

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1701

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ
ΣΕ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ

ΔΟΥΚΑΣ ΑΛΕΞΙΟΣ, ΑΜ:6755
ΣΤΑΜΠΟΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΜ:6845
ΤΣΟΥΤΣΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΑΜ:6808

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ηλεκτροπρόωση είναι, για διάφορους λόγους, ή σχεδόν αποκλειστική επιλογή για την πρόωση υποβρύχιων οχημάτων. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στο να έχουν τα υποβρύχια ένα αυξημένο βαθμό «εξηλεκτρισμού» με ενδιαφέροντα από τεχνολογικής σκοπιάς Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (μεγάλης ισχύος ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλης χωρητικότητας σε Ah ηλ. συσσωρευτές, μεγάλης ισχύος ηλ. κινητήρες πρόωσης κλπ).

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύεται η λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την κίνηση και την επικοινωνία των υποβρυχίων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ηλεκτροπρόωση είναι, για διάφορους λόγους, ή σχεδόν αποκλειστική επιλογή για την πρόωση υποβρύχιων οχημάτων. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στο να έχουν τα υποβρύχια ένα αυξημένο βαθμό «εξηλεκτρισμού» με ενδιαφέροντα από τεχνολογικής σκοπιάς Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (μεγάλης ισχύος ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλης χωρητικότητας σε Ah ηλ. συσσωρευτές, μεγάλης ισχύος ηλ. κινητήρες πρόωσης κλπ).

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύεται η λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την κίνηση και την επικοινωνία των υποβρυχίων.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή σχετικά με την εξέλιξη και τη δράση των υποβρυχίων τόσο σε παγκόσμια όσο και σε ελληνικά χωρικά ύδατα.

Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται βασικές αρχές της φυσικής (άνωση, πίεση, κτλ) που είναι απαραίτητες για την κίνηση των υποβρυχίων. Κατόπιν στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα υποβρύχιο.

Στην συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι τύποι των υποβρυχίων με βάση τα συστήματα πρόωσης που διαθέτουν. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες είναι ή ηλεκτρική πρόωση και η πυρηνική πρόωση

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση των συστημάτων της ηλεκτρικής πρόωσης (ηλεκτροπρόωσης) που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα υποβρύχια του ελληνικού πολεμικού ναυτικού και στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο αναλύονται τα συστήματα επικοινωνίας των υποβρυχίων με τον έξω κόσμο (sonar και κεραίες).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	III
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	2
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	2
1.1 Ο αρχικός σχεδιασμός και η πρώτη χρήση	2
1.2 Τεχνολογικές εξελίξεις στην κατασκευή των υποβρυχίων κατά τους δύο παγκόσμιους πολέμους	5
1.2.1 Τα Υ/Β στον 2 ^ο ΠΠ.....	5
1.3 Αμέσως μετά τον πόλεμο	7
1.4 Το αληθινό Υ/Β.....	7
1.5 Τα πρώτα χρόνια	9
1.6 Πυρηνικά υποβρύχια 2 ^{ης} γενιάς	12
1.7 Η περίπτωση Alfa	15
1.8 Πυρηνικά υποβρύχια 3 ^η γενιάς	16
1.9 Τα πυρηνικά Υ/Β άλλων χωρών	19
1.10 Το μέλλον των πυρηνικών Υ/Β	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ	23
2.1 Η Δύναμη.....	23
2.1.1 Αναπαράσταση.....	24
2.1.2 Περιγραφές.....	24
2.1.3 Δύναμη και δυναμικό.....	25
2.2 Η Άνωση.....	26
2.2.1 Περιγραφή του φαινομένου	27
2.2.2 Μαθηματική περιγραφή	28
2.2.3 Παραδείγματα στατικής άνωσης.....	29
2.3 Η Πίεση	31
2.3.1 Η πίεση στα ρευστά	32

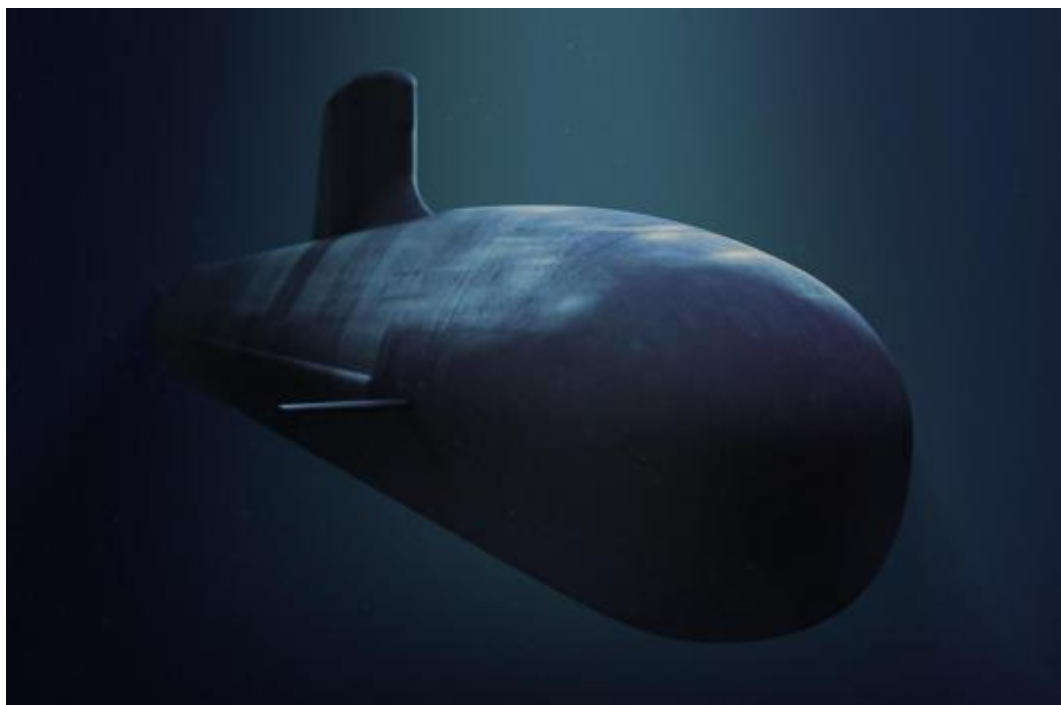
2.3.2	Μονάδες και μέτρηση της πίεσης	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	.....	34
ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ	.....	34
3.1	Μέρη ενός υποβρυχίου	34
3.1.1	Εξωτερικό σκάφος και σκάφος πίεσης	34
3.1.2	Κύριες δεξαμενές έρματος (MBT –main ballast tanks) ...	35
3.1.3	Πτερύγιο πλοίου ή γέφυρας	36
3.2	Γενική διαρρύθμιση ενός υποβρυχίου	37
3.3	Μορφές εξωτερικού θαλάμου υποβρυχίου	39
3.4	Δεξαμενές ενός υποβρυχίου	43
3.4.1	Δεξαμενή αντιστάθμισης	43
3.4.2	Δεξαμενές στερέωσης	45
3.4.3	Αρνητικές δεξαμενές ή δεξαμενές ταχείας κατάδυσης	46
3.4.4	Δεξαμενές Torpedo	46
3.4.5	Δεξαμενές αιωρήματος	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	.....	49
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΠΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ	.....	49
4.1	Πρόωση ντίζελ.....	49
4.2	Πρόωση ανέμου.....	50
4.3	Πυρηνική πρόωση.....	50
4.4	Πρόωση αεριοστροβίλου	51
4.5	Πρόωση κυψελών καυσίμου	52
4.6	Πρόωση καυσίμου βιοντίζελ	52
4.7	Ηλιακή πρόωση	52
4.8	Πρόωση με αμοστροβίλο	53
4.9	Ηλεκτροκίνητη πρόωση diesel	53
4.10	Πρόωση με εκτόξευση νερού.....	53
4.11	Καύσιμο φυσικού αερίου ή προωθητής καυσίμου Tri Fuel ...	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	.....	56
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗΣ.....	.....	56
5.1	Τι είναι η ηλεκτροπρόωση.....	56
5.1.1	Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης	56
5.1.2	Πλεονεκτήματα ηλεκτροπρόωσης.....	56

5.1.3	Μειονεκτήματα ηλεκτροπρόωσης	57
5.1.4	Ορολογία που χρησιμοποιείται	57
5.1.5	Ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης.....	58
5.1.6	Αζιμουθιακό σύστημα	59
5.1.7	Οδήγηση των ηλεκτροκινητήρων.....	61
5.1.8	Αρμονικές.....	65
5.1.9	Βοηθητικός εξοπλισμός	67
5.1.10	Συνεργασία έλικας-κινητήρα	67
	Εικόνα 50:Διάφορα συστήματα συνεργασίας έλικας-κινητήρα.....	67
5.2	Η πρόωση των Υ/Β και η χρήση συστημάτων Α.Ι.Ρ. διεθνώς .	68
5.3	Υποβρύχια Π.Ν. κλάσεως U209 (τ.ΓΛΑΥΚΟΣ και τ. ΠΟΣΕΙΔΩΝ)	71
5.3.1	Γενικά	71
5.3.2	Η εγκατάσταση πρόωσης.....	72
5.3.3	Συστοιχίες Ηλεκτρικών Συσσωρευτών	76
5.3.4	Λειτουργία Κινητήρα, Βαθμίδες και Είδη Προώσεως.....	77
5.3.5	Βαθμίδες Προώσεως	78
5.3.6	Είδη Προώσεως.....	80
5.4	Το Πρόγραμμα NEPTUNE-II του Π.Ν. εκσυγχρονισμού Υ/Β κλάσεως U209 τ.ΩΚΕΑΝΟΣ και εφοδιασμού τους με Κυψέλες Καυσίμου	82
5.4.1	Το Ηλεκτρικό Δίκτυο	88
5.4.2	Κυψέλες Καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC) Υποβρυχίων	90
5.4.3	Συστήματα-Δίκτυα Η2 και Ο2 και λοιπών απαραίτητων ..	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6		99
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ		99
6.1	Sonar(Sound Navigation and Ranging)	99
6.1.1	Είδη Sonar	99
6.1.2	Αρχή λειτουργίας Sonar	101
6.1.3	Ιστορική αναδρομή	101
6.1.4	Εφαρμογές των sonar	103
6.1.5	Τα κυριότερα είδη Sonar	105
6.1.6	Βιολογικές δράσεις των sonar	106

6.2	Συχνότητες επικοινωνίας	107
6.2.1	ELF(Extremely Low Frequencies) [Εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες: 30 Hz - 300 Hz / 10.000 Km - 1.000 Km μήκος κύματος]	107
6.2.2	VLF(Very Low Frequencies) [Πολύ χαμηλές συχνότητες 3 kHz - 30 kHz /100 Km - 10 Km μήκος κύματος]	108
6.2.3	HF (High Frequencies) [Υψηλές συχνότητες: 3 MHz - 30 MHz /100 m - 10 m μήκος κύματος]	108
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	110

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υποβρύχιο είναι είδος σκάφους που έχει τη δυνατότητα να κινείται επί και υπό την επιφάνεια της θάλασσας. Προσπερνώντας τις διάφορες απόπειρες, από την αρχαιότητα, κατασκευής υποβρυχίων που όμως δεν τελεσφόρησαν λόγω τεχνικής ανεπάρκειας, τα πρώτα υποβρύχια κατασκευάστηκαν τον 17ο και τον 18ο αιώνα και έμοιαζαν περισσότερο με μεταλλικούς κώδωνες που φιλοξενούσαν συνήθως ένα άτομο και στηρίζονταν για την κίνησή τους στη μυϊκή του δύναμη. Σήμερα τα υποβρύχια χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικούς και ερευνητικούς σκοπούς αλλά και για αναψυχή, καλούμενα συνήθως βαθυσκάφη



Εικόνα 1: Υποβρύχιο στο βυθό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

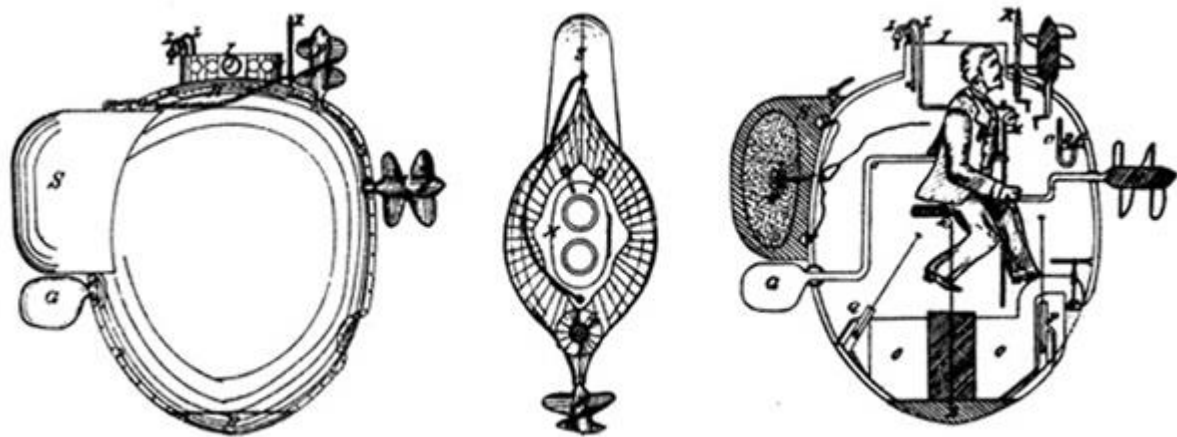
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Ο αρχικός σχεδιασμός και η πρώτη χρήση

Το 1775 ξέσπασε η επανάσταση 13 αποικιών της Αμερικής εναντίον του ζυγού της Μεγάλης Βρετανίας με σκοπό την ανεξαρτησία, που ήρθε επισήμως οκτώ χρόνια αργότερα με τη συνθήκη του Παρισιού στις 3 Σεπτεμβρίου 1783. Με τη συνθήκη, η Αγγλία παραχωρούσε τα εδάφη της στις ΗΠΑ. Κατά τη διάρκεια των πολυετών συγκρούσεων έγιναν σκληρές μάχες σε στεριά και θάλασσα. Μια από τις καθοριστικές στιγμές του πολέμου ήταν ο ναυτικός αποκλεισμός της Βοστώνης από τους Άγγλους, που εξασφάλιζε της συνέχιση της τροφοδοσίας.

Η ανάγκη να σπάσει ο ναυτικός αποκλεισμός από τους Άγγλους ήταν και ο λόγος που οδήγησε στην κατασκευή του πρώτου πολεμικού υποβρυχίου. Έδρασε τις πρώτες ημέρες της Αμερικανικής Επανάστασης το 1776 και έμοιαζε με δύο κελύφη χελώνας ενωμένα, που είχαν στην κορυφή ένα περισκόπιο. Από τη μορφή του πήρε και το όνομά του, «Turtle» (χελώνα). Εφευρέτης του σκάφους ήταν ο David Bushnell, φοιτητής στο Yale, ο οποίος το επινόησε και το σχεδίαζε κατά το διάστημα από το 1771 έως το 1775. Ο ταλαντούχος νέος συνδύασε τις τέσσερις βασικές προϋποθέσεις που απαιτούνται για την επιτυχή κατασκευή ενός υποβρυχίου:

- την ικανότητα να βυθιστεί στο νερό,
- την ικανότητα να ελιχθεί κάτω από το νερό,
- την ικανότητα να διατηρεί επαρκή παροχή αέρα για την υποστήριξη του χειριστή του σκάφους και
- τη δυνατότητα να διενεργεί αποτελεσματικές επιθετικές επιχειρήσεις εναντίον της επιφάνειας των εχθρικών πλοίων.



Σχήμα 1: Σχέδια του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου της «Χελώνας» (1775)

Για να τα πετύχει όλα αυτά, ο Bushnell επινόησε μια σειρά από σημαντικές καινοτομίες. Το «Turtle» ήταν το πρώτο υποβρύχιο που χρησιμοποιούσε το νερό ως έρμα για να βυθίζεται και να αναδύεται. Για τους ελιγμούς κάτω από το νερό, ήταν το πρώτο υποβρύχιο που είχε βιδωμένη προπέλα. Επίσης, ο Bushnell ήταν ο πρώτος που εξόπλισε ένα υποβρύχιο με συσκευή αναπνοής. Πρωτοποριακός ήταν και ο οπλισμός της «Χελώνας», η οποία διέθετε μια τορπίλη που έμοιαζε περισσότερο με νάρκη, αφού ο σκοπός της ήταν να προσκολληθεί επάνω στο κύτος του εχθρικού πλοίου. Το στοίχημα για τον Bushnell ήταν να αποδείξει ότι η πυρίτιδα θα μπορούσε να εκραγεί κάτω από το νερό και μάλιστα με την πρώτη μορφή «ωρολογιακής βόμβας», που θα επέτρεπε στον καπετάνιο της «Χελώνας» να τη συνδέσει στο πλοίο και στη συνέχεια να αποσυρθεί σε μια ασφαλή απόσταση προτού εκραγεί. Όμως, παρουσιάστηκαν τεχνικές δυσκολίες στο στάδιο της κατασκευής και όταν η «Χελώνα» ήταν έτοιμη να αναλάβει την αποστολή, ο βρετανικός στόλος είχε αποχωρήσει από τη Βοστώνη.



