευεργετικό αποτέλεσμα της υπερσυγκέντρωσης, όπως έχουν δείξει οι πίσω υπολογισμοί. Το πιο σημαντικό είναι ότι οι κλίσεις θεμελίωσης είναι σχεδόν αμελητέες, λιγότερο από $3 \cdot 10^{-4}$.



Σχήμα 34: Τακτοποίηση έναντι χρόνου - Προβλήτα M3[68]

➤ Σεισμικά φόρτια

Η αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς του ιδρύματος απαιτεί τον υπολογισμό της σεισμικής ζήτησης και της σεισμικής ικανότητας. Ωστόσο, όπως για κάθε σεισμικό σχεδιασμό, είναι σημαντικό να ορίσετε πρώτα την απαιτούμενη απόδοση της κατασκευής. Για τη γέφυρα Ρίου-Αντιρίου, αυτό το κριτήριο απόδοσης αναφέρθηκε σαφώς στις τεχνικές προδιαγραφές: "Η απόδοση θεμελίωσης υπό σεισμική φόρτωση ελέγχεται βάσει των αποδεκτών μετατοπίσεων και περιστροφών που είναι αποδεκτές για τη διασφάλιση της επαναχρησιμοποίησης της γέφυρας μετά το σεισμικό συμβάν". Με άλλα λόγια, είναι αποδεκτό ότι το ίδρυμα βιώνει μόνιμους εκτοπισμούς μετά από σεισμικό συμβάν, υπό την προϋπόθεση ότι οι επαγόμενοι εκτοπισμοί παραμένουν περιορισμένοι και δεν εμποδίζουν τη μελλοντική χρήση της γέφυρας. Πλήρες πλεονέκτημα αυτού του δικαιώματος ελήφθη στον ορισμό της σχεδιαστικής ιδέας: η ολίσθηση της προβλήτας στο στρώμα χαλικιού είναι δυνατή (και ανεκτή), αλλά ο τρόπος περιστροφής των βλαβών αποτρέπεται (και απαγορεύεται).

➤ Σεισμική ικανότητα

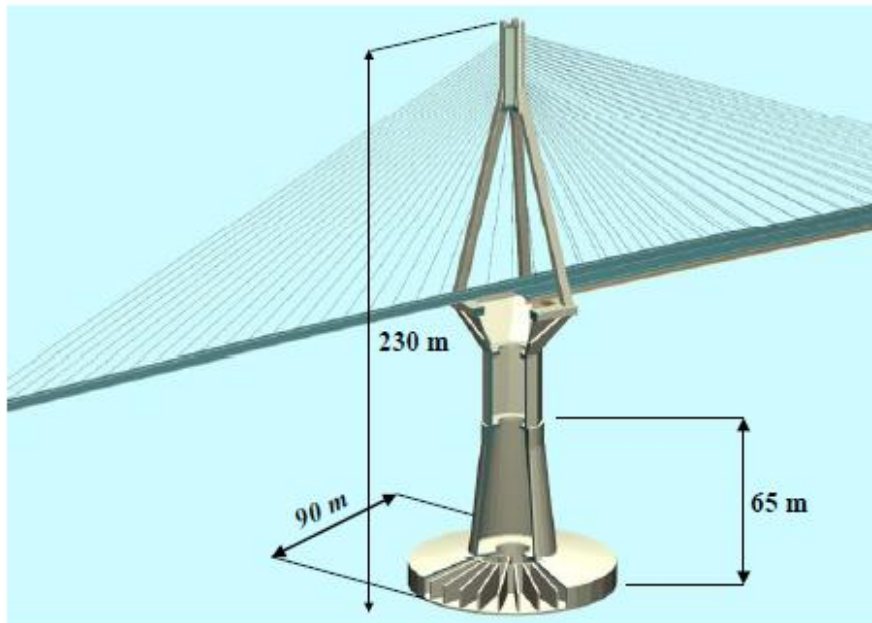
Λόγω της καινοτόμου ιδέας και επομένως της έλλειψης προτεραιότητας σε σεισμικές περιοχές, η αιτιολόγησή της απαιτεί την ανάπτυξη νέων εργαλείων σχεδιασμού και εκτεταμένη επικύρωση. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε μια πολύ αποτελεσματική διαδικασία τριών σταδίων:

- Ανάπτυξη εργαλείων σχεδίασης με βάση μια θεωρία ανάλυσης ορίου για την εκτίμηση της απόλυτης χωρητικότητας του συστήματος θεμελίωσης και για τον καθορισμό της διάταξης εγκλεισμάτων: μήκος και απόσταση. Όπως οποιαδήποτε μέθοδο ανάλυσης ορίου, αυτό το εργαλείο δεν μπορεί να δώσει καμία ένδειξη σχετικά με τις προκαλούμενες μετακινήσεις και περιστροφές.
- Επαλήθευση της τελικής διάταξης με μη γραμμική ανάλυση δύο ή τριών διαστάσεων πεπερασμένων στοιχείων. Αυτές οι αναλύσεις παρέχουν όχι μόνο έλεγχο της τελικής χωρητικότητας, αλλά και τη συμπεριφορά μη γραμμικής καταπόνησης τάσης του ιδρύματος που θα συμπεριληφθεί στο δομικό μοντέλο για τους σεισμικούς υπολογισμούς της γέφυρας.
- Πειραματική επαλήθευση των εργαλείων σχεδιασμού που αναπτύχθηκαν στο βήμα 1 με δοκιμές μοντέλου φυγοκέντρησης.

Οι τρεις προσεγγίσεις δίνουν αποτελέσματα που βρίσκονται σε απόσταση $\pm 15\%$ η μία από την άλλη, γεγονός που αυξάνει την εμπιστοσύνη στις αναλύσεις που πραγματοποιούνται για το σχεδιασμό. Οποιοδήποτε σύνολο φορτίων που βρίσκεται εντός της οριακής επιφάνειας μπορεί να υποστηριχθεί με ασφάλεια από το θεμέλιο, ενώ οποιοδήποτε σύνολο που βρίσκεται έξω αντιστοιχεί σε μια μη ασφαλή κατάσταση, τουλάχιστον για μόνιμα επιβαλλόμενα φορτία.

6.5.2. ΠΥΛΩΝΕΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Οι βάσεις του πυλώνα αποτελούνται από πλάκα πάχους 1 m και 32 περιφερειακά κελιά που περικλείονται σε ένα περίμετρο ύψους 9 μ. Για την πιο βαθιά προβλήτα, αυτός ο κώνος, διαμέτρου 38m στο κάτω μέρος, 27 m στην κορυφή, ανεβαίνει 65m πάνω από το χαλίκι έως 3 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



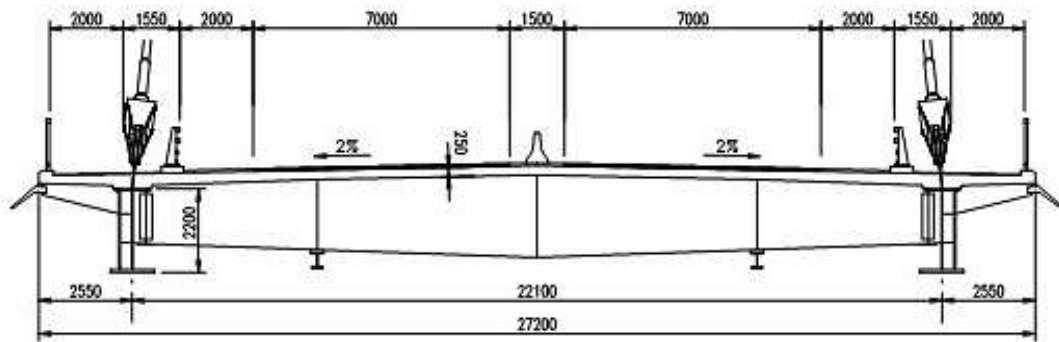
Σχήμα 35: Πυλώνας της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [56]

Αυτές οι τεράστιες βάσεις υποστηρίζουν, μέσω κατακόρυφων οκταγωνικών πυλώνων, πλάτους 24 m και ύψους σχεδόν 29 m, πυραμιδικής κεφαλής ύψους 15,8 m που απλώνεται σχηματίζοντας την τετραγωνική βάση πλάτους 40,5 m. Άκαμπτα ενσωματωμένα στην πρωτεύουσα για να σχηματίσουν μια μονολιθική δομή, τα τέσσερα πόδια (4,00 m x 4,00 m), κατασκευασμένα από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, έχουν ύψος 78 m, συγκλίνουν στις κορυφές τους για να προσδώσουν την απαραίτητη ακαμψία για την υποστήριξη ασύμμετρων φορτίων υπηρεσίας και σεισμικών δυνάμεων. Αποτελούνται από κεφαλή πυλώνα, ύψους 35 μέτρων, που περιλαμβάνει χαλύβδινο πυρήνα ενσωματωμένο σε δύο τοίχους από μπετόν, όπου τα καλώδια παραμονής είναι αγκυρωμένα. Από τον πυθμένα της θάλασσας έως την κορυφή του πυλώνα, οι πυλώνες έχουν ύψος έως και 230 m [56].

6.5.3. ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΕΦΥΡΑΣ

Το κατάστρωμα είναι μια σύνθετη δομή από χάλυβα-σκυρόδεμα, πλάτους 27,20 m, κατασκευασμένο από πλάκα από σκυρόδεμα, πάχους 25 έως 35 cm, συνδεδεμένο με

δίδυμους διαμήκους δοκούς Ι χάλυβα, ύψους 2,20 m, που στηρίζεται κάθε 4m με εγκάρσιες διασταυρούμενες δοκούς (Σχήμα 36 και Σχήμα 37).

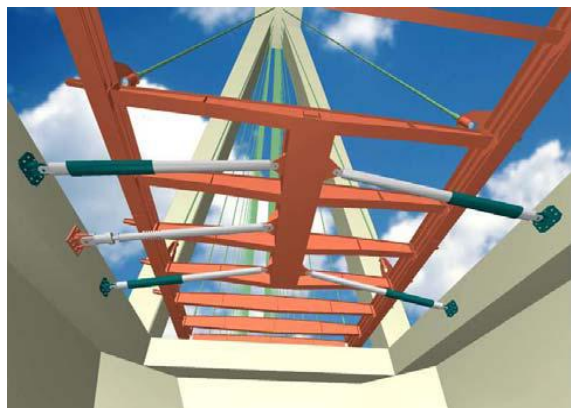


Σχήμα 36: Τυπική διατομή καταστρώματος της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [56]

Αναρτάται πλήρως από 8 σετ των 23 ζευγαριών καλωδίων και συνεχίζεται σε όλο το μήκος των 2.252 m, με αρμούς διαστολής και στα δύο άκρα.



(α)



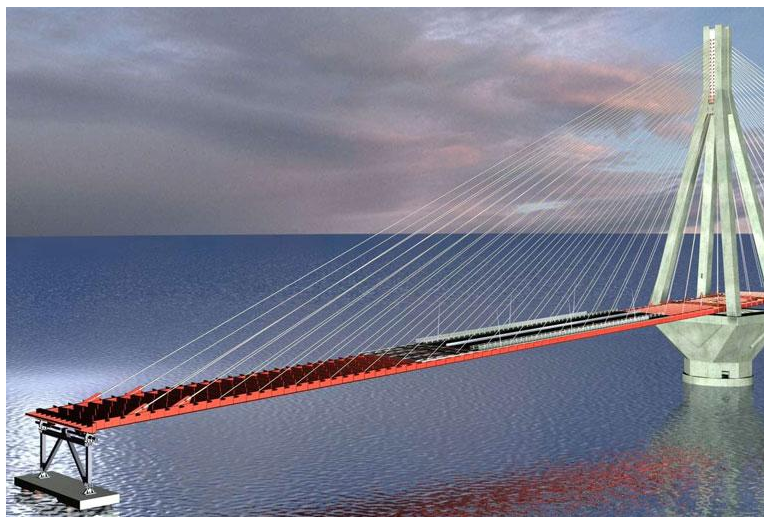
(β)



(γ)

Σχήμα 37: α,γ) Πλήρως ανασταλμένο κατάστρωμα, β) σύνδεση με τους πυλώνες της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [56]

Στη διαμήκη κατεύθυνση, το κατάστρωμα είναι ελεύθερο να φιλοξενήσει όλες τις θερμικές και τεκτονικές κινήσεις και οι αρμοί έχουν σχεδιαστεί για να φιλοξενούν μετακινήσεις 2,5 m υπό συνθήκες συντήρησης και κινήσεις έως 5,0 m κάτω από ένα ακραίο σεισμικό συμβάν. Κατά την εγκάρσια κατεύθυνση συνδέεται σε κάθε πυλώνα με 4 υδραυλικούς αποσβεστήρες χωρητικότητας 3.500 KN έκαστος και οριζόντιο μεταλλικό στήριγμα χωρητικότητας 10.000 KN. Τα καλώδια παραμονής διατάσσονται σε δύο κεκλιμένα επίπεδα σύμφωνα με το σχήμα του ημι-ανεμιστήρα. Είναι κατασκευασμένα από 43 έως 73 παράλληλους γαλβανισμένους κλώνους που προστατεύονται ατομικά.



Σχήμα 38: Πλήρως ανασταλμένο κατάστρωμα, και σύνδεση με τους πυλώνες της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου [56]

6.6. ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΦΥΡΑΣ

Αρχικά, οι τεράστιες βάσεις πυλώνα στήριζαν, μέσω ενός εξελιγμένου σετ συσκευών ρουλεμάν, τενόντων PT και ισχυρών αποσβεστήρων ελατηρίου, ένα τσιμεντένιο μπλοκ που αποτελούσε μέρος του καταστρώματος και η βάση των ποδιών από σκυρόδεμα συγκλόνισαν στην κορυφή των πυλώνων και τους έδιναν κατάλληλη ακαμψία (Σχήμα 39).

Το κατάστρωμα ήταν κατασκευασμένο από διπλούς προβολείς μήκους 510 m που υποστηρίζονται από τα καλώδια παραμονής αγκυρωμένα στην αντίστοιχη κεφαλή πυλώνα και κάθε προβολέας συνδέθηκε με το παρακείμενο ή με τις προσεγγίσεις με απλώς υποστηριζόμενο μήκος πτώσης 50 m. Αυτός θεωρήθηκε ότι είναι ο μόνος τρόπος για τη δομή να φιλοξενήσει εντυπωσιακές τεκτονικές κινήσεις. Όσο η υπογραφή του συμβολαίου καθυστέρησε οι τράπεζες και η γέφυρα ήταν πραγματικά μια τεράστια επιχείρηση, αποφασίστηκε να περάσει περίπου ένα έτος για να προχωρήσει σε εξελιγμένες παραμετρικές μελέτες με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ιδέας και της δομής.



Σχήμα 39: Αρχική ιδέα ασυνεχούς πυλώνα [56]

Είναι σαφές ότι ο σχεδιασμός της κύριας γέφυρας διέπεται κυρίως από την ικανότητα ολόκληρης της δομής να αντιστέκεται στα μεγάλα σεισμικά γεγονότα, συμπεριλαμβανομένης μιας πιθανής κίνησης σφαλμάτων, αλλά αυτό σήμαινε ότι η δομή έπρεπε πρώτα να σχεδιαστεί για να αντισταθεί σε ποιες θα είναι οι κύριες ενέργειες κατά τη διάρκεια της διάρκειας ζωής (δηλαδή για τα κλασικά κράτη ορίου εξυπηρέτησης και τις αντίστοιχες καταστάσεις Ultimate Limit) και ότι τα κύρια στοιχεία της δομής έπρεπε να προσαρμοστούν στη ζήτηση κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου σεισμού σχεδιασμού σε όρους αποδεκτής ζημιάς. Αυτός ήταν ο καλύτερος τρόπος για να αποκτήσετε την πιο ευέλικτη δομή και ως εκ τούτου την πιο ευνοϊκή ιδέα από την άποψη της σεισμικής συμπεριφοράς [56].

6.6.1. ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΕΛΑΦΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

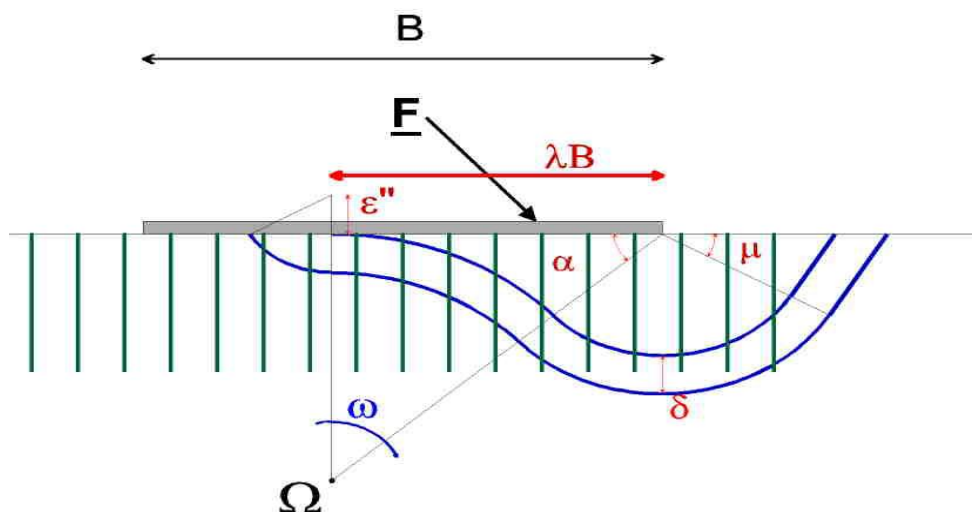
Τα θεμέλια είναι ένα τυπικό παράδειγμα ενός μεγάλου μέρους μιας δομής όπου η απόδοση της ιδέας έπρεπε να αξιολογηθεί μέσω της χωρητικότητας του εδάφους, για να αντισταθεί στην αλληλεπίδραση εδάφους-δομής κατά τη διάρκεια του γεγονότος του σεισμού και της ικανότητας της δομής να είναι το θέμα των εξαιρετικών μετατοπίσεων (που δημιουργούνται από την κίνηση του εδάφους) με ελεγχόμενη ζημιά που θεωρείται αποδεκτή.

Στην περίπτωση της κύριας γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου, τα θεμέλια της κατασκευής αποτελούνται από δύο ξεχωριστά μέρη:

- το ενισχυμένο χώμα, που είναι ένας σύνθετος τρισδιάστατος όγκος από πηλό-χάλυβα
- οι βάσεις πυλώνων, οι οποίες είναι άκαμπτα σώματα όχι υπόκεινται σε ασυνήθιστα προβλήματα αντοχής.

Αυτά τα μέρη κατασκευάζονται εν μέρει ανεξάρτητα μέσω του στρώματος χαλίκιου που σχεδιάστηκε για να μεταφέρει μια σειρά οριζόντιων δυνάμεων συμβατών με την αντοχή του ενισχυμένου εδάφους, την παγκόσμια σταθερότητα της δομής και αποδεκτές μόνιμες μετατοπίσεις των πυλώνων. Αν και τα θεμέλια μοιάζουν με συσσωρευμένα θεμέλια, δεν συμπεριφέρονται καθόλου ως τέτοια: δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των εγκλεισμάτων και των πυλώνων. Επομένως, οι βάσεις του πυλώνα επιτρέπεται να ανυψώνονται ή να γλιστρούν σε σχέση με το ενισχυμένο έδαφος.

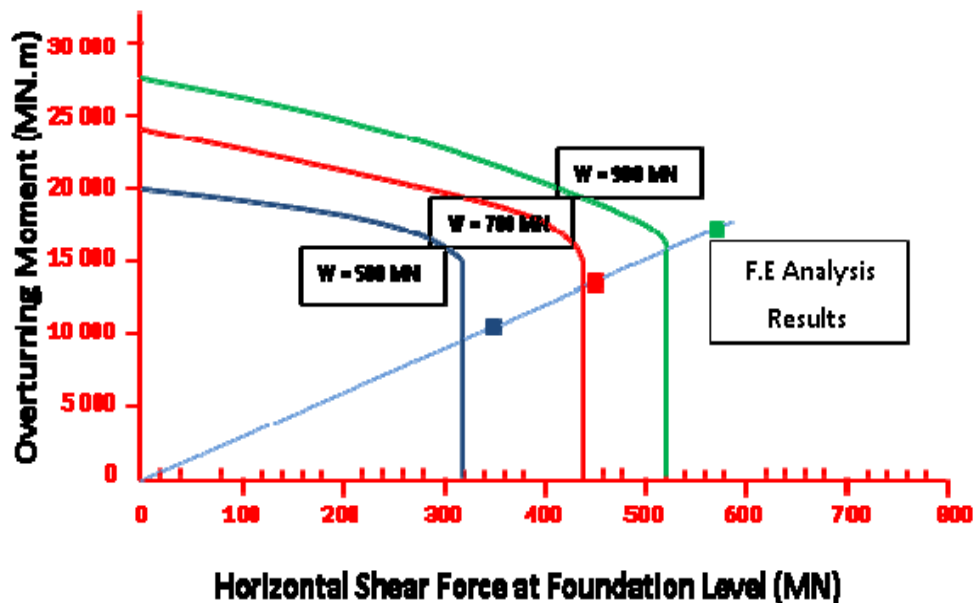
Η φιλοσοφία σχεδιασμού χωρητικότητας, που εισήχθη στη μηχανική θεμελίωσης για την αξιολόγηση της σεισμικής φέρουσας ικανότητας ρηχών θεμελίων μέσω της θεωρίας σχεδιασμού απόδοσης, επεκτάθηκε στη συνέχεια σε αυτήν την καινοτόμο ιδέα θεμελίωσης σε σεισμικές περιοχές [57]. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία σχεδιασμού απόδοσης, μέσω ενός συνόλου κατάλληλων κινηματικών μηχανισμών, ήταν δυνατή η εξαγωγή ενός ανώτατου ορίου εκτίμησης της συνολικής φέρουσας ικανότητας του ενισχυμένου εδάφους.



Σχήμα 40: Ενισχυμένο μοντέλο αστοχίας εδάφους - Κινηματικός μηχανισμός [57]

Για το σκοπό αυτό, το ενισχυμένο χώμα διαμορφώθηκε ως δισδιάστατο συνεχές που συνδέεται κατάλληλα με δοκούς που προσομοιώνουν τα άκαμπτα εγκλείσματα. Κατά συνέπεια, οι υπολογισμοί περιελάμβαναν τη συμβολή των συμπερασμάτων στη συνολική αντίσταση αυτής της νέας ιδέας. Η απλότητα τέτοιων υπολογισμών επέτρεψε τη βελτιστοποίηση του μεγέθους και της απόστασης των εγγραφών. Εκτελέστηκε ένα σύνολο δοκιμών φυγοκέντρησης για την επικύρωση της έννοιας και των θεωρητικών προσεγγίσεων. Αυτές οι προκαταρκτικές αναλύσεις της συμπεριφοράς του ενισχυμένου εδάφους και οι επακόλουθες βελτιώσεις αυτής της καινοτόμου ιδέας οδηγούν στην εγκατάλειψη του αρχικού στατικού σχήματος της κύριας γέφυρας και σίγουρα θα κινηθούν προς μια πολύ πιο

αποτελεσματική δομή με συνεχή πυλώνα (από πυθμένα θάλασσας έως κεφαλή πυλώνα) και ένα συνεχές κατάστρωμα ανασταλεί πλήρως και ως εκ τούτου απομονωμένο όσο θα μπορούσε. Αυτό κατέστησε επίσης δυνατή τη μείωση του βάθους του καταστρώματος και, ως εκ τούτου, οι επιπτώσεις του ανέμου στη γέφυρα.