Εικόνα 2: Βασικό πρόβλημα του πρώτου πολεμικού υποβρυχίου ήταν ότι ο χειριστής έπρεπε να κάνει τα πάντα

Η παρθενική αποστολή της «Χελώνας» έγινε στις 6 Σεπτεμβρίου 1776 στο λιμάνι της Νέας Υόρκης, αλλά η επίθεση στο εχθρικό σκάφος απέτυχε. Το υποβρύχιο αποπειράθηκε δύο φορές να επιτεθεί σε βρετανικά πλοία, αλλά οι προσπάθειες δεν τελεσφόρησαν εξαιτίας της παλίρροιας και προβλημάτων πλοήγησης. Προτού γίνει ανασχεδιασμός ώστε να βελτιωθεί η επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα του σκάφους και να διορθωθούν τα λάθη που εντοπίστηκαν, η «Χελώνα» βυθίστηκε από εχθρικά πυρά στις 9 Οκτωβρίου 1776, μαζί με το ιστιοφόρο που τη συνόδευε. Παραμένει μυστήριο τι θα είχε πετύχει αυτό το υποβρύχιο εάν οι εφευρέτες του είχαν προλάβει να το αναβαθμίσουν και να βελτιώσουν τη λειτουργία του. Ανεξάρτητα όμως από την αποτυχία του εγχειρήματος, το «Turtle» ήταν ένα επαναστατικό επίτευγμα ναυπηγικής. Το 1785 ο George Washington έγραψε στον Thomas Jefferson: «Σκέφτηκα τότε και εξακολουθώ να πιστεύω ότι ήταν μια ιδιοφυής προσπάθεια. Το πρόβλημα με τη «Χελώνα», όπως έγραψε ο πρώην επικεφαλής του Κέντρου Ναυτικής Ιστορίας, Ernest M. Eller, ήταν η προσδοκία του Bushnell ότι μόνο ένας άνθρωπος θα μπορούσε να «διεξάγει ταυτόχρονα τα καθήκοντα του αξιωματικού σε συνθήκες κατάδυσης, του πλοηγού, του πυροβολητή και του μηχανικού, ενώ την ίδια στιγμή, θα πάλευε με τις παλίρροιας και τα ρεύματα και θα πλοηγούσε το σκάφος με τους μυς των χεριών του». Τα πολεμικά υποβρύχια κατάφεραν να φέρουν εις πέρας τις αποστολές τους πολλά χρόνια αργότερα, στην εποχή των μηχανών. Όμως, η κατασκευή του «Turtle» ήταν το απαραίτητο πρώτο βήμα που κατέστησε πιθανές όλες τις μελλοντικές εξελίξεις στη ναυπήγηση πολεμικών υποβρυχίων.

1.2 Τεχνολογικές εξελίξεις στην κατασκευή των υποβρυχίων κατά τους δύο παγκόσμιους πολέμους

Τα υποβρύχια (Υ/Β) που έλαβαν μέρος στους δύο παγκόσμιους πολέμους ήταν ουσιαστικά σκάφη επιφανείας με δυνατότητες υποθαλάσσιας πλεύσης για περιορισμένα χρονικά διαστήματα. Συνήθως χρησιμοποιούσαν τη δυνατότητά τους αυτή στην τελική φάση της προσέγγισης ενός στόχου και στη φάση της διαφυγής μετά την επίθεση.

Η υποβρύχια κίνηση επιτυγχανόταν με τη χρήση μπαταριών, γεγονός που υπέβαλε τα Υ/Β σε σημαντικούς περιορισμούς σε ότι αφορά την ταχύτητα και την ικανότητα ελιγμών, κυρίως όμως τα ανάγκαζε να αναδύονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό γίνονταν διότι οι μπαταρίες έπρεπε να φορτιστούν με τη λειτουργία του νηζελοκινητήρα, ο οποίος απαιτούσε οξυγόνο για να λειτουργήσει. Παράλληλα βέβαια χρειαζόταν και η ανανέωση των αποθεμάτων οξυγόνου για τη συντήρηση των πληρωμάτων και ο καθαρισμός της ατμόσφαιρας του Υ/Β από το διοξείδιο του άνθρακα.

1.2.1 Τα Υ/Β στον 2^ο ΠΠ

Αρχικά, το κυνήγι των Υ/Β γινόταν με τη χρήση της πρώτης μορφής ενεργού sonar που ονομαζόταν ASDIC από τα αρχικά των λέξεων Allied Submarine Detection Investigation Committee. Όμως η συγκεκριμένη διάταξη ήταν βραχείας εμβέλειας και η κύρια αξιοποίησή της ήταν στην καταδίωξη ενός ήδη αναγνωρισμένου υποβρυχίου στόχου. Παράλληλα, για πρώτη φορά στην ιστορία του πολέμου, πρωταρχικό ρόλο έπαιξε η συλλογή ηλεκτρονικών πληροφοριών (Electronic Intelligence - ELINT). Τα Γερμανικά Υ/Β είχαν συχνή επικοινωνία με τις βάσεις τους για την ενημέρωσή τους σχετικά με τις νηοπομπές-στόχους, αλλά και το συντονισμό της δράσης των ομάδων υποβρυχίων. Η υποκλοπή αυτών των επικοινωνιών αρχικά έδινε μια ένδειξη για την ευρύτερη περιοχή στην οποία βρισκότουσαν τα Υ/Β (Direction Finding - DF), ενώ το σπάσιμο των κωδικών enigma από ένα σημείο και έπειτα επέτρεπε στους συμμάχους να διαβάζουν και το περιεχόμενο των μηνυμάτων.

Προς το τέλος του πολέμου άρχισαν να εμφανίζονται αρκετές ενδιαφέρουσες καινοτομίες στη σχεδίαση των υποβρυχίων. Ο τύπος XXI εισήγαγε την καινοτομία του snorkel (αναπνευστήρας), μιας διάταξης απορρόφησης ατμοσφαιρικού αέρα, απαραίτητου για τη λειτουργία του νηζελοκινητήρα, ενώ το Υ/Β έπλεε σε βάθος περισκοπίου. Το μικρότερο ίχνος του snorkel στα ραντάρ σε σχέση με το ίχνος ενός Υ/Β σε ανάδυση δυσκόλεψε σημαντικά τον ανθυποβρυχιακό πόλεμο. Παράλληλα

ο ίδιος τύπος Υ/Β έφερε μεγαλύτερες μπαταρίες που του εξασφάλιζαν μεγαλύτερη αυτονομία και, σε συνδυασμό με ένα βελτιωμένο υδροδυναμικό σχήμα, μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτητα. Τα εξοπλισμένα με snorkel υποβρύχια ήταν σαφώς ανώτερα των προηγούμενων, όμως διατηρούσαν και πάλι μια στενή σχέση εξάρτησης με την επιφάνεια της θάλασσας.

Η έννοια του πραγματικού Υ/Β προσεγγίστηκε ακόμα περισσότερο με ένα πραγματικά επαναστατικό τύπο Υ/Β ο οποίος όμως ουσιαστικά δεν εισήλθε στον πόλεμο. Επρόκειτο για τον τύπο XXIV Walther, ο οποίος χρησιμοποιούσε υπεροξειδίο του υδρογόνου ως οξειδωτικό καύσης και εξασφάλιζε στο Υ/Β πολύ μεγαλύτερη αυτονομία σε ότι αφορά την αναγκαιότητα ανάδυσης.



Εικόνα 3: Το υποβρύχιο τύπου XXIV Walther

1.3 Αμέσως μετά τον πόλεμο

Οι πρώτες μεταπολεμικές τεχνολογικές εξελίξεις ήταν ουσιαστικά ο απόηχος του πολέμου και η ενσωμάτωση των Γερμανικών εξελίξεων στα Υ/Β των Αμερικανών και Σοβιετικών. Η ύπαρξη υποβρυχίων που κινούνταν κοντά, αλλά όχι πάνω από την επιφάνεια, χρησιμοποιώντας νηζελοκινητήρες, χάρις στο snorkel, εισήγαγε μια νέα παράμετρο. Μέχρι την εμφάνιση του snorkel, ένα υποβρύχιο σε κατάδυση χρησιμοποιούσε τις μπαταρίες του παράγοντας ελάχιστο θόρυβο, ενώ όταν λειτουργούσε ο νηζελοκινητήρας το Υ/Β βρισκόταν στην επιφάνεια και μεγάλο μέρος του θορύβου χανόταν στην ατμόσφαιρα ή αναμιγνυόταν με τους ήχους επιφανείας. Όταν όμως ένα Υ/Β χρησιμοποιούσε το snorkel για να κινηθεί με ταχύτητα (κατάσταση η οποία χαρακτήριζε μεγάλο μέρος της επιχειρησιακής ζωής του σκάφους), όλος ο θόρυβος από τη λειτουργία του νηζελοκινητήρα διαχεόταν στο νερό. Παράλληλα η πλεύση σε υψηλές ταχύτητες κοντά στην επιφάνεια δημιουργούσε έντονα φαινόμενα σπηλαίωσης.



Εικόνα 4: Προπέλα που δημιουργεί σπηλαίωση

1.4 Το αληθινό Υ/Β

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας ως μέσου πρόωσης άνοιξε μια νέα εποχή και παράλληλα δημιούργησε το πραγματικό Υ/Β. Η επίσημη αυλαία αυτής της εποχής άνοιξε τον Ιανουάριο του 1955 όταν το USS Nautilus έγινε το 1^ο πυρηνικό Υ/Β. Οι πρώτες εκτιμήσεις των επιχειρησιακών δυνατοτήτων ανέφεραν ότι «ήταν αδύνατο να εντοπισθεί από ραντάρ καθώς δεν χρειαζόταν να αναδύεται ή να χρησιμοποιεί snorkel, ήταν τόσο γρήγορο ώστε το ενεργό sonar δεν μπορούσε να εστιάσει πάνω

του, ενώ η ταχύτητα και η ευελιξία του επέτρεπαν να αποφεύγει με ευκολία επιθέσεις εναντίον του με τορπίλες». Από την άλλη πλευρά όμως ήταν θορυβώδες, καθώς οι αντλίες κυκλοφορίας του νερού ψύξης του αντιδραστήρα έδιναν σημαντικό θόρυβο στις χαμηλές συχνότητες, όπως επίσης και οι μειωτήρες στροφών του άξονα που μετέδιδε την κίνηση από τον ατμοστρόβιλο στις προπέλες.

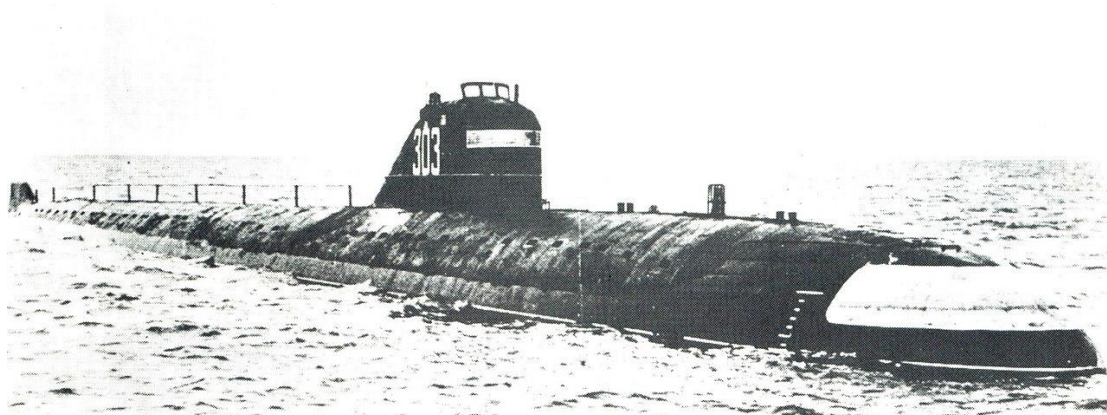


Εικόνα 5: Το USS Nautilus

Ήταν λοιπόν προφανές ότι το βάρος της ανθυποβρυχιακής προσπάθειας έπρεπε να στραφεί στις μεθόδους παθητικού ηχοεντοπισμού, ενώ αντίστοιχα η εξέλιξη των Υ/Β έπρεπε να έχει ως κύριο άξονα τη μείωση του παραγόμενου θορύβου. Αυτός ο φαύλος κύκλος έμελλε να είναι η κεντρική ιδέα των εξελίξεων μέχρι σήμερα.

Το πρώτο Σοβιετικό πυρηνικό υποβρύχιο που εισήλθε σε υπηρεσία ήταν το K-3 Ленинский Комсомола (Λενίνσκι Κομσομόλ), το 1958, εγκαινιάζοντας την, για το NATO, κλάση των November SSN. Οι τεχνολογικές εξελίξεις που ακολούθησαν ήταν ουσιαστικά αποτέλεσμα της έρευνας και εξελίξεις, αλλά και των επιχειρησιακών δογμάτων που ανέπτυξαν το Αμερικανικό και το Σοβιετικό Ναυτικό. Αναπτύχθηκαν τρεις τύποι πυρηνικών Υ/Β, ανάλογα με την αποστολή για την οποία προορίζονταν. Τα επιθετικά Υ/Β (SSN) με αποστολή τον εντοπισμό και καταστροφή άλλων Υ/Β, τα στρατηγικά Υ/Β (SSBN) ως πλατφόρμες εκτόξευσης στρατηγικών πυρηνικών όπλων

(βαλλιστικών πυραύλων), και τα Υ/Β κατευθυνομένων πυραύλων κατά σκαφών επιφανείας (SSGN) με στόχο την επίθεση κατά αεροπλανοφόρων. Τα SSGN αναπτύχθηκαν κυρίως από τη Σοβιετική Ένωση καθώς το αεροπλανοφόρο ήταν το κατ' εξοχήν ναυτικό όπλο των ΗΠΑ, ενώ το Σοβιετικό Ναυτικό απέκτησε το πρώτο πραγματικό του αεροπλανοφόρο μόνο στα τέλη της δεκαετίας του 80.



Εικόνα 6: Το σοβιετικό υποβρύχιο Λενίνσκι Κομσομόλ

1.5 Τα πρώτα χρόνια

Το Σεπτέμβριο του 1955 ο τότε επικεφαλής της Διοίκησης Επιχειρήσεων του Αμερικανικού Ναυτικού, ναύαρχος Arleigh Burke ανακοίνωσε επίσημα ότι στο εξής όλα τα αμερικανικά Υ/Β θα ήταν πυρηνοκίνητα. Λίγους μήνες αργότερα εμφανίστηκε το SSN 575 Seawolf, το οποίο χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως πλατφόρμα δοκιμών ενός αντιδραστήρα υγρού μετάλλου ο οποίος εκείνη την εποχή υποσχόταν πολύ καλές επιδόσεις σε μικρό μέγεθος. Οι δοκιμές του Seawolf οδήγησαν στην πλήρη υιοθέτηση των αντιδραστήρων νερού υπό πίεση και την εγκατάλειψη των σκέψεων για αντιδραστήρες υγρού μετάλλου.

Το 1957 ενεργοποιήθηκε το 1^ο από τα 4 Υ/Β της κλάσης Skate η οποία πέρασε μάλλον απαρατήρητη καθώς ήταν απλά ένα μεταβατικό στάδιο. Το 1959 εισήλθε στην υπηρεσία το 1^ο από τα 6 Skipjacks τα οποία ήταν τα πρώτα στα οποία χρησιμοποιήθηκε το νέο υδροδυναμικό σχήμα της «σταγόνας».

Τη διετία 1959-60 κατασκευάσθηκαν άλλα 3 Υ/Β τα οποία σε μεγάλο βαθμό έπαιξαν το ρόλο πλατφόρμων εξέλιξης. Επρόκειτο για τα Triton, Halibut και Tullibee. Αξίζει να μείνει κανείς στο Tullibee, το οποίο κατασκευάσθηκε με αντιδραστήρα που απέδιδε στον άξονα μόλις 2.500 SHP (Shaft horsepower) εν συγκρίσει με τα 15.000 SHP των Skipjacks, και με τη χρήση

ηλεκτρικής πρόωσης με στόχο τη μείωση του θορύβου που προκαλούσαν οι μειωτήρες στροφών στο άξονα των προηγούμενων SSN. Αυτό όμως είχε ως αποτέλεσμα και μια ταχύτητα μόλις στους 20 κόμβους. Μετά το Tullibee ελήφθη η απόφαση να εγκαταλειφθεί η προσπάθεια δημιουργίας διαφόρων τύπων SSN εξειδικευμένων σε συγκεκριμένες αποστολές και να εξελιχθεί ένας τύπος πολλαπλών αποστολών. Αποτέλεσμα αυτής της απόφασης, αλλά και της συσσωρευμένης εμπειρίας ήταν η κλάση που εγκαινιάστηκε το 1961 με το SSN 593 Thresher το οποίο ακολούθησαν άλλα 13 σκάφη.