Σχήμα 41: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης, ενισχυμένη αντίσταση εδάφους [57]

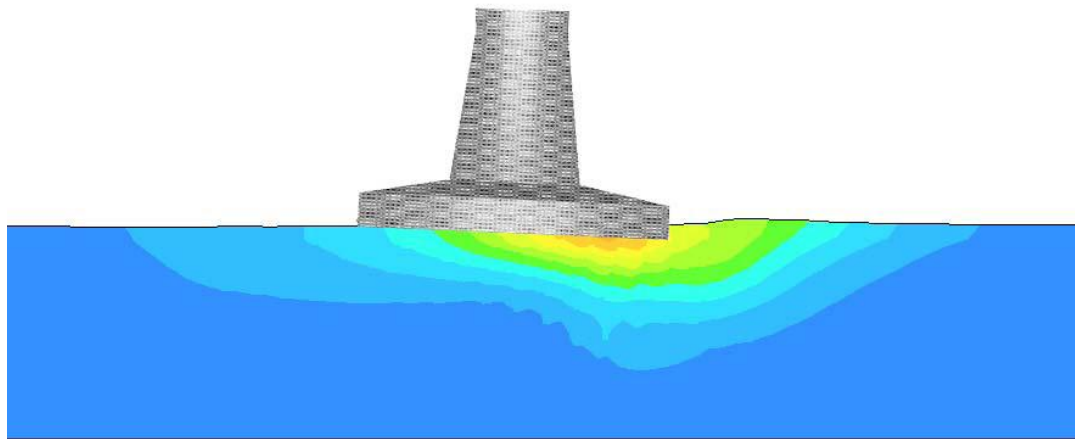
6.6.2. ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Θα μπορούσαν τότε να πραγματοποιηθούν μη γραμμικές αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων. Οδηγούν στους συστατικούς νόμους του ενισχυμένου εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν στους γενικούς υπολογισμούς της δομής.

Όλοι αυτοί οι υπολογισμοί, σε συνδυασμό επαρκώς με μια παγκόσμια δυναμική ανάλυση, επέτρεψαν να ελεγχθεί ότι η επίδραση του συζευγμένου στρώματος χαλικιού και της ενίσχυσης του εδάφους ήταν η βελτίωση της φέρουσας ικανότητας ολόκληρου του συστήματος θεμελίωσης ελέγχοντας ταυτόχρονα τη λειτουργία αστοχίας:

- Η ασφάλεια που παρέχεται από το στρώμα χαλικιού περιορίζει τη μέγιστη δύναμη διάτμησης στη διεπαφή, διαλύει την ενέργεια με ολίσθηση και αναγκάζει το θεμέλιο «να αποδώσει» σύμφωνα με έναν τρόπο που είναι συμβατός με μια αποδεκτή συμπεριφορά της δομής.
- Η άκαμπτη ενίσχυση της ένταξης αυξάνει την ικανότητα αντοχής του εδάφους για την εξάλειψη ανεπιθύμητων λειτουργιών αστοχίας, όπως η περιστροφική αστοχία που θα θέσει σε κίνδυνο επικίνδυνα την παγκόσμια σταθερότητα της δομής και διαλύει μια

σημαντική ποσότητα ενέργειας όπως θα μπορούσε να αναμένεται από τη Δύναμη-Διάγραμμα μετατόπισης.



Σχήμα 42: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων - Συμπεριφορά του ενισχυμένου εδάφους [57]

6.6.3. ΓΕΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ (ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ)

Όλοι οι προηγούμενοι υπολογισμοί και αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για τη διενέργεια λεπτομερών και προσεκτικών τρισδιάστατων δυναμικών αναλύσεων ολόκληρης της δομής [58]. Χάρη στην ανάπτυξη ορισμένου αριθμού εργαλείων υπολογισμού βάσει ενός υπάρχοντος ισχυρού λογισμικού υπολογιστή (ANSYS), ελήφθησαν υπόψη οι ακόλουθες πολύ σημαντικές ιδιότητες:

- μη γραμμική υστερική συμπεριφορά του ενισχυμένου εδάφους
- πιθανή ολίσθηση των βάσεων του πυλώνα στα κρεβάτια με χαλίκι με ακρίβεια προσαρμοσμένη στην κάθετη δύναμη που συνοδεύει
- μη γραμμική συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος των ποδιών του πυλώνα (συμπεριλαμβανομένης της ρωγμής και της σκλήρυνσης του σκυροδέματος λόγω περιορισμού)

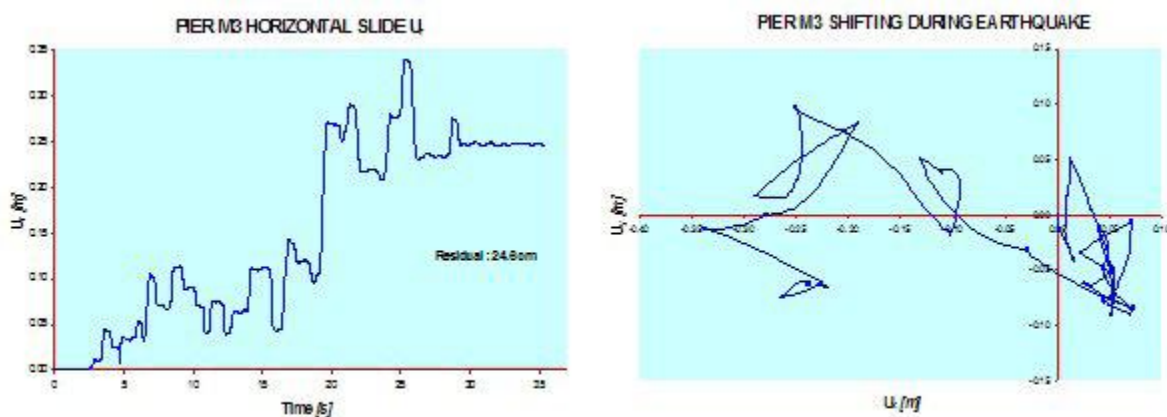
- μη γραμμική συμπεριφορά του καλωδίου παραμένει
- μη γραμμική συμπεριφορά του σύνθετου καταστρώματος γέφυρας (συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης χάλυβα και ρωγμών της πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος)
- εφέ δεύτερης τάξης (ή μεγάλες μετατοπίσεις εάν υπάρχουν)

Αρκετά σύνολα ανεξάρτητων τεχνητών επιταχυνσιόγραμμα στο σεισμικό φάσμα σχεδιασμού για τα 3 συστατικά της κίνησης του εδάφους (η κάθετη με κλίμακα στο 70%) χρησιμοποιήθηκαν. Από αυτούς τους υπολογισμούς, ο τρόπος συμπεριφοράς του ενισχυμένου εδάφους και η ολίσθηση των βάσεων θα μπορούσαν να ελεγχθούν προσεκτικά.

6.6.4. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ο γενικός υπολογισμός της γέφυρας, συμπεριλαμβανομένου ενός μοντέλου παραμέτρων του ενισχυμένου εδάφους, επέτρεψε τον έλεγχο όλων των στοιχείων του λογισμικού που αναπτύχθηκαν ειδικά για αυτήν τη γέφυρα. Τα αποτελέσματα ήταν σύμφωνα με τις υποθέσεις. Έδειξαν ότι οι δυνάμεις και οι ροπές ανατροπής που εφαρμόζονται στο έδαφος παραμένουν πάντα εντός της οριακής επιφάνειας. Επιβεβαίωσαν την πολύ καλή συμπεριφορά του πλήρως ανασταλμένου καταστρώματος που είναι τόσο απομονωμένη όσο μπορεί.

Η σχετική μετατόπιση των πυλώνων πυλώνα σε σχέση με το στρώμα χαλικιού απέδειξε κάποια ολίσθηση που παραμένει ωστόσο αποδεκτή και εάν, για οποιονδήποτε λόγο, αυτή η ολίσθηση δεν μπορούσε να συμβεί, έχει ελεγχθεί ότι αυτό δεν ήταν σημαντικό σημείο ανησυχίας. Κάτω από το πιο σοβαρό σεισμικό συμβάν, το υπόστρωμα της γέφυρας θα γλιστρήσει, οι βάσεις του πυλώνα θα περιστραφούν ελαφρώς, αλλά όλα αυτά θα συμβούν χωρίς επιβλαβείς συνέπειες για τη δομή της γέφυρας καθώς το πλήρως αναρτημένο και εύκαμπτο κατάστρωμα είναι σε θέση να ευθυγραμμιστεί αυτόματα και τον τελευταίο καιρό ώστε να προσαρμοστεί σε μια αποδεκτή γεωμετρία μέσω της επαναφοράς των καλωδίων παραμονής.

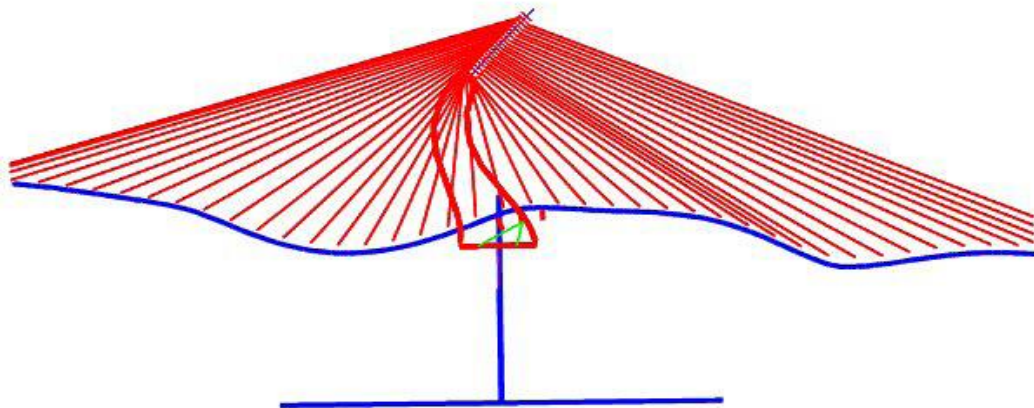


Σχήμα 43: Οριζόντια μετατόπιση έναντι χρόνου και σε επίπεδο βάσης πυλώνα [58]

6.6.5. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ

Επειδή η σταθερότητα του πλήρως αναρτημένου καταστρώματος πολλαπλών καλωδίων παραμένει εξασφαλισμένη από την ακαμψία των πυλώνων που αποτελούνται συνεπώς από τέσσερα σκέλη που συγκλίνουν στο μέσο ύψος της ζώνης αγκύρωσης, οι πυλώνες ήταν τα πιο κρίσιμα μέρη της δομής. Οι δυναμικές αναλύσεις απέδειξαν ότι οι πυλώνες και οι βραχύτερες παραμονές καλωδίων φορτώνονται πράγματι κατά τη διάρκεια του σεισμού. Σαφώς, από αυτό άποψη, υπάρχει μια αντίφαση μεταξύ του τι απαιτείται για την κανονική λειτουργία του γέφυρα και η ζήτηση όταν συμβαίνει ένας σοβαρός σεισμός. Πράγματι, οι πυλώνες είναι πολύ άκαμπτοι και τα βραχύτερα καλώδια όπως έχουν σχεδιαστεί για δυνατότητα συντήρησης δεν είναι αρκετά ευέλικτα.

Δυναμικοί υπολογισμοί έχουν δείξει ότι τα ακραία κουνήματα δημιουργούν διάφορες ρωγμές μοτίβα, κατανομημένα κατά μήκος των ποδιών, που προέρχονται τόσο από την κάμψη όσο και από την ένταση. Από τη μία πλευρά, αυτό θα μπορούσε να παρατηρηθεί ότι αυτή η ρωγμή είναι ευνοϊκή καθώς δημιουργεί την απαραίτητη ευελιξία των ποδιών χωρίς να οδηγήσει σε απαράδεκτες πιέσεις στα υλικά (δηλαδή μη αποδεκτές ζημιές). Από την άλλη χέρι, δεν ήταν εύκολο να αποκτήσουμε μια παγκόσμια εικόνα της συμπεριφοράς του πυλώνα ως πληροφορίας που παράγεται από μια εξελιγμένη ανάλυση είναι πολύ εντυπωσιακό. Τα βήματα χρόνου είναι 0,02 sec - δηλαδή 2500 βήματα για ένα συμβάν 50 sec- ο αριθμός των διατομών στο μοντέλο ενός πυλώνα είναι 13 - αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχουν 130.000 διαμορφώσεις διατομών οπλισμένου σκυροδέματος ελέγχεται για κάθε πυλώνα προκειμένου να αξιολογηθεί η συνολική συμπεριφορά της δομής ανά πάσα στιγμή.



Σχήμα 44: Τυπικό σχήμα εκτροπής ενός πυλώνα [58]

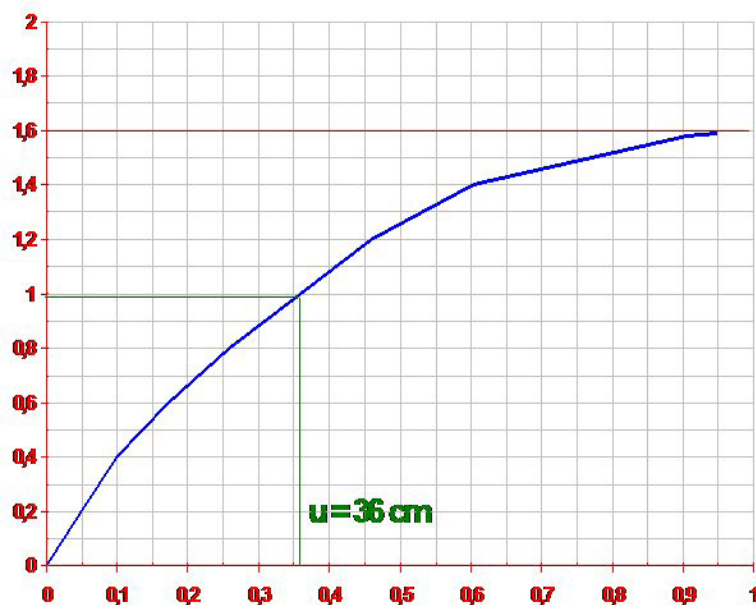
Για να αντιμετωπίσετε αυτήν την ογκώδη ποσότητα πληροφοριών, η επιλογή ήταν να ελέγξετε, για τη διάρκεια του σεισμού, ότι τα στελέχη των υλικών (σκυρόδεμα και χάλυβας) σε κάθε διατομή δεν είναι υπερβαίνοντας τα αποδεκτά όρια που εγγυώνται μια ελεγχόμενη ζημιά των πυλώνων ενώ το γενική συνέπεια αυτών των εξελιγμένων υπολογισμών μέσω των αντίστοιχων σχημάτων εκτροπής των ποδιών, αξονικές διατμητικές δυνάμεις και ροπές κάμψης που δημιουργούνται σε κάθε διατομή, μπορούν να επαληθευτούν για μέγιστες τιμές ιστορικού χρόνου αυτών των παραμέτρων.

6.6.6. PUSH-OVER ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ

Υπό αυτές τις συνθήκες, ήταν λογικό διενεργεί ανάλυση push-over του πυλώνος για την αξιολόγηση του παγκόσμιου συμπεριφορά και συγκρίνεται τους απόδοσης στη ζήτηση, σε όρους μετατοπίσεις, κατά τη διάρκεια του άκρου σεισμικό συμβάν. Μπορεί να επισημανθεί ότι έχει γίνει μια τέτοια ανάλυση συνήθως. Επιπλέον είναι εξαιρετικά απλό για μια υψηλή προβλήτα μιας γέφυρας που συμπεριφέρεται ως ενιαίος βαθμός ελευθερίας σύστημα και επομένως φορτώνεται από ένα διατμητική δύναμη που δρα στο επίπεδο του κέντρο βάρους του καταστρώματος γέφυρας. είναι δεν είναι τόσο απλό πια όταν η προβλήτα έχει γίνει μια πυλώνα ομάδα από τέσσερα τα πόδια συγκλίνουν σε μια ζώνη όπου ένα μεγάλο αριθμός καλωδίων παράγουν πολλά δυνάμεις σε διάφορα επίπεδα.

Σε αυτήν την περίπτωση, ένας τρόπος εκτέλεσης μιας τέτοιας ανάλυσης push-over συνίσταται στην αναπαραγωγή της κατάστασης του ισορροπία σε ένα στάδιο της δυναμικής ανάλυσης που μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο δυσμενής κατάσταση κατά τη διάρκεια του 50 δευτερολέπτου γεγονότος - δηλαδή όταν οι δυνάμεις, η κάμψη και οι μετατοπίσεις είναι οι περισσότερες αυστηρός. Αυτή η προσέγγιση επέτρεψε την εκτίμηση της επίδρασης της ζήτησης μετατόπισης και σε έναν πυλώνα ως χωρητικότητα μετατόπισης όπως εκτιμάται από τη δυναμική ανάλυση 3D.

Σε μια στατική ανάλυση σε ένα ακριβές μοντέλο του πυλώνα, αδρανειακές δυνάμεις που προέρχονται από το κατάστρωμα μέσω του καλωδία και από τη μάζα του πυλώνα, η επιτάχυνση της μάζας αυξήθηκε σταδιακά με μεγέθυνση παράγοντας ενώ η βαρύτητα ή οι αρχικά εφαρμοζόμενες δυνάμεις (μόνιμα φορτία) δεν ήταν. Το διάγραμμα που δείχνει την μετατόπιση D στην κορυφή των πυλώνων έναντι των μεγεθών ο παράγοντας A επιτρέπεται να κάνει μια σαφή διαφοροποίηση των διαφόρων βημάτων που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του μια ολόκληρη ομάδα πυλώνα (Σχήμα 38).



Σχήμα 45: Μετατόπιση στην κορυφή των πυλώνων έναντι του συντελεστή μεγέθυνσης [58]

Καθώς η μετατόπιση είναι κυρίως διαγώνια, αυτά τα βήματα έχουν ως εξής:

- Step 1 ($0 < A < 0.4$) - Elastic behaviour $0 < D < 0.10$ m
- Step 2 ($0.4 < A < 1.2$) - Axial Cracking in the tension leg, hinges forming at the top of this leg then at the top of the middle legs. (0.10 m $< D < 0.45$ m)
- Step 3 ($1.2 < A < 1.4$) - Yielding of steel in the tension leg (0.45 m $< D < 0.60$ m)
- Step 4 ($1.4 < A < 1.6$) – Hinge forming at the top of the compression leg (0.60 m $< D < 0.90$ m)

Μια τέτοια ανάλυση push-over έδειξε ότι η ζήτηση μετατόπισης ($D = 0,36$ m για $A = 1$) είναι πολύ κάτω τη χωρητικότητα μετατόπισης των πυλώνων που είναι της τάξης των $0,90$ m το πολύ και, Ως εκ τούτου, είτε ότι η ζημία θα πρέπει να είναι περιορισμένη σε περίπτωση ακραίου συμβάντος ή τυχόν απόκλιση σε σχέση με την κίνηση εισόδου δεν πρέπει να έχει κακές συνέπειες.

6.7. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΦΥΡΑΣ

Η ιδέα της κύριας γέφυρας έχει υποστεί μια θεαματική εξέλιξη, η οποία έλαβε υπόψη όλες τις πτυχές του η οικονομία του έργου και η οποία ήταν το αποτέλεσμα της στενής αλληλεπίδρασης μεταξύ του σχεδιασμού και της μελέτης του ρεαλιστικές μέθοδοι κατασκευής.

6.7.1. ΑΣΥΝΗΘΙΣΤΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η κατασκευή της κύριας γέφυρας αντιμετώπιζε τη μεγάλη δυσκολία ενός ασυνήθιστου νερού βάθος, που φτάνει τα 65 μέτρα για κεντρικές αποβάθρες, και κακή ποιότητα του βυθού. Σε σχέση με αυτό, το θεμέλιο έργα, συμπεριλαμβανομένων όχι μόνο της βυθοκόρησης και της οδήγησης χαλύβδινων σωλήνων, αλλά και εξαιρετικών έργων όπως η διάδοση ακριβείας από ένα χαλίκι 8000 m², σχηματίζουν ένα εντυπωσιακό πακέτο που απαιτεί ασυνήθιστη ικανότητα και εξοπλισμό. Προς την επιτύχετε αυτό το δύσκολο έργο, ένας συνδυασμός των τελευταίων τεχνολογιών που διατίθενται στην κατασκευή του πλατφόρμες γεώτρησης πετρελαίου από σκυρόδεμα, βυθισμένες σήραγγες και μεγάλες γέφυρες καλωδίων ήταν εκτεταμένα χρήσιμες.

6.7.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ ΠΥΛΩΝΑ

Οι βάσεις του πυλώνα χτίστηκαν σε δύο στάδια κοντά στο Αντίρριο. Οι βάσεις ρίχτηκαν πρώτα σε μια ξηρή αποβάθρα 230 m πλάτος και 100 m, οι κωνικοί άξονες

ολοκληρώθηκαν αργότερα σε μια υγρή αποβάθρα όπου το βάθος του νερού ήταν αρκετά διαθέσιμο. Στην αποβάθρα, δύο κυψελωτές βάσεις πυλώνα χύθηκαν κάθε φορά. Στην πραγματικότητα, δύο διαφορετικά επίπεδα στην αποβάθρα παρείχε 12 m νερό για χύτευση ενός καλωδίου βάσεις και 8 m για ένα άλλο πίσω. Πότε το πρώτο πόδι, συμπεριλαμβανομένου ενός κορυφαίου ανελκυστήρα 3,2 m του κωνικού άξονα, ήταν πλήρης, η αποβάθρα πλημμύρισε και η κατασκευή ύψους σχεδόν 17 m ρυμουλκήθηκε μερικές εκατοντάδες μέτρα σε βάθος νερού.



Εικόνα 26: Πυλώνες βάσεις – Στεγνωτήριο[58]



Εικόνα 27: Λειτουργία στην αποβάθρα [58]



(α)



(β)

Εικόνα 28: Από την ξηρά αποβάθρα στην υγρή αποβάθρα [58], [66]

Μια πολύ πρωτότυπη ιδέα επέτρεψε την εξοικονόμηση πολύ χρόνου στον κύκλο παραγωγής του πυλώνα βάσης. Πριν από την πρώτη ρυμούλκηση, η αποβάθρα έκλεισε από ένα κλασικό σεντόνι, δηλαδή ένα προστατευτικό ανάχωμα που έπρεπε να είναι εντελώς απροσπέλαστο. Ο χρόνος μειώθηκε και το βάδισμα αιωρήθηκε προς τα εμπρός στο βαθύτερο τμήμα της αποβάθρα και βυθίστηκε από πλημμύρες, ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως πύλη, υπό την προϋπόθεση ότι όλα ήταν σχεδιασμένο να το κάνει. Αντί να χτιστεί ένα ανάχωμα και πάλι, προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθούν προσωρινοί χαλύβδινοι τοίχοι γύρω από τη βάση πάνω από στοίβες πλακών και φύλλων που προεξέχουν από αυτήν οι πλευρές θα μπορούσαν εύκολα να σφραγίσουν το στόμιο της αποβάθρας, επιτρέποντάς του να αφυδατωθεί.