Ουσιαστικά όλες οι μετέπειτα κλάσεις αμερικανικών Υ/Β έχουν ως βάση την κλάση Thresher, τα Υ/Β της οποίας ήταν και τα πρώτα που είχαν ως κύρια αποστολή την καταστροφή εχθρικών Υ/Β. Ήδη το Αμερικανικό Ναυτικό είχε αντιληφθεί ότι το κλειδί στον πόλεμο των Υ/Β θα ήταν ο παθητικός ηχοεντοπισμός. Ενώ οι προηγούμενες κλάσεις και κυρίως το Tullibee προσπαθούσαν να μειώσουν το θόρυβο αφαιρώντας παράγοντες που τον δημιουργούσαν, στα Thresher έγινε προσπάθεια να περιοριστεί ο θόρυβος στο κέλυφος του Υ/Β.

Πέρα όμως από τη χρήση του Υ/Β ως κυνηγού άλλων Υ/Β, είχε ήδη αναγνωρισθεί η αξία του ως στρατηγικού όπλου. Το 1947 το Αμερικανικό Ναυτικό είχε πειραματισθεί με επιτυχία στην εκτόξευση ενός γερμανικού V-1 από ένα νηζελοκίνητο Υ/Β της κλάσης Gato. Στις αρχές της δεκαετίας του 50 είχε ήδη εξελιχθεί ένας πύραυλος εκτοξευόμενος από Υ/Β ενώ την ίδια περίπου περίοδο και η Σοβιετική Ένωση απέκτησε αντίστοιχη δυνατότητα.

Το 1957, αποφασίσθηκε η μετατροπή 2 εκ των προγραμματισθέντων Skipjacks σε Υ/Β με δυνατότητα εκτόξευσης πυραύλων. Έτσι το 1959 κατελκύστηκε το SSBN 598 George Washington που ήταν το πρώτο πυρηνικό υποβρύχιο βαλλιστικών πυραύλων. Το Washington ήταν το 1^ο από μια σειρά 5 SSBNs τα οποία έφεραν 16 πυραύλους Polaris A1 με ακτίνα περίπου 1.000 ναυτικών μιλίων. Στη δεκαετία που ακολούθησε κατελκύστηκαν συνολικά 36 SSBN των κλάσεων Ethan Allen (5), Lafayette (19) και Benjamin Franklin (12), αποτελώντας μαζί με τα George Washington τα λεγόμενα «41 για την ελευθερία» (41 for freedom). Τα Υ/Β αυτά απετέλεσαν το σύνολο των Αμερικανικών SSBN μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 80 οπότε και εμφανίστηκαν τα Ohio.



Εικόνα 7: Οι καταπακτές πυραύλων ενός Lafayette SSBN

Η πρώτη γενιά Σοβιετικών πυρηνικών Υ/Β αποτελούταν από τρεις κλάσεις τα November SSN, Hotel SSBN και τα Echo SSGN. Ήδη φάνηκε μια πρώτη σημαντική διαφορά στις σχεδιαστικές παραμέτρους των δύο υπερδυνάμεων. Επρόκειτο για την ανάπτυξη εκ μέρους των Σοβιετικών των SSGNs τα οποία αποτελούσαν σκάφη με κύριο στόχο την καταστροφή των Αμερικανικών αεροπλανοφόρων με τη χρήση κατευθυνόμενων πυραύλων cruise. Τα Echo αποτελούσαν στην ουσία την πυρηνοκίνητη έκδοση των Juliet SSG (P651) και έφεραν αρχικά 6 πυραύλους SS-N-3 με ακτίνα δράσης 400 μίλια (μετά το 1962 αντικαταστάθηκαν από 8 SS-N-12).

Για την εκτόξευση των πυραύλων τους τα Echo έπρεπε να αναδυθούν και είτε να θέσουν σε λειτουργία το ραντάρ καθοδήγησης των πυραύλων (μέσου ύψους) είτε να παραδώσουν την καθοδήγηση τους σε αεροσκάφη ναυτικής συνεργασίας. Στη φάση της ανάδυσής του το Υ/Β ήταν ιδιαίτερα ευάλωτο σε προσβολή από αεροσκάφη και πλοία επιφανείας. Από το 1958 έως το 1968 αναπτύχθηκαν συνολικά 13 November, 8 Hotel και 34 Echo I και II. Συγκριτικά με τα Αμερικανικά Υ/Β της ίδιας περιόδου τα HEN (από τα πρώτα γράμματα των ονομάτων των τριών κλάσεων) ήταν περίπου ισοδύναμα του Ναυτίλου και των Skates σε ότι αφορά την παραγωγή θορύβου και ιδιαίτερα ευάλωτα σε μεθόδους παθητικού ηχοεντοπισμού, ενώ, σε αντίθεση με τα Αμερικανικά, είχαν όλα 2 αντιδραστήρες και 2 προπέλες.

1.6 Πυρηνικά υποβρύχια 2^{ης} γενιάς

Η περίοδος από το 1965 έως τα μέσα της δεκαετίας του 70 χαρακτηρίστηκε από μια προφανή διαφορά στη σχεδιαστική φιλοσοφία ανάμεσα στις δύο υπερδυνάμεις. Ο κεντρικός άξονας κατεύθυνσης του Αμερικανικού Ναυτικού ήταν σαφέστατα η αναζήτηση μεθόδων περιορισμού της εκπομπής θορύβων από τις λειτουργίες του Υ/Β και η εξέλιξη των μεθόδων παθητικού ηχοεντοπισμού. Από την άλλη πλευρά το Σοβιετικό Ναυτικό προσπαθούσε να εξελίξει τα Υ/Β του στη λογική της αντιμετώπισης των τακτικών και στρατηγικών απειλών που αντιμετώπιζε. Ουσιαστικά η διαφορά ανάμεσα στις δύο φιλοσοφίες ήταν ότι οι Αμερικανοί ανέπτυσαν αυτόνομα τα πυρηνικά Υ/Β και δημιουργούσαν ένα εντελώς νέο επιχειρησιακό περιβάλλον, ενώ οι Σοβιετικοί προσπαθούσαν να προσαρμόσουν τα πυρηνικά Υ/Β στο υπάρχον πλαίσιο ναυτικών επιχειρήσεων.

Η κατάσταση αυτή οδήγησε αρκετές φορές το Σοβιετικό Ναυτικό στην εξέλιξη κάποιων πραγματικά εντυπωσιακών υποβρυχίων (ZhTS, Para, Alfa) ή και σε σημαντικά τακτικά βήματα (πρώτη εκτόξευση πυραύλου cruise εν καταδύσει). Κάθε τέτοια εξέλιξη προκαλούσε αρχικά πανικό στο Αμερικανικό Ναυτικό το οποίο αναζητούσε άμεσα την απάντηση. Το παιχνίδι αυτό κρίθηκε υπέρ των Αμερικανών για δύο βασικούς λόγους: οι τεχνολογικές εξελίξεις των Σοβιετικών ήταν συχνά τεχνολογικά ασταθείς και μεσοπρόθεσμα προβληματικές και οι απαντήσεις των Αμερικανών ήταν σε επίπεδο αναδιαμόρφωσης των ανθυποβρυχιακών τακτικών τους και όχι σε αυτό της παρέκκλισης από το βασικό άξονα εξέλιξης (περιορισμός θορύβου, παθητικός ηχοεντοπισμός).

Το πρώτο Αμερικανικό Υ/Β δεύτερης γενιάς ήταν το SSN 637 Sturgeon (1967). Αρχικά το Sturgeon είχε σχεδιαστεί ως συνέχεια της κλάσης Thresher, όμως εξελίχθηκε σε νέα κλάση. Στα Υ/Β της κλάσης τοποθετήθηκαν συστήματα ανάλυσης συχνοτήτων και απομόνωσης των μηχανικών θορύβων, αξιοποιώντας τις τεχνικές επεξεργασίας σήματος LOFAR (Low Frequency Analysis and Ranging). Παράλληλα στα Υ/Β της κλάσης ξεκίνησαν οι δοκιμές της χρήσης ρυμουλκούμενων sonar. Αυτά τα δύο στοιχεία ήταν και εκείνα που επέτρεψαν για πρώτη φορά τη δημιουργία βιβλιοθηκών με τις ηχητικές υπογραφές των Σοβιετικών Υ/Β. Κάθε κλάση και ακόμα και κάθε σκάφος είχαν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία μέσω του LOFAR μπορούσαν πια να αναλυθούν και να καταγραφούν. Έτσι ήταν δυνατή η ταυτοποίηση των Σοβιετικών Υ/Β σε επίπεδο σκάφους.

Μια άλλη δυνατότητα την οποία προσέφεραν για πρώτη φορά τα εξελιγμένα συστήματα παθητικού ηχοεντοπισμού σε συνδυασμό

με το σφαιρικό sonar της πλήρης που εξασφάλιζε ευρύτερη κάλυψη χώρου, ήταν η δυνατότητα παρακολούθηση ενός Σοβιετικού Υ/Β από μικρή απόσταση, καθώς τα στοιχεία από την επεξεργασία των ηχητικών σημάτων ήταν αρκετά πιο αξιόπιστα σε ότι αφορά την απόσταση από το εντοπισμένο Υ/Β. Έτσι αναπτύχθηκε η τακτική της προσέγγισης του εχθρικού Υ/Β από τα νώτα σε μικρές αποστάσεις, και η παρακολούθηση εκ του σύνεγγυς. Από το 1967 έως το 1975 αναπτύχθηκαν 37 Υ/Β της κλάσης Sturgeon.

Τη ίδια περίοδο αναπτύχθηκαν και 2 ακόμα SSN τα οποία λειτούργησαν ως πιλοτικές πλατφόρμες δοκιμής νέων συστημάτων. Επρόκειτο για τα SSN 671 Narwall (1969), και SSN 685 Lipscomb (1974). Το Narwall χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή ενός συστήματος ροής του νερού ψύξης με φυσική συναγωγή, χωρίς δηλαδή αντλίες οι οποίες ήταν πάντα ένας από τους σημαντικούς παράγοντες θορύβου. Το Lipscomb ήταν όμοιο με τα Sturgeon με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούσε σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης (Turbo Electric Drive System). Παρότι ήταν πολύ πιο αθόρυβο από τα άλλα Υ/Β της εποχής του, η αρκετά χαμηλή ταχύτητα το μεγάλο βάρος και ο όγκος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, απέκλεισαν τη χρήση TEDS στα Υ/Β που ακολούθησαν.

Τα Σοβιετικά Υ/Β δεύτερης γενιάς διακρίνονται σε αρκετές διαφορετικές κλάσεις. Αρχικά το Σοβιετικό Ναυτικό προσπάθησε να καλύψει την εμφανή υστέρησή του σε ότι αφορά τον αριθμό, αλλά και την ποιότητα των SSBN. Έτσι ξεκίνησε το 1964 την ανάπτυξη της κλάσης Yankee τα οποία ήταν ουσιαστικά αντίγραφα των Αμερικανικών George Washington. Αναπτύχθηκαν συνολικά 34 Yankee I και II τα οποία έφεραν μετά το 1972 16 πυραύλους SS-N-6 με ακτίνα δράσης 1.700 nm. Αρκετά από τα Yankee υπέστησαν μετά το 1977 μετατροπές που αφορούσαν κυρίως τη δοκιμή διαφόρων τύπων βαλλιστικών πυραύλων αλλά και την εκτέλεση ειδικών αποστολών. Έτσι αρκετές φορές αναφέρονται και αρκετές υποκατηγορίες της κλάσης.

Το 1972 εμφανίστηκε η πρώτη έκδοση της κλάσης Delta. Οι πραγματικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα Yankee ήταν μικρές, άλλωστε για το Σοβιετικό Ναυτικό επρόκειτο απλά για μια παραλλαγή των τελευταίων. Αρχικά έφεραν 12 πυραύλους SS-N-8 με ακτίνα δράσης περίπου 4.200 nm. Στα επόμενα χρόνια εμφανίστηκαν αρκετές παραλλαγές των Delta. Συνολικά κατεσκευάστηκαν 18 Delta I, 4 Delta II, 14 Delta III, ενώ μετά το 1985 αναπτύχθηκαν 7 Delta IV, 6 εκ των οποίων παραμένουν σε υπηρεσία μέχρι σήμερα. Προφανώς τα Delta IV αν και ως αρχικό σχέδιο ανήκουν στα πυρηνικά Υ/Β 2^{ης} γενιάς ενσωματώνουν αρκετές από τις τεχνολογικές εξελίξεις της 3^{ης} γενιάς.

Αν σε ότι αφορά τα SSBN 2^{ης} γενιάς η προσέγγιση των Σοβιετικών ήταν σχεδιαστικά συμβατική, δε συνέβη το ίδιο με τα SSN και SSGN της ίδιας περιόδου. Αμέσως μετά την κατασκευή του 1^{ου} Σοβιετικού πυρηνικού Υ/Β ξεκίνησε ο σχεδιασμός ενός επιθετικού Υ/Β το οποίο θα χρησιμοποιούσε 2 αντιδραστήρες ψυχόμενους από υγρό μέταλλο. Το αποτέλεσμα ήταν το Π645 ZhMT (1963). Το συγκεκριμένο σκάφος αντιμετώπισε πολλά προβλήματα με τους αντιδραστήρες του μέχρι που ένα σημαντικό ατύχημα το 1968 το έθεσε εκτός υπηρεσίας.

Το 1965 παρουσιάστηκαν τα Victor SSN με κύρια αποστολή τον εντοπισμό και καταστροφή εχθρικών SSBN. Σε σχέση με τα σύγχρονά τους Sturgeon ήταν αρκετά πιο γρήγορα (+5 knts) αλλά υστερούσαν σημαντικά σε ηχομόνωση. Σημαντικό στοιχείο του εξοπλισμού τους ήταν η ύπαρξη μιας πυρηνικής τορπίλης σε εξωτερικό τορπιλοσωλήνα, ενώ τα Victor ήταν τα πρώτα Σοβιετικά Υ/Β που είχαν μόνο ένα αντιδραστήρα. Συνολικά κατασκευάστηκαν 22 Victor I και II, ενώ το 1978 εμφανίστηκε μια παραλλαγή η οποία χαρακτηρίστηκε ως Victor III. Σε αυτή την παραλλαγή έγινε για πρώτη φορά κάποια σοβαρή προσπάθεια εκ μέρους του Σοβιετικού Ναυτικού σε ότι αφορά την ηχομόνωση ενώ παράλληλα ήταν και τα πρώτα Σοβιετικά Υ/Β που εξοπλίστηκαν με ρυμουλκούμενο sonar. Τα Victor III ήταν ουσιαστικά η πρώτη ένδειξη για την αλλαγή του σχεδιαστικού κέντρου βάρους του Σοβιετικού Ναυτικού προς την κατεύθυνση της ηχομόνωσης και του παθητικού ηχοεντοπισμού, αποτελώντας το συνδετήριο κρίκο με τα Υ/Β τρίτης γενιάς που εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 80.

Το 1969 εμφανίστηκε το πιο γρήγορο, επιχειρησιακά ενεργό, Υ/Β που κατασκευάστηκε ποτέ. Το K-162 (Π661, ή Para για το NATO), ήταν ένα SSGN που φιλοδοξούσε να αποτελέσει το αντίδοτο στη Αμερικανική υπεροχή σε σκάφη επιφανείας. Λίγα πράγματα είναι γνωστά σε ότι αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πέραν του ότι ήταν κατασκευασμένο από κράμα τιτανίου, έφερε 10 πυραύλους SS-N-9 και έχει αναφερθεί ότι στη φάση των δοκιμών του έφτασε την απίστευτη ταχύτητα των 44,7 knts εν καταδύσει. Βέβαια το τίμημα γι αυτή την υψηλή ταχύτητα ήταν αφενός τα πολύ υψηλά επίπεδα θορύβου και αφετέρου το πολύ υψηλό κόστος κατασκευής. Το Para δεν αποτέλεσε κλάση καθώς δεν κατασκευάστηκε άλλο, μια και στα μέσα της δεκαετίας του 70 το Σοβιετικό Ναυτικό, στράφηκε οριστικά προς τους πιο «συμβατικούς» τύπους πυρηνικών Υ/Β.