Εικόνα 29: Η στεγνή αποβάθρα πριν τη ρυμούλκηση [58]



Εικόνα 30: Η στεγνή αποβάθρα μετά τη ρυμούλκηση [58]

Καθώς η εργασία συνεχίστηκε στην αποβάθρα, ο κωνικός άξονας του (στη βάση του) ήταν αγκυρωμένος με αλυσίδες στην αποβάθρα και σταδιακά με βήμα διαμορφώθηκε ως την κορυφή. Η βάση πλημμύρισε προοδευτικά για να βυθίσει τη δομή και διατηρήστε ένα σταθερό ύψος πάνω από το νερό. Όταν μια βάση από πυλώνα ήταν αρκετά ψηλή για να

σταθεί λίγα μέτρα πάνω από το νερό, ρυμουλκά το πήγαιναν στο προετοιμασμένο κρεβάτι (bed) όπου ήταν στραγγιστό και τοποθετείται στην τελική του θέση. Στη συνέχεια φορτώθηκε εκ των προτέρων γεμίζοντας με νερό, για επιτάχυνση και πρόβλεψη οικισμών (μεταξύ 20 και 30 cm) κατά τη διάρκεια της κατασκευής του άξονα και του κεφαλαίου πυλώνα, έτσι επιτρέποντας μια διόρθωση για διαφορετικούς διακανονισμούς κατά την ανέγερση των πυλώνων.



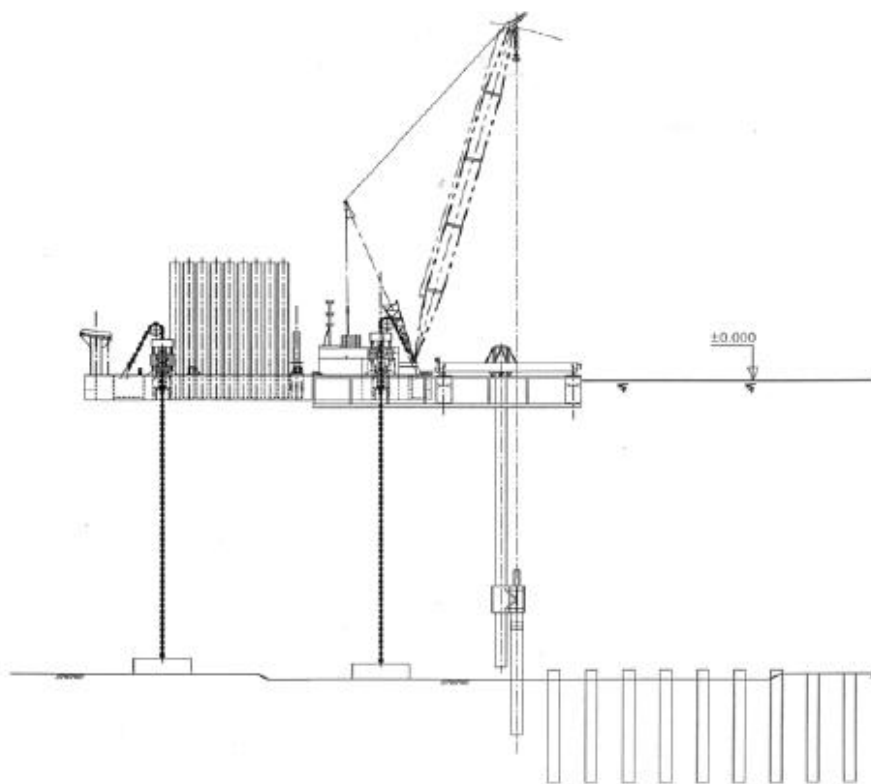
Εικόνα 31: Πυλώνας βάση στην υγρή αποβάθρα, προχωρά προς την κορυφή του κώνου [58]

6.7.3. ΒΑΣΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΚΑΙ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ TENSIONLEG

Οι θεμελιώδεις εργασίες ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του 1999 με βυθοκόρηση του βυθού σε πυλώνα, τοποθετώντας 90 cm παχύ στρώμα άμμου, οδηγώντας τα εγκλείσματα και αφήνοντάς τα να προεξέχουν 1,5 m. πάνω από την άμμο τελικά καλύφθηκε από ένα στρώμα στρογγυλεμένου χαλίκι ποταμού πάχους 1,6 έως 2,3 m και στρώμα πάχους 50 cm θρυμματισμένο χαλίκι. Τα χαλίκια τοποθετήθηκαν σε παράλληλες βάσεις, πλάτους 2 m, χωρισμένες με τομές σχήματος V περίπου 30 βάθος cm για να παρέχει κάποια ευελιξία κατά την τοποθέτηση των βάσεων του πυλώνα. Όλα αυτά τα θαλάσσια έργα εκτελέστηκαν, βήμα προς βήμα, από τέντωμα μήκους 60 m και πλάτους 40 m πλατφόρμα ποδιών αγκυρωμένη σε κινητά τσιμεντόλιθους με ρυθμιζόμενες αλυσίδες. Εξοπλισμός για οδήγηση σωλήνων ενίσχυσης του εδάφους και προετοιμασία του βυθού τοποθετήθηκε σε βυθισμένους πόντους αγκυροβολημένο στο ένα άκρο της πλατφόρμας με ατσάλινους βραχίονες.

Ένας κινητός χαλύβδινος σωλήνας, που φτάνει σχεδόν στο πυθμένα της θάλασσας, καθοδηγούμενος εξοπλισμός συσσώρευσης και κατατέθηκε άμμος και χαλίκι στο προ-βυθοκόρηση κρεβάτι. Αυτός ο εξοπλισμός επιτρέπεται να εκτελεί το απαραίτητες εργασίες σε πλάτος 14 m, μήκος 28 m περιοχή και η πλατφόρμα έπρεπε να μετακινηθεί από μια περιοχή στην επόμενη από μια φορτηγίδα εξοπλισμένη με ένα δυναμικό σύστημα εντοπισμού θέσης. Μία μόνιμη σάρωση Sonar του τελικού χαλίκι κρεβάτι επιτρέπει ακριβή έλεγχο του πέτυχε

επίπεδο θεμελίωσης από την πλατφόρμα και έδειξε ότι ήταν γενικά εντός 5 cm ανοχή. Σαράντα μετατοπίσεις της πλατφόρμας, χρειάστηκαν περίπου πέντε μήνες, επομένως απαραίτητο για την προετοιμασία του βυθού κάτω από το καθένα βάση πυλώνα.



(α)



(β)

Εικόνα 32: Οδηγώντας τα συμπεράσματα από την πλατφόρμα Tensioned Leg [57]

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η εκβάθυνση του βυθού, η οδήγηση εγκλεισμάτων, η τοποθέτηση και ισοπέδωση του στρώματος χαλικιού στην κορυφή, με βάθος νερού που φτάνει τα 65 m, ήταν μια σημαντική θαλάσσια επιχείρηση που απαιτούσε ειδικό εξοπλισμό και διαδικασίες. Στην πραγματικότητα, μια φορτηγίδα με τάνυση έχει κατασκευαστεί κατά παραγγελία, με βάση τη γνωστή ιδέα των πλατφορμών με τάνυση αλλά χρησιμοποιείται για πρώτη φορά για κινητό εξοπλισμό. Αυτή η ιδέα βασίστηκε σε ενεργό κάθετο αγκυροβόλιο σε νεκρά βάρη που βρίσκονται στον βυθό

Η τάση σε αυτές τις κατακόρυφες γραμμές αγκύρωσης προσαρμόστηκε για να δώσει την απαιτούμενη σταθερότητα στην φορτηγίδα σε σχέση με τις θαλάσσιες κινήσεις και τα φορτία που χειρίζεται ο γερανός στερεωμένος στο κατάστρωμα. Αυξάνοντας την τάση στις γραμμές αγκύρωσης, η πλευστότητα της φορτηγίδας επέτρεψε την τα βάρη αγκύρωσης για την ανύψωση από τον πυθμένα, τότε η φορτηγίδα, συμπεριλαμβανομένων των βαρών της, θα μπορούσε να αιωρηθεί σε μια νέα θέση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μόλις ολοκληρωθούν τα θεμέλια ρυμουλκούνται και βυθίζονται στην τελική τους θέση. Τα διαμερίσματα που δημιουργούνται στις βάσεις από τις ακτινικές ακτίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της κλίσης με διαφορεικό έρμα. Στη συνέχεια, τα θεμέλια γεμίζουν με νερό για να επιταχύνουν τους οικισμούς. Αυτή η προ-φόρτωση διατηρήθηκε κατά την κατασκευή του άξονα και της κεφαλής της προβλήτας, επιτρέποντας έτσι μια διόρθωση για πιθανές διαφορικές διευθετήσεις πριν από την ανέγερση πυλώνων.

6.7.4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΑΝΩ ΜΕΡΟΥΣ ΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ

Για τα υπόλοιπα τμήματα των πυλώνων, όλα τα υλικά, σκυρόδεμα, οπλισμός, Post Tensioning και ειδικές συσκευές, παρασχέθηκαν μέσω ενός φορτηγού στήριξης, και χρησιμοποιήθηκαν ως σταθερή βάση, και μιας roll-on roll-off φορτηγίδας μεταφοράς των αναμικτών φορτηγών και του οπλισμού από την ακτή στους πυλώνες. Οι οκταγωνικοί άξονες του τρεις πυλώνες τοποθετήθηκαν στη θέση τους με ξυλότυπους αναρρίχησης. Η τεράστια ανεστραμμένη πυραμίδα κεφαλαία είναι βασικά στοιχεία του οι πυλώνες κατασκευές αυτοί πρέπει να αντέξει το έρχονται τεράστιες δυνάμεις από τα πόδια, κυρίως κατά τη διάρκεια ένα σεισμικό γεγονός, και μεταφέρετέ τα στους άξονες. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι βαριά ενισχυμένα. Η κατασκευή αυτών των συστατικών, τα οποία ρίχτηκαν στη θέση τους, πήραν επτά μήνες και απαιτούνται 4000 m³ από σκυρόδεμα, 1750 t χάλυβα ενίσχυση και 30.000 m² εξωτερικών μορφών καθώς και εντυπωσιακός εξοπλισμός.

Η κατασκευή του τα πόδια του πυλώνα προχωρούσαν βήμα προς βήμα, σε μήκος 4,8 m τμήματα, μέχρι το σημείο όπου συγχωνεύονται υποστηρίξτε το καλώδιο ζώνη αγκύρωσης. Ένα βαρύ επιτρέπεται προσωρινή στήριξη να αντισταθούν στους σεισμούς κατά τη διάρκεια της κατασκευής.



Εικόνα 33: Κατασκευή των πυλώνων [58]

Ο ατσάλινος πυρήνας του πυλώνα, το κεφάλι, ήταν δύο μονάδες κατασκευασμένες σε εργοστάσιο και μεταφέρθηκαν στον έργο. Τοποθετήθηκαν στη δική τους τελική τοποθεσία από ένα τεράστιο πλωτό γερανό που μπορεί να φτάσει ύψος 170 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.



Εικόνα 34: Τοποθέτηση του χαλύβδινου πυρήνα της κεφαλής του πυλώνα [58]

6.7.5. ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η μέθοδος κατασκευής του σύνθετου καταστρώματος χάλυβα - σκυροδέματος ήταν παρόμοια με αυτήν που με επιτυχία χρησιμοποιείται στη δεύτερη διάβαση Severn. Τα

στοιχεία του καταστρώματος, μήκους 12 m και η πλάκα από σκυρόδεμα, ήταν προκατασκευασμένο σε αυλή προ-συναρμολόγησης. Τοποθετήθηκαν στην τελική τους θέση από τον πλωτό γερανό και βιδώθηκαν στον προηγουμένως συναρμολογημένο τμήμα, χρησιμοποιώντας την κλασική ισορροπημένη μέθοδο ανέγερσης προβόλου. Μόνο μικρές αρθρώσεις παρέχοντας αρκετό χώρο για την κατάλληλη αλληλοεπικάλυψη χάλυβα οπλισμού. Το κατάστρωμα χτίστηκε από δύο πυλώνες ταυτόχρονα. Τοποθετήθηκαν πέντε έως επτά τμήματα καταστρώματος τοποθετείτε κάθε εβδομάδα. Συνολικά η ανέγερση του καταστρώματος χρειάστηκε 13 μήνες.



Εικόνα 35: Τοποθέτηση τμημάτων μήκους 12 m [57]



Εικόνα 36: Τοποθέτηση τμημάτων μήκους 12 m [57].

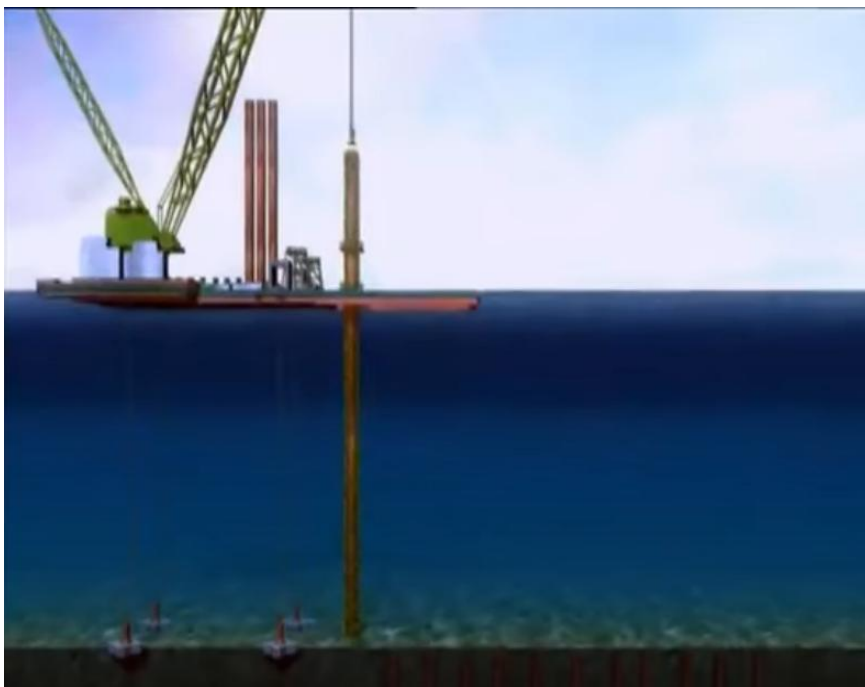
6.8. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΘΕΣΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΙΟΥ

Το σύστημα δυναμική θεσιοθέτησης χρησιμοποιήθηκε τέσσερις (4) φορές στην διαδικασία κατασκευής της γέφυρας και είναι οι ακόλουθες:

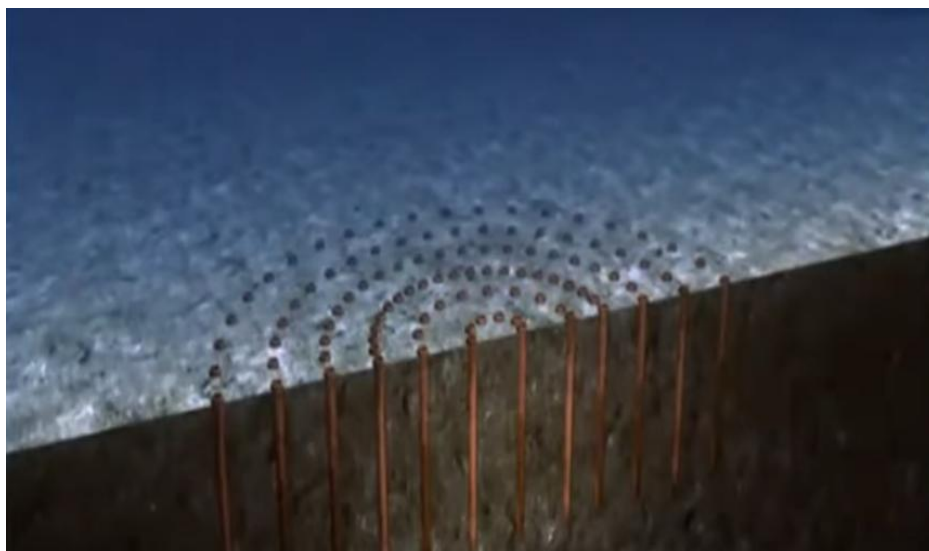
1. Ενίσχυση εδάφους:

Μετά την απόφαση της κυβέρνησης ότι η γέφυρα θα πρέπει να κατασκευαστεί στη συγκεκριμένη τοποθεσία με στόχο την εξυπηρέτηση των συμφερόντων της χώρας και του εμπορίου απαιτήθηκε η εκπόνηση μελέτης του πυθμένα της θάλασσας για έλεγχο του εδάφους. Με τον έλεγχο του εδάφους διαπιστώθηκε ότι ο πυθμένας είναι ιδιαίτερα μαλακός πράγμα το οποίο ήταν πάρα πολύ επικίνδυνο για την κατασκευή της γέφυρας έως το σημείο όπου την έκανε ακατόρθωτη. Η δυσμενής αυτή συνθήκη οδήγησε τους μηχανικούς να αναζητήσουν λύση για τους τρόπους που μπορεί να ενισχυθεί το έδαφος. Η ενίσχυση υλοποιήθηκε με την τοποθέτηση σωληνώσεων ενίσχυσης εδάφους, μήκους 30 m και 2 m πλάτους τοποθετώντας τους σε κυκλική διατομή για βελτιστοποίηση της σταθερότητας.

Ωστόσο βασικό πρόβλημα εμφανίστηκε στο τρόπο του «Πώς καθοδηγείς τους τεράστιους σωλήνες με ακρίβεια μέσα από 65 m νερού;». Τότε οι μηχανικοί σκέφτηκαν ότι η λύση είναι η δυναμική θεσιοθέτηση. Έτσι λοιπόν ναύλωσαν μια φορτηγίδα (το συνεργείο την φέρνει στο σημείο, ρίχνει τις άγκυρες και τεντώνει τις αλυσίδες για να μείνει σταθερό) με συστήματα δυναμικής θεσιοθέτησης. Προσάρμοσαν στην φορτηγίδα ένα τεράστιο πλαίσιο, το οποίο είχε την δυνατότητα να κρατήσει ένα σωλήνα-οδηγό που μετακινείται στις ακριβές θέσεις με τη χρήση Δορυφορικού Προσδιορισμού Θέσης (GPS). Με αυτό τον τρόπο επιτεύχθηκε η διαδικασία αυτή.



Εικόνα 37: Τοποθέτηση δοκών [75]



(α)



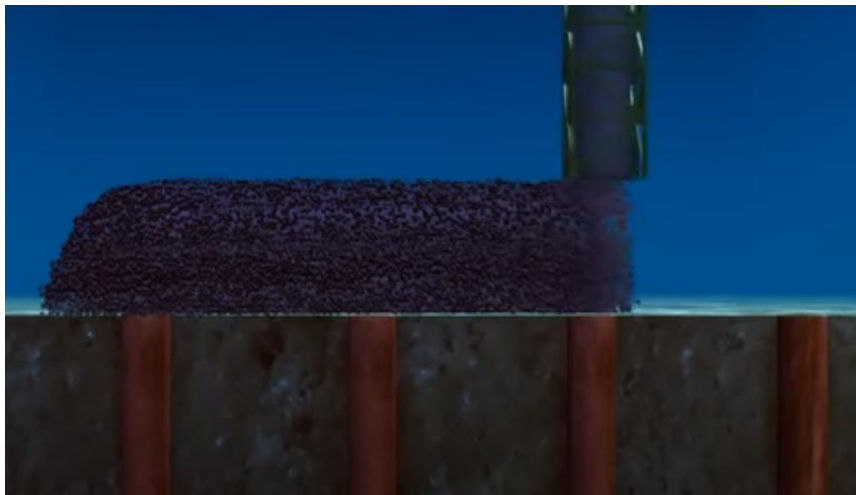
(β)

Εικόνα 38: Τοποθετημένοι δοκοί (α) τομή (β) όψη [75]

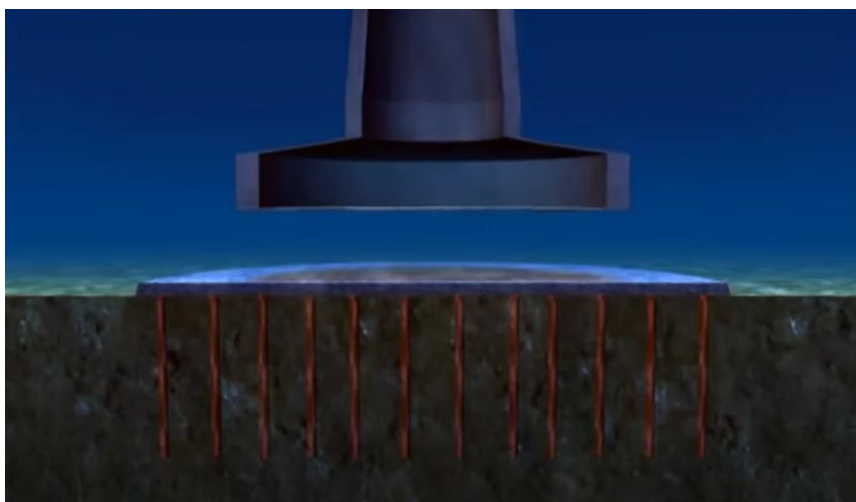
2. Σταθεροποίηση πυθμένα

Οι σωλήνες όμως δεν έφταναν για να δημιουργήσουν μια απόλυτη επίπεδη επιφάνεια για αυτό από πάνω έπρεπε να τοποθετήσουν ένα στρώμα αμμοχάλικου που θα σταθεροποιούσε τον πυθμένα. Αποτέλεσμα ήταν οι μηχανικοί να αναζητήσουν λύση στο πρόβλημα για το «Πως θα τοποθετηθούν ακριβώς τα χαλίκια σε ένα τέτοιο βάθος». Η πρώτη λύση που σκέφτηκαν οι υπεύθυνοι του έργου ήταν να χρησιμοποιηθούν δύτες, οι οποίοι θα έλεγχαν την όλη διαδικασία κάτι που παρουσίαζε μεγάλη επικινδυνότητα για την ζωή τους αλλά και με πολλούς περιορισμούς αφού ο χρόνος του ανθρώπου κάτω από την θάλασσα είναι περιορισμένος. Η δημιουργία τέτοιων έργων απαιτεί πολλές ώρες εργασίες για την διεκπεραίωση του.