Η δεκαετία του 60 έκλεισε με μια πρωτιά για τα Σοβιετικά Υ/Β. Το 1969 τα Υ/Β της κλάσης Π670Α (κατά NATO Charlie I) έγιναν τα πρώτα στο κόσμο που είχαν τη δυνατότητα εκτόξευσης εν καταδύσει, πυραύλων κατά σκαφών επιφανείας. Παράλληλα με αυτή τη δυνατότητα, η εμφάνισή τους ήταν σχεδόν ταυτόχρονη με την εκτόξευση των πρώτων Σοβιετικών δορυφόρων με

δυνατότητα κατεύθυνσης των πυραύλων. Οι δύο αυτές παράμετροι έδιναν λύση σε αρκετά από τα επιχειρησιακά προβλήματα που αντιμετώπιζαν τα Echo και έχουν ήδη αναφερθεί. Ουσιαστικά δηλαδή η δυνατότητα εκτόξευσης εν καταδύσει, σε συνδυασμό με τους δορυφόρους ναυτικής συνεργασίας, συνιστούσαν μια σημαντική απειλή η οποία αναστάτωσε το Αμερικανικό Ναυτικό και το ανάγκασε να εξελίξει τις ανθυποβρυχιακές επιχειρησιακές τακτικές των σκαφών επιφανείας.

Στην πράξη, τα σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία και την αξιοπιστία των Σοβιετικών δορυφόρων ναυτικής συνεργασίας ουσιαστικά αφαίρεσαν τη μία συνιστώσα του προβλήματος, καθώς τα Σοβιετικά SSGN θα συνέχιζαν να εξαρτώνται από αεροσκάφη ναυτικής συνεργασίας για την καθοδήγηση των πυραύλων. Τελικά κατασκευάστηκαν μόνο 17 Charlie I και II τα οποία ουδέποτε απετέλεσαν την απειλή για την οποία προετοιμάστηκε το Αμερικανικό ναυτικό. Περίπου 12 χρόνια μετά, η εμφάνιση των Oscar SSGN σε συνδυασμό με την εξέλιξη νέων βελτιωμένων τύπων πυραύλων και την αποτελεσματική λειτουργία των δορυφόρων ναυτικής συνεργασίας, στοιχειοθέτησαν μια πραγματική απειλή.

1.7 Η περίπτωση Alfa

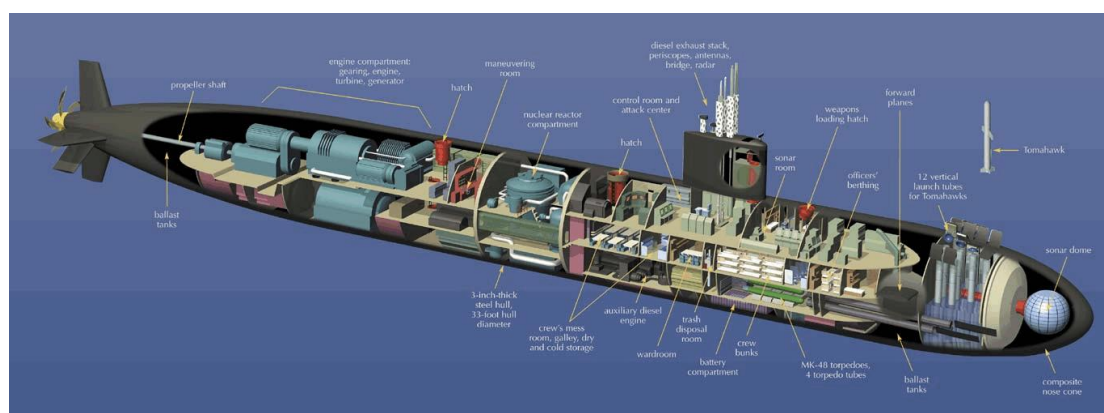
Τα Alfa ήταν ίσως τα πιο εντυπωσιακά, από πλευράς επιδόσεων, Υ/Β που κατασκευάστηκαν ποτέ. Βασίστηκαν σε σχέδια της δεκαετίας του 50 που αποσκοπούσαν στην κατασκευή ενός μικρού Υ/Β, ικανού να επιτύχει μεγάλες ταχύτητες ώστε να σπεύσει να αντιμετωπίσει τα εχθρικά αεροπλανοφόρα σε περίπτωση σύρραξης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας αντιδραστήρας ψυχόμενος από μίγμα μολύβδου-βισμούθιου (Liquid Metal Reactor), ο οποίος ήταν ικανός να αποδίδει μεγάλη ενέργεια ενώ είχε μικρό μέγεθος.

Προέκυψε έτσι ένα Υ/Β με μήκος 80m με πλήρωμα 43 ατόμων (μόνο αξιωματικοί), το οποίο είχε την ικανότητα να αναπτύσσει ταχύτητες μέχρι και 43 κόμβους. Η ικανότητά του αυτή να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες ανάγκασε το σχεδιαστή να προβλέψει και αντοχή σε μεγάλα βάθη καθώς μια κάθοδος με μεγάλη ταχύτητα θα το έφερνε πολύ γρήγορα στα συμβατικά βάθη επιχειρήσεων των Υ/Β αφαιρώντας από το πλήρωμα τη δυνατότητα να διορθώσει την πορεία του. Έτσι για το κέλυφος του σκάφους χρησιμοποιήθηκε κράμα τιτανίου. Μάλιστα κατασκευάστηκε στη Σοβιετική Ένωση ολόκληρο εργοστάσιο μόνο για την απαραίτητη κατεργασία του τιτανίου για το κέλυφος των Alfa. Έτσι τα Υ/Β φέρονται να είχαν μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος γύρω στα 1.000m (Σχεδόν τριπλάσιο από όλα τα υπόλοιπα Υ/Β) και βάθος σύνθλιψης πιθανώς κάτω και από τα 1.200m. Το πρώτο Alfa εισήλθε στην υπηρεσία το 1972 και

προκάλεσε πραγματικό πανικό στο Αμερικανικό ΠΝ για ένα πολύ απλό λόγο. Αν και πολύ θορυβώδες, άρα εύκολο να εντοπιστεί, το Alfa ήταν σχεδόν αδύνατο να καταστραφεί. Η δυνατότητα ελιγμών του, χάρις στη μεγάλη ταχύτητα και την ικανότητα κατάδυσης σε μεγάλο βάθος, το καθιστούσαν απρόσβλητο από τις торπίλες της εποχής οι οποίες είχαν μέγιστη ταχύτητα 45 κόμβους καθώς ήταν σχεδιασμένες να καταδιώκουν και να καταστρέφουν Υ/Β με μέγιστη ταχύτητα 30 κόμβους. Η κατάσταση αυτή οδήγησε το Αμερικανικό ΠΝ στην ανάπτυξη νέων τύπων торπιλών με βελτιωμένες επιδόσεις για την αντιμετώπιση της απειλής. Στην πραγματικότητα τα Alfa ποτέ δεν απετέλεσαν την απειλή που φοβήθηκαν οι Αμερικανοί. Η μεγάλη αυτοματοποίηση των λειτουργιών του Υ/Β και ιδιαίτερα του αντιδραστήρα, οδήγησαν σε συχνές βλάβες και ατυχήματα με αποτέλεσμα τα Alfa να περνούν το μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου τους σε επισκευές. Το αποτέλεσμα ήταν ότι κατασκευάστηκαν μόνο 7 τα οποία ποτέ δεν μπόρεσαν να αποτελέσουν αξιόμαχες μονάδες.

1.8 Πυρηνικά υποβρύχια 3^η γενιάς

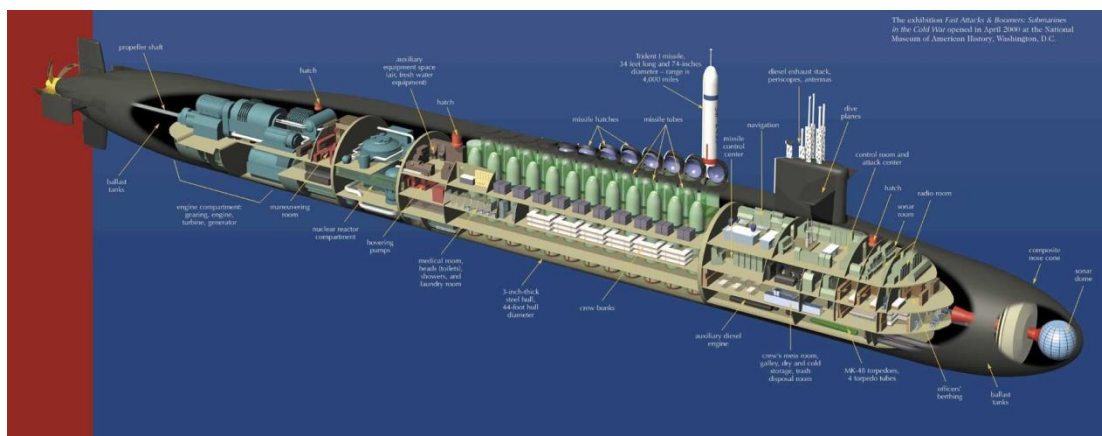
Το 1976 κατελκύστηκε το SSN688 Los Angeles. Τα Υ/Β της κλάσης Los Angeles σχεδιάστηκαν με κύρια αποστολή την προστασία των Αμερικανικών αεροπλανοφόρων από τα Σοβιετικά SSGN και SSN. Ήταν το αποτέλεσμα σχεδόν 20 χρόνων εμπειρίας στην κατασκευή και λειτουργία πυρηνικών Υ/Β και ενσωμάτωναν όλες τις τεχνολογικές και κατασκευαστικές εξελίξεις που τα καθιστούσαν ιδιαίτερος αθόρυβα και αρκετά γρήγορα ώστε να μπορούν να συνοδεύουν τις μοίρες αεροπλανοφόρων τις οποίες προστάτευαν. Παράλληλα έφεραν τα πιο εξελιγμένα συστήματα υπολογιστών που είχαν ποτέ τοποθετηθεί σε πολεμικά σκάφη, με κύριο στόχο τον έγκαιρο και αξιόπιστο εντοπισμό των Σοβιετικών Υ/Β και την παρακολούθησή τους.



Εικόνα 8 : Σχηματικό διάγραμμα ενός Los Angeles SSN

Τα Υ/Β αυτής της κλάσης απετέλεσαν το κύριο επιθετικό Υ/Β των ΗΠΑ στη φάση της κορύφωσης του πολέμου των υποβρυχίων, δηλαδή στο 2^ο μισό της δεκαετίας του 70 και τη δεκαετία του 80. Κατασκευάστηκαν συνολικά 62 σκάφη, 23 από τα οποία (μετά το 1982) συχνά αναφέρονται ως ξεχωριστή κλάση (San Juan ή Los Angeles improved). Αναμένεται να συνεχίσουν να αποτελούν τον κορμό της δύναμης επιθετικών Υ/Β του Αμερικανικού Ναυτικού μέχρι το 2015.

Το 1981 ξεκίνησε και η ανανέωση του στόλου των SSBN με την καθέλκυση του Ohio. Με εκτόπισμα 18.750 tn (σε κατάδυση) πρόκειται για τα μεγαλύτερα Υ/Β που κατασκευάστηκαν από τις ΗΠΑ και κάθε ένα από αυτά φέρει ισχύ πυρός που ξεπερνά αυτή των περισσότερων χωρών του πλανήτη. Τα Υ/Β βαλλιστικών πυραύλων της κλάσης Ohio θεωρούνται τα πιο αθόρυβα Υ/Β που έχουν κατασκευασθεί ποτέ. Οι φήμες αναφέρουν ότι ποτέ κανένα Υ/Β, ούτε καν κάποιο από τα Αμερικανικά Los Angeles, μπόρεσε ποτέ να εντοπίσει και να παρακολουθήσει ένα Ohio.



Εικόνα 9: Σχηματικό διάγραμμα ενός Ohio SSBN

Από την ενεργοποίηση του πρώτου σκάφους (SSBN 726 Ohio) μέχρι το 1997 (SSBN 743 Louisiana), οπότε και ολοκληρώθηκε η κλάση, καθελκύστηκαν συνολικά 18 Υ/Β τα οποία αποτελούν το ένα σκέλος της πυρηνικής τριάδας των ΗΠΑ. Το κόστος λειτουργίας ενός Ohio ανέρχεται σε \$50.000.000 το χρόνο (οικονομικό έτος 1996). Σήμερα ένα Ohio φέρει 26 πυραύλους Trident II (14 σκάφη) και I (4 σκάφη) με ακτίνα δράσης 4.000nm.

Όταν το 1980 εμφανίστηκε το πρώτο από τα δύο Oscar I SSGN το NATO πίστευε ότι επρόκειτο για ένα νέο τύπο SSBN. Με εκτόπισμα σε κατάδυση 16.000 tn (στα Oscar II έφτασε τους 20.000 tn) και μήκος 154m ήταν ελάχιστα μικρότερο των Delta III SSBN και των Ohio SSBN. Το μέγεθός του σε συνδυασμό με το διπλό κέλυφος (ένα εσωτερικό σκάφος πίεσης και ένα εξωτερικό υδροδυναμικό σκάφος με 15cm μεταξύ τους γεμισμένα με ηχομονωτικό υλικό) εξασφαλίζει στα Oscar

μεγάλες πιθανότητες επιβίωσης ακόμα και από άμεσο πλήγμα συμβατικής торπίλης, αλλά και εξαιρετική πλευστότητα. Φέρουν 24 πυραύλους cruise κατά σκαφών επιφανείας SS-N-19 με ακτίνα δράσης 300nm. Τα Oscar εξακολουθούν, ακόμα και μετά την πτώση της Σοβιετικής Ένωσης, να περιβάλλονται από μυστικότητα σε ότι αφορά τον ακριβή αριθμό τους, και πολλά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Πιστεύεται ότι κατασκευάστηκαν 2 Oscar I τα οποία παροπλίστηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 90 και 11 Oscar II, από τα οποία 1 ή 2 παροπλίστηκαν και το Кyрск χάθηκε στο γνωστό ατύχημα. Επίσης αναφέρεται ότι 2 ακόμα σκάφη είναι υπό κατασκευή. Χωρίς αμφιβολία τα Oscar II είναι από τα πιο εξελιγμένα Υ/Β που έχουν κατασκευαστεί και φέρουν συμβατική ισχύ πυρός η οποία θα μπορούσε να καταστρέψει σε μια εμπλοκή το σύνολο του πολεμικού ναυτικού πολλών χωρών του κόσμου. Δεν ήταν λίγες οι περιπτώσεις στα μέσα και τέλη της δεκαετίας του 90 που Υ/Β αυτού του τύπου εντοπίστηκαν σε μικρή απόσταση από τις ακτές των ΗΠΑ να παρακολουθούν μοίρες αεροπλανοφόρων.

Ένα χρόνο αργότερα, το 1981 εμφανίστηκε ένα Υ/Β που δε θα μπορούσε να είναι οτιδήποτε άλλο από Υ/Β βαλλιστικών πυραύλων. Το П941, κατά NATO Typhoon, με μήκος 172m και εκτόπισμα 33.800tn ήταν μεγαλύτερο από τα αεροπλανοφόρα του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου και το μεγαλύτερο Υ/Β που έχει κατασκευασθεί ποτέ. Τα Typhoon φέρουν 20 πυραύλους SS-N-20 με ακτίνα δράσης 5.500nm. Είναι επίσης τα μοναδικά SSBN που έχουν το διαμέρισμα των πυραύλων μπροστά από τον πύργο διακυβέρνησης. Κατασκευάστηκαν συνολικά 6 σκάφη εκ των οποίων πιστεύεται ότι παραμένουν σε υπηρεσία 3. Και πάλι, όπως και με τα Oscar τα στοιχεία δεν είναι απόλυτα επιβεβαιωμένα.

Όμως η πραγματική ανατροπή της μέχρι τότε υφιστάμενης κατάστασης ήρθε με τα Akula SSN. Αναφέρονται τρεις τύποι, το αρχικό σχέδιο, τα βελτιωμένα Akula και τα Akula II. Η ακριβής κατανομή των 15 σκαφών που κατασκευάστηκαν στους τρεις τύπους είναι αβέβαιη. Το πιθανότερο είναι ότι τα βελτιωμένα Akula εισήλθαν στην υπηρεσία στα τέλη της δεκαετίας του 80, ενώ τα Akula II στις αρχές της δεκαετίας του 90. Τα βελτιωμένα Akula θεωρείται ότι είναι ισάξια των αρχικών Los Angeles σε ότι αφορά τα επίπεδα θορύβου, αλλά και αρκετές από τις επιχειρησιακές δυνατότητες, ενώ τα Akula II πιστεύεται ότι είναι τουλάχιστο στα επίπεδα των βελτιωμένων Los Angeles. Σε κάθε περίπτωση τα Akula II (μαζί με τα Sierra II) είναι σίγουρα τα πιο «ήσυχα» που κατασκευάστηκαν ποτέ από τη Σοβιετική Ένωση – Ρωσία.