Η ομάδα των μηχανικών οδηγήθηκε στην δεύτερη λύση που ήταν η χρήση της φορτηγίδας με την δυναμική θεσιοθέτηση. Αποφάσισαν λοιπόν να τελειοποιήσουν-χρησιμοποιήσουν τον σωλήνα οδηγό με το GPS. Οι χειριστές τοποθετούν το κάτω μέρος του σωλήνα οδηγού ακριβώς εκεί που θέλουν την κορυφή του αμμοχάλικου. Καθώς κινούν το σωλήνα το αμμοχάλικο τοποθετείται με ακρίβεια με μια απόκλιση ± 5 cm. Το αποτέλεσμα είναι ο πυθμένας και ενισχύθηκε και ευθυγραμμίστηκε.



Εικόνα 39: Τοποθέτηση Αμμοχάλικου [75]



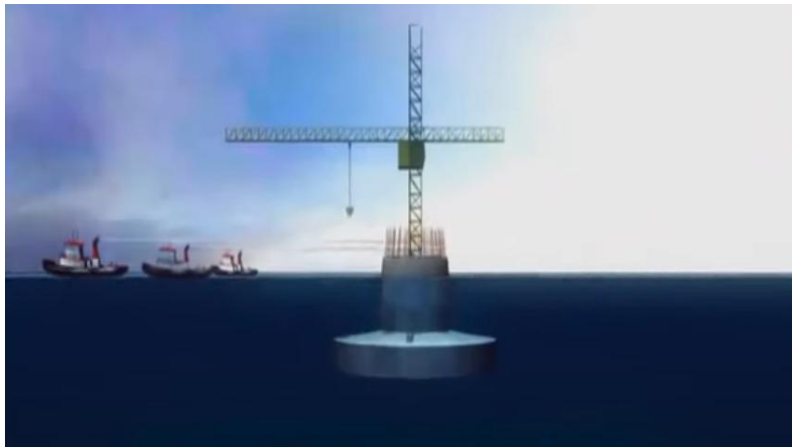
Εικόνα 40: Απεικόνιση τελικής επιφάνειας [75]

3. Τοποθέτηση των πυλώνων

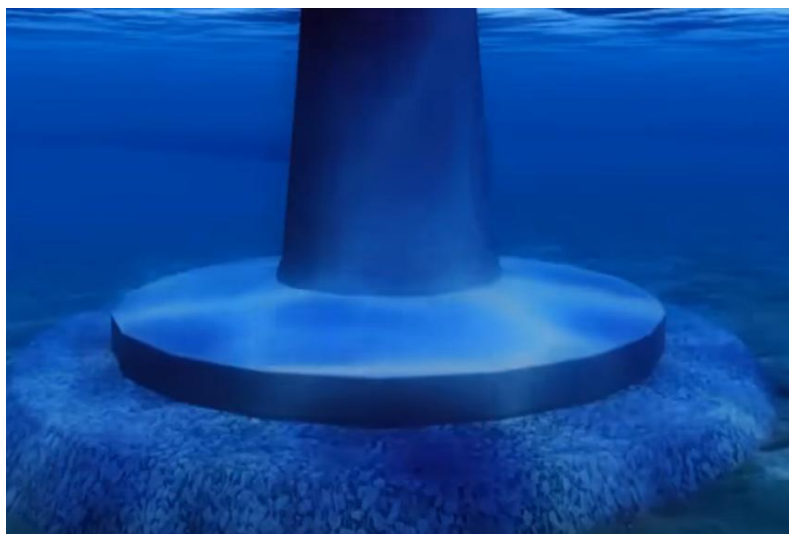
Κάθε πυλώνας ζύγιζε περίπου 68.000 tn και ήταν μεγάλο πρόβλημα η μεταφορά τους στο σημείο τοποθεσίας. Οι μηχανικοί σκέφτηκαν να γεμίσουν την κλίνη της κατασκευής κάθε πυλώνα με νερό και διαπίστωσαν πως τα θεμέλια επιπλέουν. Για να μετακινηθούν όμως χρειαζόταν μια μηχανή ισχύος 25.000 Hp. Για το λόγο αυτό έφεραν ένα παγοθραυστικό από την Νορβηγία με ενσωματωμένο σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης.

Παρατηρήθηκε όμως ότι αν συνέχιζαν την κατασκευή των πυλώνων στην ακτή θα ήταν πραγματικά αδύνατη η μεταφορά τους. Για αυτό θα έπρεπε να κατασκευάσουν τον πυλώνα ενώ τα θεμέλια επιπλέουν. Το Μάιο του 2001 μετά από ένα χρόνο εργασιών ο πυλώνας είναι έτοιμος. Τώρα αυτό που έμενε ήταν να μεταφερθεί στο ακριβές σημείο και το περιθώριο λάθους είναι μόλις 10 cm. Το GPS παρακολουθεί την πορεία. Η ακριβής τοποθέτηση στον πυθμένα είναι ζωτικής σημασίας.

Η διαδικασία τοποθέτησης του πυλώνα στην θέση είναι έτοιμη. Ο πυλώνας βυθίζεται εκατοστό-εκατοστό και όλα δείχνουν να πηγαίνουν τέλεια. Τα ρυμουλκά το καθοδηγούν μέχρι την στιγμή που τα θεμέλια είναι έτοιμα να αγγίξουν το υπόβαθρο χαλικιού. Ξαφνικά μια άγκυρα ενός ρυμουλκού γλιστράει και ολόκληρο το βάθρο καθίζει 30 cm εκτός στόχου. Το να το σηκώσουν και να το μετακινήσουν ξανά απαιτούσε τεράστιο χρόνο και χρήμα για αυτό οι μηχανικοί ήρθαν αντιμέτωποι με μια ακόμα σοβαρή δυσκολία. Αποφάσισαν ότι θα ήταν ταχύτερο και πολύ πιο οικονομικό αν μετακινήσουν την γέφυρα 30 cm πιο πέρα από το αρχικό σχέδιο με συνέπεια να υπολογίζεται ξανά η θέση των τριών υπολειπόμενων πυλώνων με την χρήση της δυναμικής θεσιοθέτησης.



Εικόνα 41: Τοποθέτηση πυλώνων [75]



Εικόνα 42: Τοποθέτηση πυλώνων πλάγια όψη [75]



Εικόνα 43: Τοποθέτηση πυλώνων σε τομή [75]

4. Τοποθέτηση τμημάτων ασφαλτοτάπητα

Ο καπετάνιος καθοδηγεί την φορτηγίδα εκατοστό-εκατοστό μέχρι το νέο άρθρωμα να πλησιάσει το ήδη τοποθετημένο οδόστρωμα. Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν λέιζερ για να διασφαλίσουν ακρίβεια χιλιοστού.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Παρούσα Πτυχιακή εργασία στόχευε στην μελέτη της δυναμικής θεσιοθέτησης πλοίου, η οποία χρησιμοποιείται σε θαλάσσιες εργασίες, οι οποίες δεν είναι παραδοσιακές στη ναυτιλία. Μέσα από την βιβλιογραφικά ανασκόπηση δόθηκαν τα βασικά στοιχεία της δυναμικής θεσιοθέτησης καθώς αναλύθηκαν τα συστήματα και ο εξοπλισμός που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα στοχεύοντας στην κατανόηση της λειτουργίας του. Για τον τρόπο εφαρμογής της δυναμικής θεσιοθέτησης δόθηκε η Περίπτωση Μελέτης της Γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου όπου θεωρείται ένα από τα σπουδαιότερα Τεχνικά Έργα Παγκοσμίως που χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία η μέθοδος της δυναμικής θεσιοθέτησης στην κατασκευή της.

Η Δυναμική Θεσιοθέτηση μπορεί να είναι το πιο σημαντικό σύστημα πλοήγησης πλοίου μετά την πυξίδα. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στα πλοία να διατηρούν την θέση τους και να κατευθύνονται αυτόματα. Η Δυναμική Θεσιοθέτηση μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο σε κάθε στάδιο της εξερεύνησης και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και στις θαλάσσιες κατασκευές, καταδύσεις, υδρογραφική έρευνα, έρευνα ναυαγίων, υποβρύχια ανάκτηση, και επιτόπια έρευνα, επιθεώρηση και συντήρηση. Τα συστήματα Δυναμικής Θεσιοθέτησης (DP) συνεχίζουν να γίνονται πιο ακριβή και πιο σταθερά και με την πάροδο του χρόνου και έχουν αποδείξει την υπεροχή της πλοήγησής τους στις δύσκολες συνθήκες των δραστηριοτήτων βαθέων υδάτων.

Η Γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου είναι ένα από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα που χρησιμοποιήθηκε η Δυναμική Θεσιοθέτηση για την κατασκευή της. Η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου είναι σαφώς ένας σημαντικός και εντυπωσιακός σύνδεσμος σε σύγκριση με τη δεύτερη Καλωδιακή γέφυρα Severn και ακόμη και για τη γέφυρα της Νορμανδίας. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή αυτού του έργου κόστισε \$ 800 εκατομμύρια, έργο το οποίο υλοποιήθηκε στο πλαίσιο ενός ιδιωτικού συστήματος και ξεπέρασε έναν εξαιρετικό συνδυασμός δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών χάρη στην επιλογή μιας κατάλληλης ιδέας και σεισμική φιλοσοφία σχεδιασμού: οι πυλώνες στηρίζονται απευθείας στο βυθό της θάλασσας, μέσω ενός στρώματος χαλικιού επιτρέποντάς τους να αποτελέσουν αντικείμενο ελεγχόμενων εκτοπισμών υπό τον πιο σοβαρό σεισμό και, βασισμένο σε μια καινοτόμο ιδέα, τα κορυφαία 20m εδάφους που βρίσκονται κάτω από τις βάσεις μεγάλης διαμέτρου (90 m) των πυλώνων ενισχύονται με χαλύβδινα εγκλείσματα για να αντιστέκονται στην υψηλή αλληλεπίδραση εδάφους-δομής φορτία: το κατάστρωμα μήκους 2252 μέτρων της καλωδιακής γέφυρας είναι συνεχές κατάστρωμα, πλήρως αναρτημένο και ως εκ τούτου απομονωμένος όσο το δυνατόν περισσότερο από τα χειρότερα σεισμικά κουνήματα. Εάν μπορεί να προκληθούν μικρές ζημιές στους πυλώνες μετά από μεγάλο σεισμικό γεγονός, ολόκληρη η γέφυρα θα είναι ασφαλής και ανοιχτή στην κυκλοφορία έκτακτης ανάγκης, εάν είναι απαραίτητο. Ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2004, η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου έχει τεθεί σε κυκλοφορία 4 μήνες πριν τη συμβατική προθεσμία.

Το σύστημα δυναμική θεσιοθέτησης χρησιμοποιήθηκε τέσσερις (4) φορές στην διαδικασία κατασκευής της γέφυρας Ρίου – Αντιρρίου. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τον ενίσχυση του εδάφους, διότι ο πυθμένας ήταν μαλακός κάτι που ήταν επικίνδυνο για την κατασκευή και την αρτιότητα της γέφυρας. Η ενίσχυση υλοποιήθηκε με την τοποθέτηση σωληνώσεων ενίσχυσης εδάφους με την χρήση συστημάτων δυναμικής θεσιοθέτησης για την ακριβή τοποθέτηση τους. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για την σταθεροποίηση των πυθμένων όπου με οδηγούς σωλήνες τοποθέτησαν σε ακριβής θέση το αμμοχάλικο με μια απόκλιση ± 5 cm. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε στην τοποθέτηση των πυλώνων όπου για ένα σοβαρό λάθος και τοποθέτηση του πρώτου πυλώνα 30 cm από την προγραμματισμένη θέση έπρεπε να ξανά υπολογισθεί η θέση που θα τοποθετηθούν οι υπολειπόμενοι πυλώνες. Τέλος το σύστημα δυναμικής θεσιοθέτησης χρησιμοποιήθηκε στην τοποθέτηση των τμημάτων ασφαλτοτάπητα που απαιτούσε μεγάλη ακρίβεια.