Το μοναδικό Υ/Β του σχεδίου 685 με το Σοβιετικό όνομα Комсомолец (Κομσομόλετς) και το χαρακτηρισμό Mike από το NATO, παραμένει σε μεγάλο βαθμό μυστηριώδες. Ακόμα και

μετά την πτώση της Σοβιετικής Ένωσης λίγα πράγματα έγιναν γνωστά για αυτό το σκάφος. Εισήλθε στην υπηρεσία το 1984 και χαρακτηρίστηκε ως SSN. Το πιθανότερο είναι ότι επρόκειτο για Υ/Β δοκιμών με κύριο σκοπό τη δοκιμή εξελιγμένων οπλικών και ηλεκτρονικών συστημάτων. Φαίνεται πως είχε τη δυνατότητα εκτόξευσης τορπιλών και πυραύλων cruise με συμβατικές και πυρηνικές κεφαλές. Στις 7 Απριλίου 1989 και ενώ βρισκόταν σε βάθος περίπου 200m, και περίπου 100nm νοτιοανατολικά της νήσου Bear, κοντά στις ακτές της Νορβηγίας, το σκάφος αντιμετώπισε μια πυρκαγιά. Παρότι το πλήρωμα κατόρθωσε να ανεβάσει το σκάφος στην επιφάνεια και να πολεμήσει τη φωτιά για περίπου 6 ώρες, τελικά το σκάφος πλημμύρισε, και βυθίστηκε. 41 άτομα βρήκαν το θάνατο ενώ 25 διασώθηκαν. Το Komсомолец βρίσκεται ακόμα και σήμερα σε βάθος περίπου 1.600m. Επίσημα η Σοβιετική Ένωση είχε δηλώσει ότι το σκάφος είχε ένα αντιδραστήρα νερού υπό πίεση, αλλά εκτιμάται ότι ίσως είχε δύο αντιδραστήρες υγρού μετάλλου, κάτι στο οποίο συνηγορούν το μεγάλο βάθος σύνθλιψης (1.020m) και δευτερευόντως το κέλυφος από κράμα τιτανίου.

Το 1984 εμφανίστηκε και μία ακόμα κλάση SSN, τα Sierra I και αργότερα η εξέλιξή τους σε Sierra II. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα Sierra θα μπορούσαν να είχαν εξελιχθεί στον πιο επικίνδυνο αντίπαλο των Αμερικανικών Υ/Β, όμως το πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής σε συνδυασμό με τις οικονομικές μεταρρυθμίσεις της εποχής Γκορμπατσόφ οδήγησαν στην εξέλιξη των φτηνότερων Akula. Κατασκευάστηκαν μόνο 2 Sierra I και 4 Sierra II, εκ των οποίων 3 παραμένουν σε υπηρεσία.

1.9 Τα πυρηνικά Υ/Β άλλων χωρών

Το 1963 εμφανίστηκε το 1^ο πυρηνικό Υ/Β τρίτης χώρας. Χρησιμοποιώντας το σκάφος και τον αντιδραστήρα των Αμερικανικών Skipjack η Μεγάλη Βρετανία κατέλκυσε το S101 Dreadnought. Το 1966 ακολούθησε η επιχειρησιακή έκδοση με τη χρήση Βρετανικού αντιδραστήρα και έχοντας λίγο μεγαλύτερο μήκος. Επρόκειτο για τα SSN Valiant, 5 συνολικά, τα οποία φαίνεται ότι αρχικά ήταν προσανατολισμένα σε επιχειρήσεις εναντίον σκαφών επιφανείας. Οι μετασκευές που υπέστησαν τα επόμενα χρόνια τα κατέστησαν και αποτελεσματικά απέναντι σε άλλα Υ/Β.

Το 1968 εμφανίστηκε το 1^ο SSBN του Βασιλικού Ναυτικού, σε μεγάλο βαθμό όμοιο με τα Αμερικανικά Lafayette και έφεραν 16 πυραύλους Polaris A3. Το Resolution ήταν το 1^ο της κλάσης και το ακολούθησαν άλλα 3.

Το 1973 άρχισε από τη Μεγάλη Βρετανία η ανάπτυξη των 6 Swiftsure SSN τα οποία ήταν μια εξέλιξη των Valiant με σημαντικές βελτιώσεις σε θέματα περιορισμού του θορύβου. Από τα 6 σκάφη της κλάσης τα 5 είναι ακόμα σε υπηρεσία.

Η Κίνα είχε και αυτή ξεκινήσει τις προσπάθειές της για την ανάπτυξη πυρηνοκίνητων Υ/Β από τη δεκαετία του 50. Όμως χρειάστηκε να φτάσει το 1974 για να εμφανιστεί το Han SSN. Τα 5 Υ/Β της κλάσης έφεραν αρχικά μόνο τορπιλοσωλήνες και παρότι υπέστησαν μετασκευές ώστε να μπορούν να φέρουν πυραύλους κατά σκαφών επιφανείας, οι πληροφορίες αναφέρουν ότι εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα στην εκτόξευσή τους. Παράλληλα έχει αναφερθεί ότι το πιο σημαντικό τους πρόβλημα είναι οι υψηλές τιμές ακτινοβολίας στο εσωτερικό του σκάφους. Εξακολουθούν να παραμένουν σε υπηρεσία και οι 5 μονάδες.

Η Γαλλία υπήρξε η 1^η χώρα που ανέπτυξε SSBN πριν από SSN. Το 1976 εμφανίστηκε το SSBN Redoubtable, το οποίο ακολούθησαν άλλα 5. Παραμένουν σε υπηρεσία 2 τα οποία αναμένεται να παροπλιστούν εντός του 2002 ή το 2003. Το πρώτο SSN της Γαλλίας κατελκύστηκε το 1983 (Rubis), δημιουργώντας μια κλάση 4 συνολικά Υ/Β ενώ ακολούθησαν στις αρχές της δεκαετίας του 90, άλλα 2 της κλάσης Amethyste. Το 1997 κατελκύστηκε το 1^ο από τα δύο Triomphant SSBN ενώ άλλα 2 είναι υπό κατασκευή.

Για τη Μ. Βρετανία, αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 80 7 SSN της κλάσης Trafalgar και μετά το 1994 4 SSBN της κλάσης Vanguard. Υπό κατασκευή είναι το SSN Astute το οποίο αναμένεται να είναι το 1^ο μιας κλάσης που θα αντικαταστήσει τα Swiftsure.

Η Κίνα κατέλκυσε το 1988 το μοναδικό της SSBN (Xia), ενώ πιστεύεται ότι κατασκευάζονται άλλα 2 SSBN και 1 SSN.

Οι τρεις αυτές χώρες εξακολουθούν να αποτελούν τις μοναδικές, εκτός των ΗΠΑ και της Ρωσίας, που έχουν πυρηνικά Υ/Β. Πιθανολογείται ότι η Ινδία έχει ξεκινήσει από τις αρχές της δεκαετίας του 90 πρόγραμμα κατασκευής πυρηνικού Υ/Β.

1.10 Το μέλλον των πυρηνικών Υ/Β

Το μέλλον των πυρηνικών Υ/Β είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένο από την επιλογή της αποστολής την οποία καλούνται να παίξουν σε ένα κόσμο που έχει βγει από τον ψυχρό πόλεμο. Τόσο το Αμερικανικό, όσο και το Ρωσικό Ναυτικό, πέρασαν μια περίοδο έντονο προβληματισμού η οποία θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο που αφορά την επιχειρησιακή δράση των πυρηνικών Υ/Β.

Το πρώτο Υ/Β 4^{ης} γενιάς ήταν αποτέλεσμα της κεκτημένης ταχύτητας από τη δεκαετία του 1980. Το SSN 21 Seawolf κατασκευάστηκε το 1997 και ακολούθησε το 1998 το Connecticut, ενώ ένα ακόμα είναι υπό κατασκευή, αν και υπάρχουν έντονες φήμες ότι έχει αποφασισθεί η τροποποίηση σε σχέση με τα αρχικά σχέδια ώστε να καταστεί Υ/Β ειδικών αποστολών.

Τα Seawolf έχουν τη μεγαλύτερη τακτική ταχύτητα (η τιμή ταχύτητας στην οποία το Υ/Β εξακολουθεί παράγει θόρυβο κάτω από κάποια αποδεκτά επίπεδα εντοπισμού) από οποιοδήποτε Αμερικανικό Υ/Β. Λέγεται ότι το Seawolf κινούμενο με 25 knts είναι πιο «ήσυχος» από ότι ένα Los Angeles δεμένο στην προβλήτα. Επίσης η χρήση χάλυβα τύπου HY-100 (σε σχέση με τον HY-80 που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν), φέρεται να έχει κατεβάσει το βάθος επιχειρήσεων του σκάφους γύρω στα 550m (σύμφωνα με άλλες πηγές στα 650m).

Το πολύ υψηλό κόστος κατασκευής των Seawolfs (με περίπου 2,8 δισεκατομμύρια δολάρια ανά σκάφος που προέβλεπε ο αρχικός προϋπολογισμός για 12 σκάφη, ήταν το πιο ακριβό στην ιστορία του Αμερικανικού Ναυτικού) σε συνάρτηση με την απομείωση των εντάσεων του ψυχρού πολέμου, ανάγκασε το Αμερικανικό Ναυτικό να ακυρώσει τα υπόλοιπα 9 σκάφη. Έτσι σχεδιάστηκε ένα νέο SSN το οποίο αν και χρησιμοποιεί τα περισσότερα συστήματα του Seawolf θα είναι σαφώς φτηνότερο. Το 1^ο Υ/Β της κλάσης, το SSN774 Virginia, είναι υπό κατασκευή, και αναμένεται να παραδοθεί το 2004. Συνολικά έχουν προγραμματισθεί 18 σκάφη μέχρι το 2015.

Σχέδια για ένα νέο τύπο SSBN από τις ΗΠΑ δεν έχουν γίνει γνωστά και το πιθανότερο είναι ότι βάσει της παρούσας γεωπολιτικής κατάστασης δεν υπάρχουν σκέψεις για κάτι τέτοιο. Αντίθετα έχει ληφθεί η απόφαση μετατροπής 4 Ohio σε SSGN με δυνατότητα μεταφοράς πυραύλων Tomahawk.

Η Ρωσία φέρεται να έχει σε εξέλιξη πρόγραμμα SSN και SSBN. Το Π885 SSN είναι πιθανότατα μια εκτεταμένη βελτίωση των Akula II και παρότι είναι στη φάση της κατασκευής εδώ και τουλάχιστο 6 χρόνια παραμένει άγνωστο το πότε θα παραδοθεί. Το Π935 SSBN βρίσκεται επίσης στη φάση της κατασκευής η οποία έχει σταματήσει καθώς ο νέος τύπων πυραύλων που θα έφερε έχει προβλήματα στην εξέλιξη και ίσως χρειαστεί τροποποιήσεις για να φέρει τους παλιότερους πυραύλους. Το Ρ935 θα είναι αρκετά μικρότερο από τα Typhoon, παραμένει όμως άγνωστο αν και πότε θα παραδοθεί.

Στη χρονική περίοδο μετά το 2^ο ΠΠ η εξέλιξη Υ/Β συμβατικής πρόωσης είχε σε μεγάλο βαθμό υποβαθμιστεί. Αξίζει να αναφερθεί ότι ένα Υ/Β του 1911 τύπου U9 είχε αυτονομία σε κατάδυση 80nm με ταχύτητα 5knts. Το 1944 ένα Υ/Β τύπου XXI

έφτανε σε κατάδυση τα 360nm με 5knts. Το 2000 ένα Ρωσικό Kilo ή ένα Γερμανικό τύπου 209, όπως αυτά που έχει το Ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό έχει αυτονομία κατάδυσης 400nm με 4 knts. Ουσιαστικά δηλαδή η εξέλιξη μετά το 2^ο ΠΠ υπήρξε μηδενική. Η κατάσταση άλλαξε τα τελευταία 15 χρόνια με την εξέλιξη των συστημάτων πρόωσης τα οποία είναι ανεξάρτητα αέρα (Air Independent Propulsion – AIP), επιστρέφοντας ουσιαστικά στα σχέδια των Υ/Β Walter. Οι προσπάθειες των Αμερικανών και των Σοβιετικών μετά τον πόλεμο για την εξέλιξη Υ/Β AIP ουσιαστικά εγκαταλείφθηκαν λόγω της εξέλιξης της πυρηνικής πρόωσης.

Τα πρώτα Υ/Β που εμφανίστηκαν με AIP ήταν τα Σουηδικά Gotland το 1996. Με αντίστοιχα συστήματα έχουν εφοδιαστεί τα Γερμανικά τύπου 212 και τα Γαλλικά Agosta 90B. Αυτού του τύπου τα Υ/Β έρχονται να αμφισβητήσουν σε μεγάλο βαθμό την κυριαρχία των πυρηνικών Υ/Β τουλάχιστο σε επιχειρήσεις σε κλειστές θάλασσες ή κοντά στις ακτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ

2.1 Η Δύναμη

Στην Κλασική Μηχανική, **δύναμη** $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i$ είναι η αιτία που προκαλεί κάθε μεταβολή της κίνησης ή της γεωμετρίας των σωμάτων. Ένα σώμα μπορεί να δεχθεί ταυτόχρονα πολλές δυνάμεις το αποτέλεσμα των οποίων θα είναι σε κάθε σημείο μία συνισταμένη δύναμη και μία συνισταμένη ροπή. Όταν οι δυνάμεις αυτές εξουδετερώνονται μεταξύ τους τότε λέγεται ότι το σώμα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας.

Σε ότι αφορά τα ελεύθερα σώματα, η δύναμη είναι γενικά η αιτία μεταβολής της κινητικής τους κατάστασης, δηλαδή αυτή που τα επιταχύνει ή τα επιβραδύνει. Αυτό ισχύει και για την περιστροφή τους, που μπορεί να επιταχυνθεί ή να επιβραδυνθεί. Για σώματα που δεν είναι ελεύθερα να κινηθούν με όλους τους τρόπους, αυτά δηλαδή που είτε είναι αναρτημένα κάπου και μπορούν να κινηθούν μόνο γύρω από σημείο ή άξονα ή σε προκαθορισμένη τροχιά, καθώς και σε όσα εφαρμόζονται δυνάμεις τριβής ή γενικά αντιδράσεις στήριξης, ανάγουμε τις δυνάμεις σε χαρακτηριστικά σημεία. Στην περίπτωση των μη ελεύθερων σωμάτων δύναμη είναι η αιτία που προκαλεί την κίνησή τους ή την κινητικότητά τους σε σχέση με τα σημεία στήριξης ή σύνδεσής τους, ή αυτή που προκαλεί την εντατική τους κατάσταση, την πίεση ή την παραμόρφωσή τους. Η αδράνεια ενός ελεύθερου σώματος επιτρέπει επίσης να προκαλείται στο σώμα εντατική κατάσταση, πίεση ή παραμόρφωση, όταν του εφαρμόζονται αντίστοιχες δυνάμεις.

Την Δύναμη την ορίζουμε από τον Δεύτερο νόμο κίνησης του Νεύτωνα και μετριέται σε **newton (N)**. Από τον Νόμο Κίνησης με βάση το Διεθνές Σύστημα SI (1961) ορίζεται $N = Kg \cdot m/sec^2$

Το Πεδίο βαρύτητας της Γης δίνει Επιτάχυνση βαρύτητας $g(0^\circ) = 9.780 \text{ m/sec}^2$ στα σώματα που βρίσκονται σε γεωγραφικό πλάτος 0 (στον Ισημερινό), και Επιτάχυνση βαρύτητας $g(90^\circ) = 9.832 \text{ m/sec}^2$ στα σώματα που βρίσκονται σε γεωγραφικό πλάτος 90° (στους Πόλους).

$$1\text{Newton} = 1\text{Kgr} \cdot \frac{1\text{m}}{\text{sec}^2} = \frac{1\text{ kgr}}{9.780} \cdot 9.780 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = 0.102 \text{ kgr} \cdot g(0^\circ)$$

και άρα μπορούμε να το εξισώσουμε με Δύναμη βαρύτητας σε σώμα 100gr περίπου όσο και το βάρος ενός μήλου.

Η δύναμη δεν είναι άμεσα αντιληπτό ή άμεσα μετρήσιμο μέγεθος, είναι όμως τα αποτελέσματά της (επιτάχυνση, παραμόρφωση). Χρησιμοποιήθηκε από τον Αρχιμήδη σε Μηχανές (Μηχανισμούς που μεταβιβάζουν ή μετατρέπουν Φορτία Εισόδου σε Φορτία Εξόδου), όμως η θεωρητική της θεμελίωση και η μαθηματική της περιγραφή έγινε με τους νόμους της κίνησης του Νεύτωνα τον 17ο αιώνα (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, Ουράνια μηχανική) που χρησιμοποιούσε τα απειροστά (Εύδοξος/Αρχιμήδης) και κατέρριψε την θεωρία Δύναμης του Αριστοτέλη (θεωρούσε ότι έπρεπε να υπάρχει δύναμη γι' αυτό που ο Νεύτωνας ονόμασε αδράνεια, και ότι ο ουρανός αποτελούνταν από το 5ο στοιχείο τον αιθέρα).

2.1.1 Αναπαράσταση

Σχεδιάζουμε ένα **Διάγραμμα Ελευθέρου Σώματος** για ένα μηχανικό σύστημα σωμάτων (ή ένα σώμα, ή ένα τμήμα σώματος) περιβάλλοντάς το με μία νοητή επιφάνεια και οι εξωτερικές Κατανεμημένες Δυνάμεις όπως και οι Μοναχικές ή Συγκεντρωμένες Δυνάμεις παριστάνονται γραφικά με ένα διάνυσμα.

2.1.2 Περιγραφές

Ο Δεύτερος νόμος του Νεύτωνα, μας λέει ότι η συνολική δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα ισούται με τη μάζα του σώματος επί την επιτάχυνση του:

$$\Sigma_i \cdot F_i = m \cdot a$$

Από την παραπάνω σχέση, και από τον ορισμό της επιτάχυνσης

$$a = \frac{dv}{dt}$$

συνάγεται πως η μεταβολή της ορμής ενός σώματος με το χρόνο οφείλεται σε κάποια δύναμη:

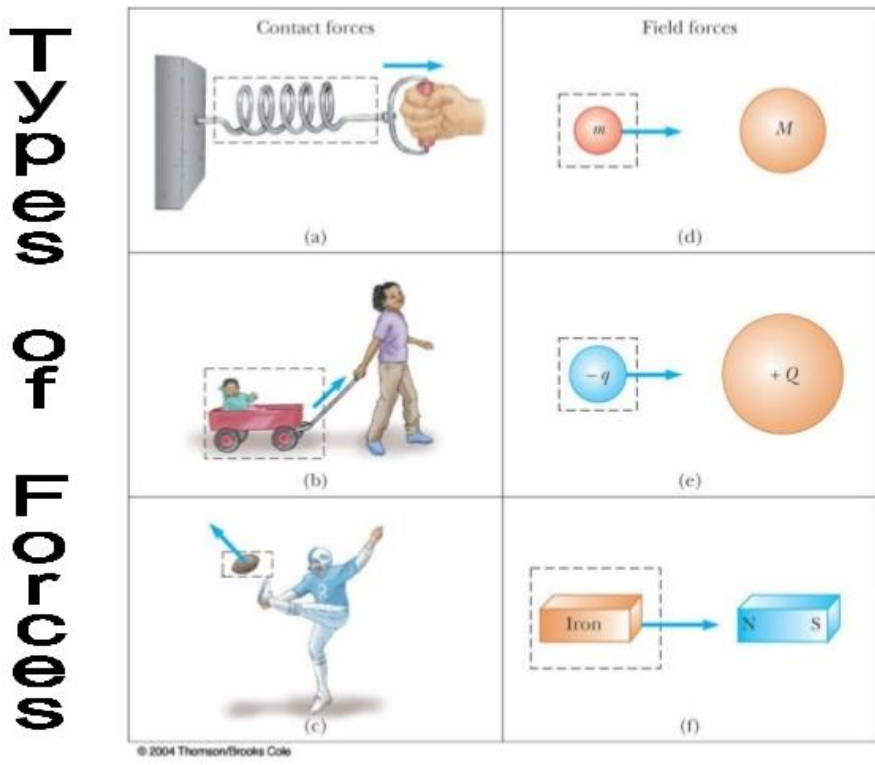
$$F = \frac{dp}{dt}$$

Η συνισταμένη δύο δυνάμεων ισούται με μια τρίτη δύναμη που φέρει τα ίδια αποτελέσματα με τις άλλες δύο και σύμφωνα με τον νόμο των συνημιτόνων υπολογίζεται από τη σχέση

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \varphi$$

όπου F_1 , F_2 οι δυνάμεις, και φ η μεταξύ τους γωνία.

Οι δυνάμεις διακρίνονται κυρίως σε δυνάμεις **εξ επαφής** (όπως π.χ. ρυμούλκηση πλοίου) και σε δυνάμεις **εξ επιδράσεως**, γνωστότερη τέτοια δύναμη είναι αυτή με την οποία η Γη έλκει τα διάφορα σώματα όπου και ονομάζεται **βάρος**. Γενικότερα όμως υπάρχει μεγάλο πλήθος δυνάμεων στη φύση: η βαρύτητα, οι ηλεκτρικές και οι μαγνητικές δυνάμεις, η τριβή, η τάση είναι μόνο μερικές από αυτές.



Εικόνα 10:Οι δύο τύποι των δυνάμεων

Όμως, μόνο τέσσερις δυνάμεις θεωρούνται σήμερα θεμελιώδεις:

- Η ισχυρή δύναμη
- Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη
- Η ασθενής δύναμη
- Η βαρυτική δύναμη

Όλες οι υπόλοιπες δυνάμεις δεν θεωρούνται θεμελιώδεις και μπορούν να οριστούν και να αναχθούν στις παραπάνω τέσσερις δυνάμεις.

2.1.3 Δύναμη και δυναμικό

Αντί της δύναμης, χρησιμοποιείται συχνά η έννοια του δυναμικού, η οποία διευκολύνει την περιγραφή του προβλήματος. Για παράδειγμα, η βαρυτική δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα, μπορεί να περιγραφεί και ως το αποτέλεσμα του βαρυτικού

πεδίου που βρίσκεται στο σημείο όπου βρίσκεται το σώμα. Ανάμεσα στη δύναμη και στο δυναμικό $U(r)$ ισχύει η σχέση:

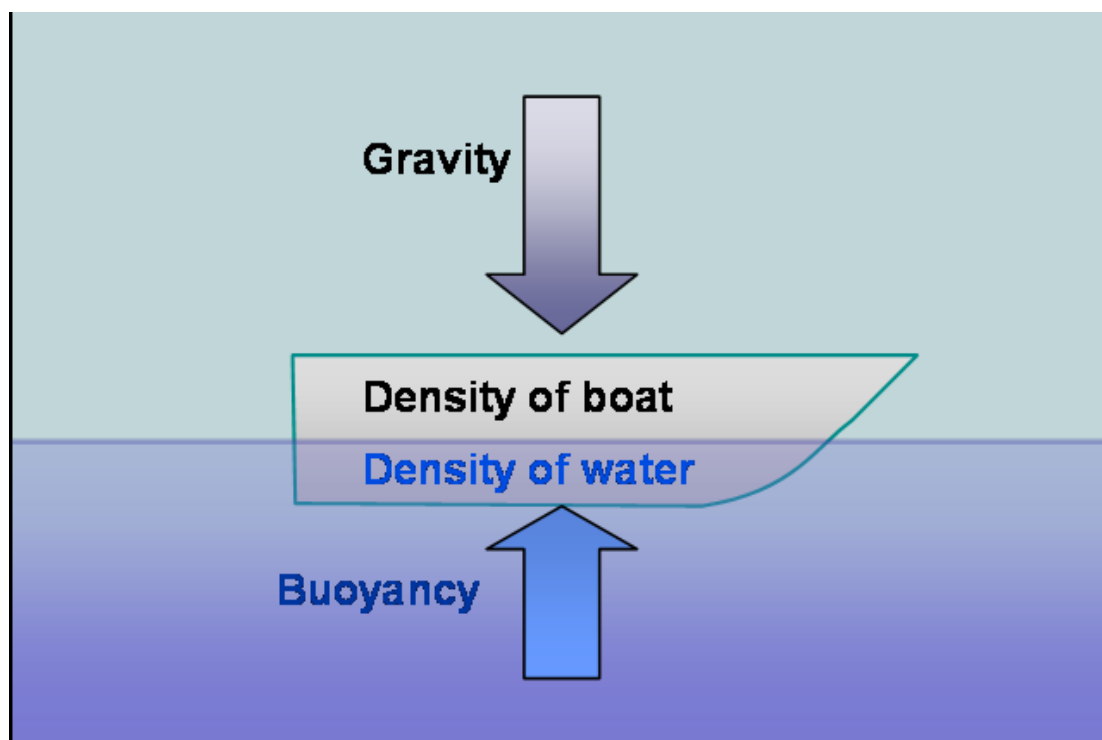
$$F = -\nabla U$$

Οι δυνάμεις μπορούν να χωριστούν σε **διατηρητικές** (ή *συντηρητικές*) και **μη διατηρητικές**. Οι διατηρητικές δυνάμεις είναι αυτές που είναι ισοδύναμες με την κλίση ενός δυναμικού, όπως είναι η βαρύτητα και η ηλεκτρομαγνητική δύναμη. Παράδειγμα μη διατηρητικής δύναμης είναι η τριβή.

2.2 Η Άνωση

Άνωση ονομάζεται η συνισταμένη δύναμη που δέχεται ένα σώμα από το ρευστό μέσα στο οποίο βρίσκεται. Η άνωση έχει κοινή διεύθυνση με το βάρος του σώματος, και αντίθετη φορά.

Η άνωση αναφέρεται σε συστήματα που βρίσκονται σε ηρεμία και δεν πρέπει να συγχέεται με την [άντωση](#). Η μελέτη του φαινομένου της άνωσης εμπίπτει στον κλάδο της φυσικής που ονομάζεται "στατική των ρευστών".



Εικόνα11: Η άνωση στα πλοία

2.2.1 Περιγραφή του φαινομένου

Η άνωση εκδηλώνεται σε κάθε σώμα που βρίσκεται εντός ρευστού, παρουσία βαρυτικού πεδίου και γίνεται αντιληπτή ως δύναμη που δρα αντίθετα στο βάρος.

Το μέγεθος της άνωσης προκύπτει από την Αρχή του Αρχιμήδη κατά την οποία: «Κάθε σώμα βυθισμένο σε ρευστό δέχεται δύναμη ίση και αντίθετη με το βάρος του ρευστού που εκτοπίζει». Η αντίστοιχη μαθηματική έκφραση είναι

$A = \rho \cdot g \cdot V$, όπου:

- ρ : πυκνότητα ρευστού
- g : η επιτάχυνση βαρύτητας
- V : όγκος βυθισμένου σώματος

Το σημείο εφαρμογής της άνωσης λέγεται **κέντρο άνωσης** και συμπίπτει με το κέντρο βάρους του εκτοπιζομένου υγρού, του λεγόμενου στη ναυπηγική εκτοπίσματος. Ως εκ τούτου, η θέση εφαρμογής της άνωσης ενός σώματος διαφέρει κατά κανόνα από την θέση εφαρμογής του βάρους του.

- Όταν βάρος σώματος είναι μεγαλύτερο του βάρους του εκτοπίσμάτος του, τότε η συνισταμένη βάρους-άνωσης έχει φορά προς τα κάτω και το σώμα βυθίζεται.
- Όταν βάρος σώματος είναι μικρότερο του βάρους του εκτοπίσμάτος του, τότε η συνισταμένη βάρους-άνωσης έχει φορά προς τα πάνω και το σώμα ανέρχεται.
- Όταν το βάρος και η άνωση είναι απολύτως ίσα, το σώμα βρίσκεται σε αδιάφορη ισορροπία, σε οποιαδήποτε στάθμη μέσα στον όγκο του ρευστού.

Αν το υγρό παρουσιάζει ελεύθερη επιφάνεια τότε, στην περίπτωση που το βάρος του σώματος είναι μικρότερο του βάρους του εκτοπίσμάτος του, αυτό ανέρχεται στην επιφάνεια και μένει βυθισμένο κατά το μέρος που απαιτείται για να εξισωθεί το βάρος του εκτοπίσματος καταστεί με το βάρος του σώματος. Σε αυτή τη περίπτωση λέγεται ότι το σώμα "επιπολάζει" (επιπλέει).

Προκειμένου περί σωμάτων ανυψώνονται λόγω της άνωσης που ασκεί σε αυτά η ατμόσφαιρα (μπαλόνια, αερόστατα), η ισορροπία επέρχεται λόγω της μείωσης του ειδικού βάρους της ατμόσφαιρας καθ' ύψος. Το σώμα ανέρχεται μέχρι του ύψους όπου η άνωση εξισώνεται με το βάρος, και εκεί ηρεμεί. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το σώμα "αιωρείται".

Η στατική άνωση του ύδατος επί των σωμάτων είναι αυτή που επιτρέπει τη ναυπήγηση πλοίων.

2.2.2 Μαθηματική περιγραφή

Στα πλαίσια της υδροστατικής, η δύναμη της άνωσης γίνεται κατανοητή με βάση τις δυνάμεις που ασκούνται στην επιφάνεια ενός αντικειμένου μάζας m και πυκνότητας ρ που βυθίζεται σε ένα δοχείο που περιέχει ρευστό πυκνότητας ρ_f . Αν όλο το σύστημα δοχείου-αντικειμένου υπόκειται στην επίδραση ενός συντηρητικού πεδίου δυνάμεων επιτάχυνσης \mathbf{f} , τότε η κατάσταση μηχανικής ισορροπίας περιγράφεται από την εξίσωση

$$\rho_f \cdot \mathbf{f} = \nabla p \quad (1)$$

όπου p η απόλυτη πίεση του ρευστού και ∇ ο τελεστής ανάδελτα. Αν το πεδίο \mathbf{f} είναι συντηρητικό, μπορεί να γραφτεί υπό τη μορφή

$$\mathbf{f} = -\nabla\varphi \quad (2)$$

όπου φ μία βαθμωτή συνάρτηση. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (1) και (2), υπό την προϋπόθεση ότι η πυκνότητα του ρευστού είναι σταθερή, προκύπτει ότι

$$\nabla(p + \rho_f \cdot \varphi) = 0$$

Συνεπώς το άθροισμα $(p + \rho_f \varphi)$ σε κάθε σημείο του χώρου που καταλαμβάνει το ρευστό είναι μία σταθερή ποσότητα. Στην ειδική περίπτωση του βαρυτικού πεδίου στην επιφάνεια της Γης, προκύπτει ότι η πίεση μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος, h , του δοχείου σύμφωνα με τη σχέση

$$p(h) = p_0 + \rho_f \cdot g \cdot h \quad (3)$$

όπου p_0 η πίεση στην επιφάνεια του ρευστού και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή ως **θεμελιώδης νόμος της υδροστατικής**.

Η δύναμη της άνωσης, \mathbf{A} , που θα δεχθεί το σώμα ισούται με τη συνολική δύναμη που ασκεί η πίεση του ρευστού στην επιφάνειά του, ήτοι

$$\mathbf{A} = -\oint p \hat{n} dA$$

όπου \hat{n} το μοναδιαίο διάνυσμα κάθετο σε κάθε στοιχείο επιφάνειας dA του βυθισμένου σώματος. Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η πίεση του ρευστού συμπιέζει το σώμα. Σύμφωνα

με το θεώρημα της απόκλισης, το επιφανειακό ολοκλήρωμα στο δεξιό μέλος της παραπάνω εξίσωσης μπορεί να μετατραπεί σε ολοκλήρωμα πάνω στον όγκο του βυθισμένου σώματος που βρίσκεται σε επαφή με το ρευστό ως εξής:

$$\oint p \hat{n} dA = \int \nabla p dV$$

Βάσει όμως της εξίσωσης (1) για $\mathbf{f}=\mathbf{g}$ (όπου \mathbf{g} το διάνυσμα που περιγράφει το προσεγγιστικά ομογενές βαρυτικό πεδίο στην επιφάνεια της Γης), προκύπτει τελικά ότι

$$A = -\rho_f \cdot V_{εκ} \cdot g$$

που δεν είναι άλλο παρά η Αρχή του Αρχιμήδη, όπου $V_{εκ}$ ο όγκος του βυθισμένου σώματος (= όγκος ρευστού που εκτοπίζεται).