Εν’ κατακλείδι, η Γέφυρα Ρίου - Αντιρρίου είναι η μεγαλύτερη σε μήκος καλωδιωτή γέφυρα στον κόσμο. Κατασκευαστικά αντιμετωπίστηκαν προκλήσεις που δεν είχαν συναντήσει σε άλλη γέφυρα παγκοσμίως τα βαθιά νερά, ο μαλακός πυθμένας καθώς και το σεισμογόνο τεκτονικό ρήγμα που περνάει από το μέσο της ήταν παράγοντες που απαιτούσαν περαιτέρω μελέτη, εξειδικευμένους μηχανικούς, νέες και «έξυπνες» τεχνολογίες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση χαρακτήρισε την Γέφυρα Ρίου - Αντιρρίου ως ένα από τα πιο επείγοντα κατασκευαστικά της έργα. Η γέφυρα άλλαξε την γεωγραφία της περιοχής. Οι μετακινήσεις και το εμπόριο αυξήθηκαν σε Ελλάδα και Ευρώπη.

Τέλος, με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δίνεται βήμα στους συναδέλφους Μηχανολόγους Μηχανικούς του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, να ασχοληθούν με τα συστήματα της δυναμικής θεσιοθέτησης. Το παρόν κείμενο ανέπτυξε πλήρως της κατασκευή ενός από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα παγκοσμίως και ανάλυσε τα βασικά συστήματα και εξοπλισμό που χρησιμοποιεί η δυναμική θεσιοθέτηση. Ως εξέλιξη αυτού θα ήταν δυνατό να αναλυθεί ο εξοπλισμός και ο συνδυασμός των συστημάτων ενός τέτοιου πλοίου καθώς επίσης και το κόστος κατασκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τρυφωνίδης Χ., 2013, Dynamic positioning, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή Μηχανικών, Νέα Μηχανιώνα
2. Σαράκας Δ, 2014, Δυναμική τοποθέτηση πλοίου, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό ίδρυμα Πειραιά, Αθήνα
3. Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια: <https://en.wikipedia.org/wiki/>
4. Natland James H., 2011, 50th anniversary of recovery of the first basalt core by means of scientific ocean drilling, <http://www.mantleplumes.org/50-YrAnniversary.html>
5. Μπρουζάκης Ι., Συστήματα διατήρησης θέσης στη Θάλασσα (DynamicPosition), Πανεπιστήμιο Αιγίου, Χίος.
6. Steinbeck. J., 2017, History of DP, <https://dynamic-positioning.com/history-of-dp/>
7. <https://www.netwasgroup.us/offshore/background-and-history.html>
8. https://www.researchgate.net/figure/The-SEDCO-445-1971-was-the-worlds-first-drillship-designed-for-the-petroleum-industry_fig1_282323327
9. Pelican class drillships technical specification, <https://www.scribd.com/document/243855158/Folder-pelican-class-drillships-pdf>
10. <https://www.tns.com.sg/marine-dynamic-positioning-system.html>
11. Thor. I Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley Publication, Norway 1994, pp 50-51.
12. Rignoge, How Does Dynamic Positioning Work https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=342&c_id=
13. Position Reference System: <https://offshoreengineering.com/platforms/bottom-founded/169-education/dynamic-positioning/267-position-reference-for-dp>
14. Racelogic Support Centre, 2018, <https://racelogic.support/>

[https://racelogic.support/01VBOX_Automotive/01General_Information/Knowledge_Base/How_Does_DGPS_\(Differential_GPS\)_Work%3F](https://racelogic.support/01VBOX_Automotive/01General_Information/Knowledge_Base/How_Does_DGPS_(Differential_GPS)_Work%3F)

15. James R. Clync, 2001, Naval Postgraduate School,
<https://www.oc.nps.edu/oc2902w/gps/dgpsnote.html>
16. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>
17. <http://www.admitnetwork.org/work-packages/gis-gps/>
18. <https://researchguides.library.wisc.edu/GIS>
19. <http://maritime-connector.com/dynamic-positioning/>
20. [https://www.guidance.eu.com/assets/_managed/cms/files/New%20Brochures/94-0446-4%20Artemis%20Mk5%20Brochure%20\(LR\).pdf](https://www.guidance.eu.com/assets/_managed/cms/files/New%20Brochures/94-0446-4%20Artemis%20Mk5%20Brochure%20(LR).pdf)
21. Ζούμπουλης Δ., Το δορυφορικό Σύστημα Galileo και η επίδραση του στη Ναυτιλία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
22. <https://www.gsa.europa.eu/segment/maritime>
23. Martyn Wingrove, 2016, Galileo launched for ship positioning and navigation, <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/galileo-launched-for-ship-positioning-and-navigation-30371>
24. Κοσμάς Σταυρός, 2013, Τεχνολογίες δορυφορικής πλοήγησης και εφαρμογές στην ναυτιλία, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή Μηχανικών, Νέα Μηχανιώνα
25. Τσούλης Ν., 2017, Δορυφορικό GPS για τα πλοία του Ειρηνικού μέσω του συστήματος Beidou της Κινέζικης κυβέρνησης, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή Μηχανικών, Νέα Μηχανιώνα
26. CyScan Laser Positioning System: <https://www.guidance.eu.com/cyscan>
27. Σύστημα αναφορά θέσης FanBeam: <https://seatronics-group.com/equipment-rental/hydrographic/navigation-software/mdl-fanbeam-42/>
28. Measurement Devices Limited Fanbeam 4.2 Operators Manual, 2011, Measurement Devices Limited Silverburn Crescent, Bridge of Don, Aberdeen AB23 8EW, Scotland, UK
https://www.maritimecorner.eu/media/shuttle/Fanbeam_4.2_Operators_Manual.pdf

29. <https://www.britannica.com/technology/gyrocompass>
30. <https://www.guidance.eu.com/radascan>
31. <https://www.kongsberg.com/maritime/products/vessel-reference-systems/position-systems/differential-absolute-relative-position-sensor/>
32. <https://www.kongsberg.com/maritime/products/vessel-reference-systems/motion-and-heading-sensors/motion-reference-unit/>
33. <https://www.intertek.com/energy-water/hydrodynamic-modelling/>
34. <https://cbi.tamucc.edu/cbi/Predictions/Hydrodynamic-Modeling/>
35. Λάζαρος Μ., 2012, Θεωρία βέλτιστου έλεγχου, Φίλτρο Kalman, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
36. <https://www.praxis-automation.nl/>
37. Μαστοράκης Κ., 2016, Παρακολούθηση πολλαπλών οχημάτων από δορυφορικά δεδομένα βίντεο με χρήση φίλτρων kalman, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
38. <https://unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/>
39. <http://dynamic-positioning.com/proceedings/dp1998/BHolvik.PDF>
40. Boletis R.E and De Lange N.Bulten, 2015, Impact of propulsion system integration and controls on the vessel DP and manoeuvring capability, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315021655>
41. Jerzy Herdzik, 2012, Challenges of ship propulsion Systems during dp operations, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 19, No. 2
42. The KMB Project, 2005 Energy-efficient all electric ship.
43. Αλέξης Ηλίας., 2018, Συστήματα πηδαλιουχίας – προώθηση/ αλλαγή κατεύθυνσης – Bow thrusters, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή Μηχανικών, Νέα Μηχανιώνα
44. Μουντάκης Σ. Στυλιανός, 2014, Ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος σε Matlab για την βέλτιστη μεσοπρόθεσμη διαχείριση ενέργειας σε πλοία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
45. Power Conversion: www.gepowerconversion.com

46. Ta T Van, Thien DM, Cang VT. Marine Propulsion System Reliability Assesment by Fault Tree Analysis. Int J Mech Eng Appl 2017;5:1–7. doi: 10.11648/j.ijmea.s.2017050401.11.
47. https://global.kawasaki.com/en/corp/sustainability/green_products/E-series_Rexpeller.html
48. Hightech Finland: <http://www.hightechfinland.com/>
49. Voith Marine Technology: <http://www.voith-schneider.gr/indexgr.php>
50. Κούτσιος Ιωάννης, 2013, Απωθητής πρόρας (bow thruster) RO/RO passengers ship, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή Μηχανικών, Νέα Μηχανιώνα,
51. <https://www.hydroarmorsales.com/en/products/retractable-and-tiltable-rudder-propellers>
52. The nautical institute dynamic positioning operator's certificate, 2012, The nautical institute 202 Lambeth Road London - SE1 7LQ United Kingdom.
53. <https://www.lerus-training.com/blog/industry-news/who-is-dynamic-positioning-operator-dpo/>
54. <https://www.lerus-training.com/blog/industry-news/how-to-get-dp-unlimited-certificate-new-ni-scheme/>
55. <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-step-by-step-guide-to-becoming-a-dynamic-positioning-dp-operator/>
56. Teyssandier, J.P. - Combault, J. - Morand, P. (2000). The Rion-Antirion Bridge Design and Construction. 12th World Conference on earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.
57. Pecker, A.(2003). Aseismic foundation design process, Lessons learned from two major projects: The Vasco da Gama and the Rion-Antirion Bridges. ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit. La Jolla, California.
58. Combault, J. - Morand, P. - Pecker, A., 2000. Structural Response of the Rion-Antirion Bridge. 12th World Conference on earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.
59. Teyssandier, J.P., Combault, J., Pecker, A., 2000.Rion Antirion: le pont qui défie les séismes. La Recherche, 334, 42-46.

60. Teyssandier, J.P., 2002, Corinthian Crossing." Civil Engineering, 72(10), 43 -49.
61. Combault, J., Morand, P., Pecker, A., 2000, Structural response of the Rion Antirion Bridge, Proc. of the 12th World Conf. on Earthq. Eng., Auckland, Australia.
62. Pecker, A., 1998, Capacity Design Principles For Shallow Foundations In Seismic Areas." Proc. 11th European. Conf.. on Earthq. Eng., A.A. Balkema Publishing.
63. Dobry, T., Abdoun, T., O'Rourke, T.D., Goh, S.H., 2003, Single piles in lateral spreads: Field bending moment evaluation". J. Geotech. and Geoenv. Eng., ASCE, 129(110), 879-889.
64. Dobry, R., Pecker, A., Mavroeidis, G., Zeghal, M., Gohl, B., Yang, D., 2003, Damping /Global Energy Balance in FE Model of Bridge Foundation Lateral Response, J. of Soil Dynamics and Earthq. Eng., 23(6), 483-495.
65. Teyssandier, J.P., 2003, The Rion-Antirion bridge, Design and construction., ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit. La Jolla, California.
66. <http://www.physics4u.gr/news/2004/scnews1498.html>
67. Combault J., 2011, The Rion-Antirion bridge—when a dream becomes reality, Article in Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China
68. Pecker A., 2004, Design and Construction of the Rion Antirion Bridge, Conference Paper in Geotechnical Special Publication
69. <https://www.in.gr/2019/11/21/tech/santorini-ksekinise-apostoli-tis-nasa-sto-yposalassio-ifaisteio-tou-koloumpou/>
70. <https://www.tanea.gr/2019/12/10/science-technology/apo-to-vytho-tis-santorinis-stin-eksereynisi-eksogiinon-okeanon/>
71. <https://www.in2life.gr/features/notes/article/1000168/ti-psahnei-h-nasa-ston-vytho-ths-santorinhs.html>
72. <https://www.isalos.net/>
73. <https://www.naftikachronika.gr/>
74. <https://e-nautilia.gr/>

75. <https://www.nationalgeographic.com/>