Η παραπάνω ανάλυση ισχύει μόνο στην περίπτωση όπου το ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση υδροστατικής ισορροπίας, το οποίο σημαίνει ότι η Αρχή του Αρχιμήδη μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο αν το σύνολο των δυνάμεων που ασκούνται στο βυθισμένο σώμα είναι μηδέν. Στην περίπτωση που το σώμα επιπλέει στην επιφάνεια του ρευστού,

$$A = m \cdot g$$

Αντικαθιστώντας την έκφραση του μέτρου της άνωσης και θέτοντας $m=\rho V$ (όπου V ο συνολικός όγκος του σώματος), μπορεί να υπολογισθεί το ποσοστό του όγκου του σώματος που βυθίζεται σε σχέση με τον συνολικό όγκο του:

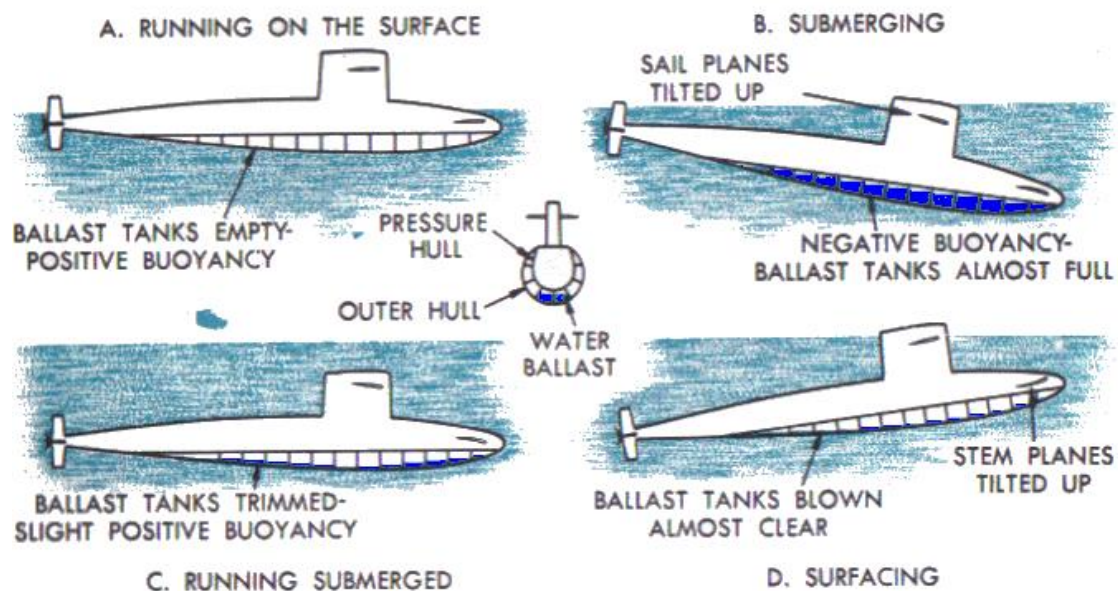
$$\frac{V_{εκ}}{V} = \frac{\rho}{\rho_f}$$

2.2.3 Παραδείγματα στατικής άνωσης

Ένα κομμάτι ξύλου επιπλέει στο νερό διότι η άνωση που δέχεται είναι μεγαλύτερη από το βάρος του, λόγω του ότι η πυκνότητα του είναι μικρότερη από αυτήν του νερού. Αντιθέτως ένα κομμάτι χάλυβα δεν επιπλέει μιας και το βάρος είναι μεγαλύτερο από την άνωση κάτι το οποίο οφείλεται στον γεγονός ότι η πυκνότητα του είναι μεγαλύτερη από αυτή του νερού.

Ένας άνθρωπος επιπλέει στο νερό μόνον εφόσον βυθίσει και μέρος της κεφαλής του μιας και διαφορετικά δεν εκτοπίζει όγκο νερού, το βάρος του οποίου να είναι ίσο με το δικό του.

Ένα πλοίο επιπλέει, παρότι η πυκνότητα του υλικού κατασκευής του (χάλυβας) είναι μεγαλύτερη του νερού, εφόσον εκτοπίζει όγκο νερού που έχει βάρος ίσο ή μεγαλύτερο με το δικό του. Το υποβρύχιο έχει τη δυνατότητα να μεταβάλει το εκτόπισμά του με πλήρωση ύδατος ειδικών δεξαμενών που φέρει.



Εικόνα 12: Αλλαγή της άνωσης στα υποβρύχια με πλήρωση ύδατος ειδικών δεξαμενών που φέρει.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του όγκου ενός παγόβουνου (~90%) είναι βυθισμένο στο νερό, καθώς ο πάγος έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό σε υγρή μορφή.

2.3 Η Πίεση

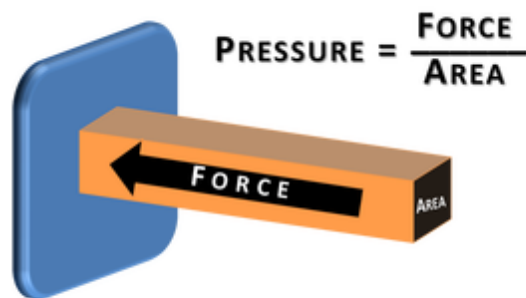
Πίεση (σύμβολο p ή P , αγγλικά: *Pressure*) είναι η δύναμη που εφαρμόζεται κάθετα σε μια επιφάνεια ενός αντικειμένου ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειας αυτής. Η μανομετρική πίεση είναι η σχετική πίεση που εφαρμόζεται σε ένα αντικείμενο σε σύγκριση με την κανονική πίεση (1 atm).

Διάφορες μονάδες μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν για να εκφράσουν την πίεση. Κάποιες από αυτές παράγονται από τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησης δύναμης και επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης πίεσης για το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το πασκάλ (Pa), που αντιστοιχεί σε δύναμη 1 νιούτον (Nt) που εφαρμόζεται ανά τετραγωνικό μέτρο (m^2). Άλλη παραδοσιακή μονάδα μέτρησης πίεσης αποτελεί το psi, που αντιστοιχεί σε δύναμη 1 λίβρας (lbf) που εφαρμόζεται ανά τετραγωνική ίντσα (in^2). Η πίεση εκφράζεται επίσης σε σύγκριση με την κανονική ατμοσφαιρική πίεση (atm). Χρησιμοποιήθηκαν επίσης και άλλες μονάδες μανομετρικής (συνήθως) πίεσης, όπως τα εκατοστόμετρα νερού, τα χιλιοστόμετρα στήλης υδραργύρου (mmHg ή Torr) και ίντσες στήλης υδραργύρου, που εκφράζουν την πίεση σε σύγκριση με αυτήν που ασκούν αντίστοιχες στήλες των αναφερόμενων ρευστών (υπό κανονική βαρύτητα).

Στη φυσική με τον όρο πίεση (σύμβολο p ή P) αποκαλούμε το χαρακτηριστικό, ενός συστήματος, φυσικό μέγεθος το οποίο ισοδυναμεί με την πυκνότητα ενέργειας την οποία διαθέτει αυτό το σύστημα. Οποσδήποτε, η πίεση δεν προϋποθέτει επιφάνεια για να είναι καλά ορισμένη, αλλά η διαδικασία μέτρησής της ανάγεται στη μέτρηση μιας δύναμης η οποία ασκείται κάθετα σε συγκεκριμένη επιφάνεια. Ως εκ τούτου, συχνά ορίζουμε ως πίεση σε επιφάνεια A το πηλίκο της δύναμης F που ασκείται κάθετα στην επιφάνεια, προς το εμβαδό αυτής της επιφάνειας:

$$p = \frac{F \cdot \hat{n}}{A}$$

Όπου \hat{n} είναι το μοναδιαίο διάνυσμα, κάθετο στην επιφάνεια A



Εικόνα 13: Ο ορισμός της πίεσης σε σχήμα

Έτσι, αν η δύναμη ασκείται υπό γωνία, το αποτέλεσμα του διανυσματικού γινομένου επιβάλλει να υπολογίζεται μόνο η κάθετη στην επιφάνεια συνιστώσα της δύναμης $F \cdot \cos\theta$.

2.3.1 Η πίεση στα ρευστά

Τα ρευστά (αέρια και υγρά) δεν έχουν καθορισμένο σχήμα και έτσι προσαρμόζονται στο σχήμα των στερεών επιφανειών με τις οποίες εφάπτονται. Έτσι, η δύναμη λόγω πίεσης που ασκεί ένα ρευστό σε επιφάνεια είναι πάντα κάθετη στην επιφάνεια.

Όταν ένα ρευστό βρίσκεται μέσα σε πεδίο βαρύτητας, τότε η βαρυτική δύναμη του υπερκείμενου ρευστού είναι ο ουσιαστικός μηχανισμός ο οποίος καθορίζει την τιμή της πίεσης σε κάθε σημείο του ρευστού. Έτσι, ορίζουμε τη στατική ή υδροστατική πίεση η οποία αντιστοιχεί στο βάρος στήλης συγκεκριμένου ύψους και συγκεκριμένης διατομής A στήλης, η οποία περιέχει το ρευστό που μας ενδιαφέρει. Έτσι προκύπτει ο νόμος της υδροστατικής πίεσης για τα ασυμπίεστα υγρά ως:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{mgh}{Ah} = \frac{m}{V}gh = \rho gh$$

Όπου ρ είναι η (σταθερή) πυκνότητα του υγρού, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και h είναι το ύψος από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού.

Η υδροστατική πίεση μετριέται από την ελεύθερη επιφάνεια, στην οποία η πραγματική πίεση δεν είναι μηδέν αλλά 1 atm.

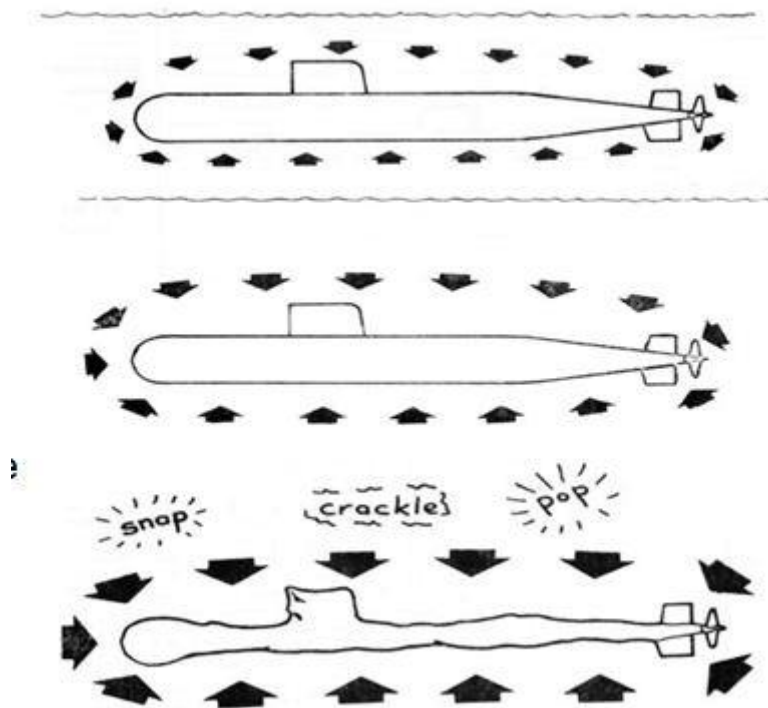
2.3.2 Μονάδες και μέτρηση της πίεσης

Μονάδα της πίεσης στο S.I. είναι το πασκάλ, μονάδα η οποία έχει τις ίδιες διαστάσεις με N/m^2 . Η τελευταία προέρχεται από τον εναλλακτικό ορισμό της πίεσης ως πυκνότητας ενέργειας, αλλά δεν χρησιμοποιείται ως μονάδα επειδή δεν είναι πρακτικά

εφικτή η μέτρηση της πίεσης με έναν τέτοιο τρόπο. Πρακτική μονάδα πίεσης είναι το bar, που ισοδυναμεί με 100.000 Pa.

Γενικά η πίεση μετριέται με ειδικά όργανα τα μανόμετρα και ειδικά για την ατμοσφαιρική πίεση, τα βαρόμετρα. Μονάδες πίεσης είναι το Πασκάλ (Pa), η Ατμόσφαιρα (Atm), το Χιλιοστό στήλης υδραργύρου (mmHg), το Torr, το Μπαρ (Bar) και οι υποδιαιρέσεις αυτού: το Μιλιμπάρ (mb) και το Μικρομπάρ (μb). Η μονάδα ατμόσφαιρας (atm) σήμερα ορίζεται ως 101.325 (Pa) ακριβώς

Απόλυτη πίεση χαρακτηρίζεται εκείνη που αρχή μέτρησης έχει το τέλειο ή απόλυτο κενό. Πραγματική πίεση χαρακτηρίζεται εκείνη που ως αρχή μέτρησης λαμβάνεται η βαρομετρική πίεση.



Εικόνα 14:Αποτέλεσμα υπερβολικής πίεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ

Τα υποβρύχια είναι υποβρύχια αυτοκινούμενα σκάφη τα οποία έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για να εκτελούν υποβρύχιες εργασίες για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Ο υποβρύχιος σχεδιασμός αποτελείται από ένα ενιαίο ή διπλό σύστημα κύτους που φιλοξενεί όλα τα απαραίτητα συστήματα και το ανθρώπινο εργατικό δυναμικό που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της εκάστοτε αποστολής τους. Αυτό, όμως, είναι μια πολύ απλή περιγραφή ενός πολύ περίπλοκου μηχανικού προϊόντος, το οποίο χρησιμοποιείται για ένα ευρύ φάσμα σκοπών όπως η υποβρύχια έρευνα, η υποβρύχια διάσωση και ο υποβρύχιος πόλεμος. το τελευταίο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο

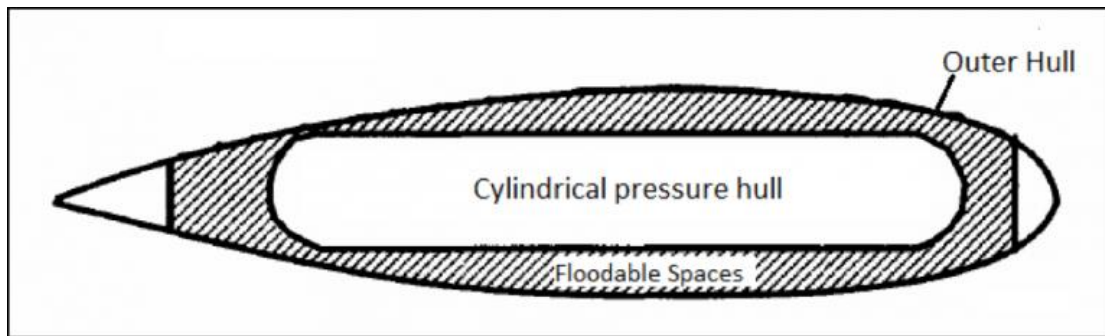
Οι κύριοι στόχοι της σχεδίασης ενός υποβρυχίου είναι:

- Το υποβρύχιο πρέπει να εξυπηρετεί τον λειτουργικό σκοπό του πελάτη.
- Ο σχεδιασμός πρέπει να μπορεί να κατασκευαστεί με τους διαθέσιμους πόρους.
- Το κόστος του έργου θα πρέπει να είναι αποδεκτό από τον πελάτη.

3.1 Μέρη ενός υποβρυχίου

3.1.1 Εξωτερικό σκάφος και σκάφος πίεσης

Τα περισσότερα σχέδια υποβρυχίων έχουν δύο διαμερίσματα. Το διαμέρισμα που φιλοξενεί όλους τους χώρους διαμονής, τα όπλα, τα συστήματα ελέγχου όπλων, τις επικοινωνίες και τον έλεγχο χώρου, τις τράπεζες συσσωρευτών, τα κύρια και βοηθητικά μηχανήματα, είναι το διαμέρισμα πίεσης. Ονομάζεται διαμέρισμα πίεσης επειδή έχει σχεδιαστεί για να αντέχει την υδροστατική πίεση στο μέγιστο λειτουργικό βάθος του υποβρυχίου.

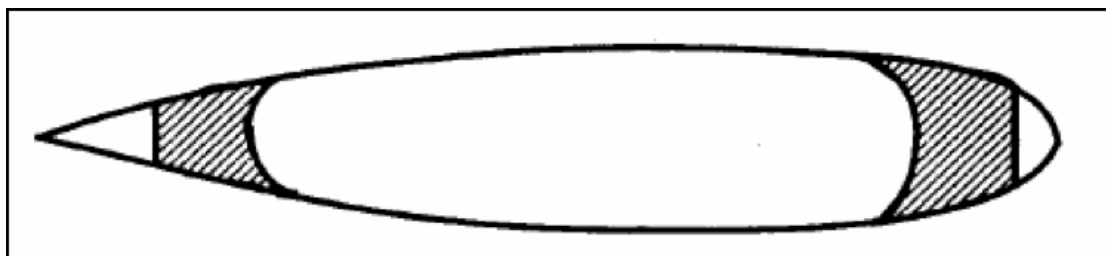


Εικόνα 15: Κυλινδρική διαμέρισμα πίεσης και εξωτερικό διαμέρισμα ενός υποβρυχίου.

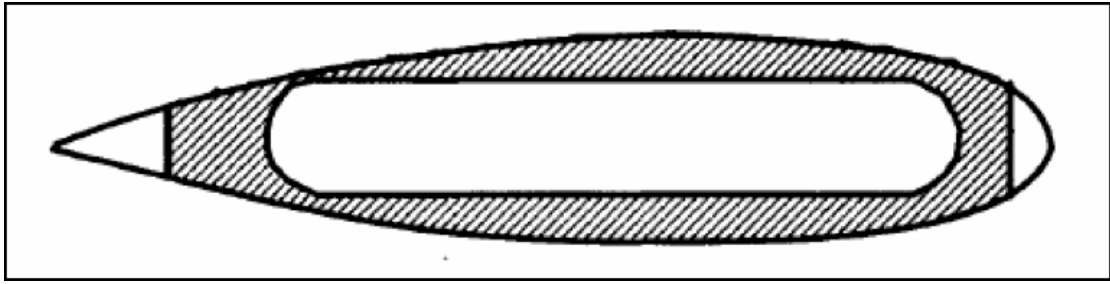
Το διαμέρισμα πίεσης κατασκευάζεται στο εσωτερικό του εξωτερικού διαμερίσματος, το οποίο δεν είναι στεγανό σε πίεση. Επειδή, σε βυθισμένη κατάσταση, οι χώροι μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού διαμερίσματος παραμένουν πάντα πλημμυρισμένοι με θαλασσινό νερό. Ως εκ τούτου, η υδροστατική πίεση στο εξωτερικό διαμέρισμα είναι αμελητέα.

3.1.2 Κύριες δεξαμενές έρματος (MBT –main ballast tanks)

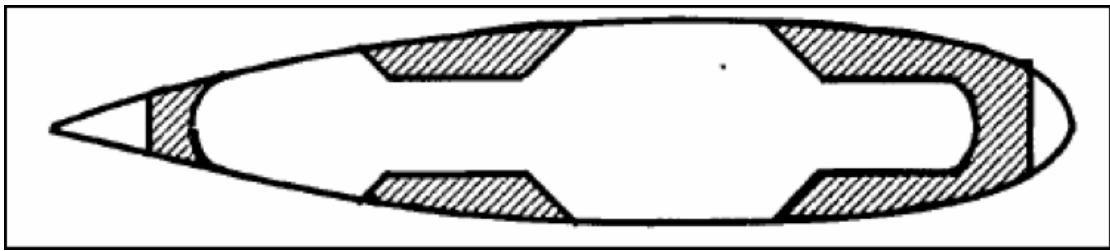
Οι "πλημμυρισμένοι" χώροι χωρίζονται σε δεξαμενές, οι οποίες στην υποβρύχια ορολογία, ονομάζονται Κύριες δεξαμενές έρματος. Η κατανομή των κύριων δεξαμενών έρματος σε ένα υποβρύχιο εξαρτάται από το σχήμα και την αλληλεπίδραση του εξωτερικού και του διαμερίσματος πίεσης. Ορισμένα σχέδια υποβρυχίων διαθέτουν MBT μόνο στις περιοχές εμπρός και πίσω και το υπόλοιπο διαμέρισμα πίεσης επικοινωνεί με το εξωτερικό διαμέρισμα. Άλλα σχέδια έχουν τελείως διαφορετικό εξωτερικό και διαμέρισμα πίεσης, με χώρο για έρμα μεταξύ τους. Ορισμένες διατάξεις των MBT παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.



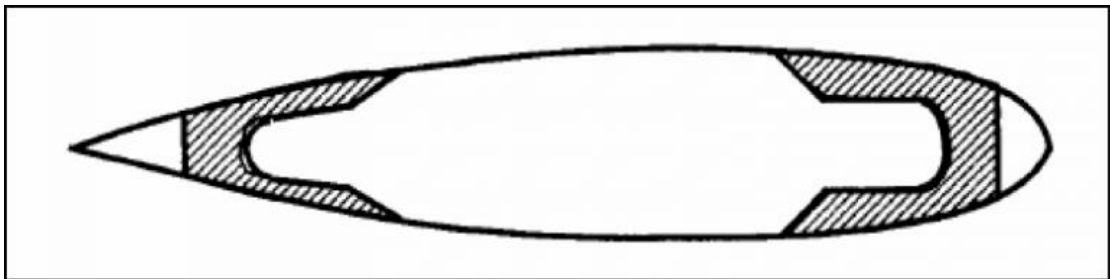
Εικόνα 16: Εκτεταμένος θάλαμος πίεσης (MBTs προς τα εμπρός και προς τα πίσω).



Εικόνα 17: Κλειστός κυλινδρικός θάλαμος πίεσης (MBTs καθ'όλο το μήκος).



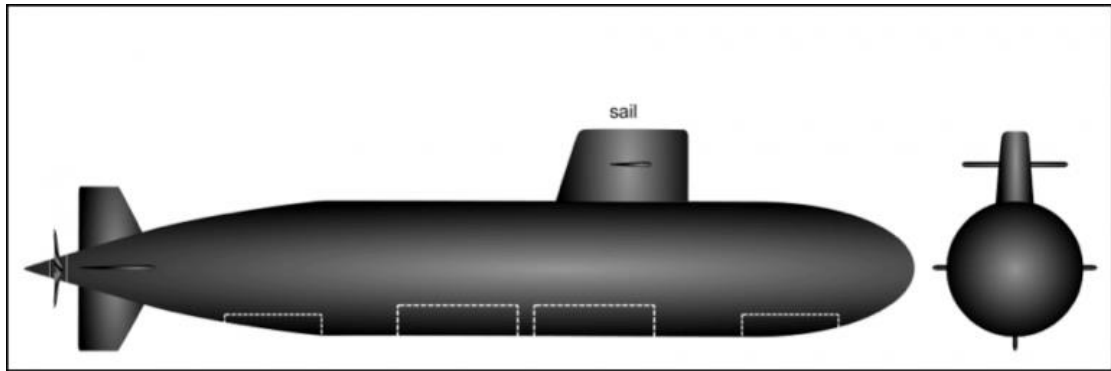
Εικόνα 18: Υπόστρωμα πίεσης υπό πίεση (MBT σε ορισμένα τμήματα του μήκους).



Εικόνα 19: Εκτεταμένος θάλαμος πίεσης μειωμένο στα άκρα (MBTs προς τα εμπρός και προς τα πίσω)

3.1.3 Πτερύγιο πλοίου ή γέφυρας

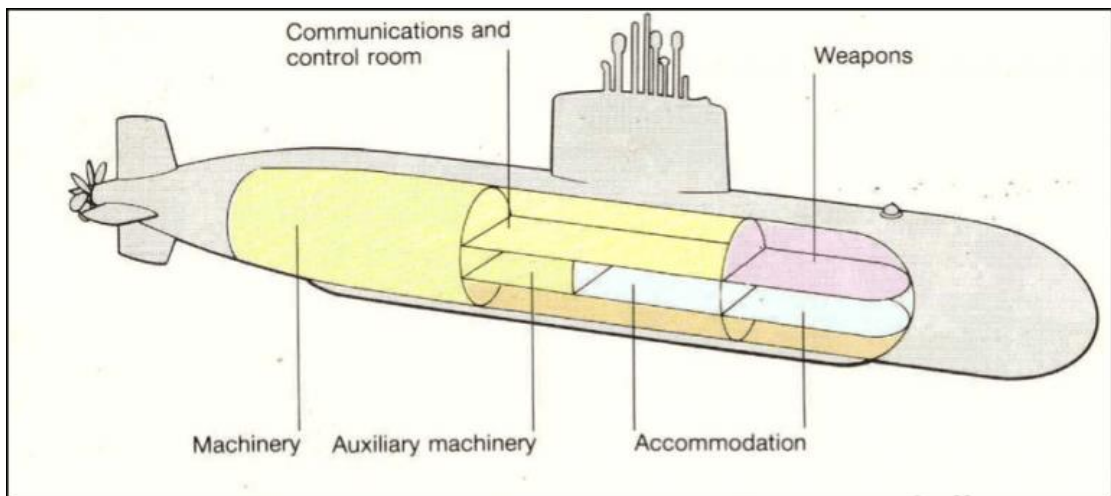
Το πτερύγιο γέφυρας είναι το μη ανθεκτικό στην πίεση τμήμα του υποβρυχίου πάνω από το εξωτερικό διαμέρισμα. Οι διάφοροι τύποι καταρτιών/κεραιών που χρησιμοποιούνται σε ένα υποβρύχιο και είναι τοποθετημένα στο πτερύγιο γέφυρας είναι κατάρτι περισκόπιου, επικοινωνιών, ραντάρ, αισθητήρα όπλων κλπ. Αυτά ανυψώνονται από το πτερύγιο της γέφυρας όταν το υποβρύχιο εκτελεί επιτήρηση της επιφάνειας σε κατάσταση επιφυλακής. Το Σχήμα 7 δείχνει το πτερύγιο σε ένα υποβρύχιο, όταν τα κατάρτια δεν αναπτύσσονται.



Εικόνα 20: Πτερύγιο γέφυρας σε υποβρύχιο.

Το προφίλ του πτερυγίου της γέφυρας είναι πάντα σε αεροδυναμικό σχήμα, δεδομένου ότι ενεργεί ως μια υδροπτέρυγα. Αυτό το σχήμα μειώνει την οπισθέλκουσα στο υποβρύχιο. Είναι πολύ σημαντικό να διατηρηθεί η οπισθέλκουσα μέσα στα όρια, καθώς αποτρέπει τις δονήσεις και στη συνέχεια, ελαχιστοποιεί το ακουστικό αποτύπωμα του υποβρυχίου.

3.2 Γενική διαρρύθμιση ενός υποβρυχίου



Εικόνα 21: Σχηματική γενική διάταξη ηλεκτροκίνητου υποβρυχίου Diesel

Το διαμέρισμα πίεσης και το εξωτερικό διαμέρισμα διακρίνονται σαφώς στην παραπάνω εικόνα του υποβρυχίου. Το εμπρόσθιο τμήμα του διαμερίσματος πίεσης στεγάζει τα οπλικά συστήματα και τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες συνήθως στεγάζονται στον πλημμυρισμένο χώρο μεταξύ του εμπρόσθιου μέρους του διαμερίσματος πίεσης και του εξωτερικού διαμερίσματος. Οι αισθητήρες τοποθετούνται πάντα προς τα εμπρός για τη μείωση του θορύβου από την τυρβώδη ροή στο οπίσθιο τμήμα και τον

θόρυβο από τις μηχανές. Το σύστημα όπλων περιλαμβάνει τους σωλήνες τορπιλών που στεγάζουν τις τορπίλες, το σύστημα εκτόξευσης τορπιλών και τις δεξαμενές λειτουργίας τορπίλης. Το εμπρός μέρος του διαμερίσματος πίεσης χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των όπλων. Φορτώνονται στους σωλήνες τορπιλών οι οποίοι βρίσκονται εν μέρει εντός του διαμερίσματος πίεσης και εκτείνονται μέχρι την πλέον περιφερική πλευρά του εξωτερικού διαμερίσματος.

Το μεσαίο τμήμα του διαμερίσματος πίεσης χρησιμοποιείται για τους ακόλουθους σκοπούς:

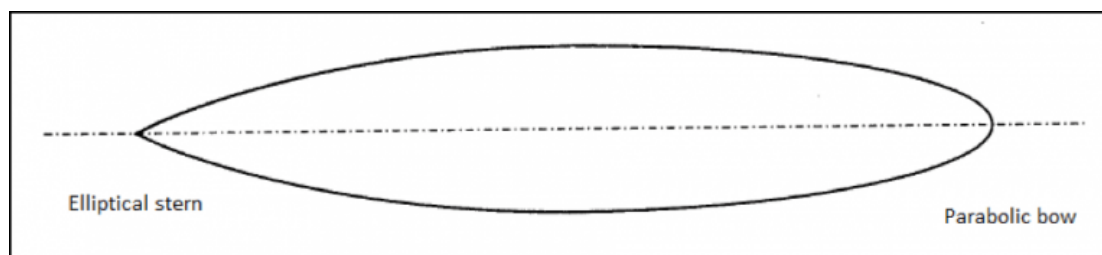
- Συστήματα ελέγχου πλοίων και όπλων: Όλα τα συστήματα στο υποβρύχιο λειτουργούν εξ αποστάσεως από το κέντρο ελέγχου πλοίων και όπλων. Αυτό το διαμέρισμα περιλαμβάνει όλα τα συστήματα ελέγχου της πλοήγησης, τα συστήματα πυροδότησης όπλων, τους πίνακες ελέγχου και παρακολούθησης μηχανών, το σύστημα καταδύσεων και επιφανειών, το σύστημα ελέγχου διεύθυνσης κλπ. Όλες οι επικοινωνίες μεταξύ του υποβρυχίου και της ναυτικής βάσης ή οποιασδήποτε εξωτερικής πηγής δεδομένων διεξάγονται από αυτό το διαμέρισμα. Τα υποβρύχια σήμερα είναι αυτοματοποιημένα σε τέτοιο βαθμό, ώστε όλες οι επιχειρήσεις σε ένα υποβρύχιο κατά τη διάρκεια κανονικών περιπολιών και αποστολών πολέμου να μπορούν να πραγματοποιηθούν από αυτό το διαμέρισμα, χωρίς να απαιτείται να υπάρχει πλήρωμα οπουδήποτε εκτός της αίθουσας ελέγχου.
- Υποστήριξη Διαμονής και Ζωής: Οι θάλαμοι καταλυμάτων, μονάδες τουαλέτας, κουζίνα, δροσερά και κρύα δωμάτια τοποθετούνται στο διαμέρισμα του θαλάμου πίεσης. Μια τέτοια τοποθέτηση δεν είναι μόνο ωφέλιμη λειτουργικά, αλλά παρέχει επίσης εύκολη πρόσβαση στα εμπρός και πίσω τμήματα του υποβρυχίου. Δεδομένου ότι η θέση αυτή βρίσκεται επίσης κάτω από το πτερύγιο της γέφυρας, κάνει τη διαφυγή πιο εφικτή για το πλήρωμα σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης
- Τράπεζα μπαταρίας: Η πηγή ισχύος σε ένα υποβρύχιο ντίζελ είναι κυψέλες υδρογόνου οι οποίες φορτίζονται από τους εναλλάκτες πετρελαίου. Οι μπαταρίες αυτές στοιβάζονται σε συστοιχίες και τοποθετούνται σε ένα διαμέρισμα που ονομάζεται τράπεζα μπαταριών. Συνήθως, ένα υποβρύχιο θα έχει τράπεζα μπαταριών σε περισσότερα από ένα υδατοστεγή διαμερίσματα για

πλεονασμό. Κάθε τράπεζα μπαταρίας έχει επαρκή χωρητικότητα για την υποστήριξη όλων των λειτουργιών του υποβρυχίου για την περίοδο αντοχής του. Ο εξαερισμός και η απομάκρυνση του υδρογόνου από το διαμέρισμα των μπαταριών αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα, καθώς οποιαδήποτε παρουσία υδρογόνου στο διαμέρισμα μπορεί να οδηγήσει σε εκρήξεις.

- Μηχανήματα και βοηθητικά μηχανήματα: Τα κύρια και βοηθητικά μηχανήματα αποτελούν το ένα τρίτο περίπου του βάρους του υποβρυχίου. Το κύριο μηχάνημα είναι οι εναλλάκτες ντίζελ που χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση των μπαταριών και των συναφών συστημάτων, της εγκατάστασης κλιματισμού, του συστήματος υψηλής πίεσης αέρα κ.λπ. Το βοηθητικό διαμέρισμα μηχανών διαχωρίζεται από το κυρίως διαμέρισμα με υδατοστεγές διάφραγμα. Ο βοηθητικός ή οικονομικός ηλεκτροκινητήρας, η βοηθητική εγκατάσταση εναλλασσόμενου ρεύματος, το βοηθητικό σύστημα αέρα υψηλής πίεσης κλπ. στεγάζονται στο βοηθητικό διαμέρισμα του μηχανήματος. Οι εναλλάκτες ντίζελ χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση των μπαταριών, οι οποίες με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους κύριους και βοηθητικούς ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης.
- Θάλαμος πρόωσης: Βρίσκεται στην πρύμνη του θαλάμου πίεσης και στεγάζει τον κύριο κινητήρα ηλεκτροκίνησης, τον κύριο άξονα πρόωσης και τα συναφή συστήματα, τον άξονα ουράς και τους εμπρόσθιους και οπίσθιους αδένες που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη υδατοστεγανότητας στο θάλαμο πίεσης και στα εξωτερικά ανοίγματα του θαλάμου. Στο σχεδιασμό ηλεκτρικών υποβρυχίων diesel, ο μειωτήρας εγκαθίσταται επίσης στο διαμέρισμα πρόωσης.

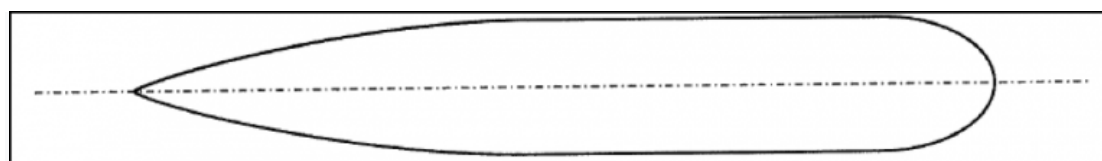
3.3 Μορφές εξωτερικού θαλάμου υποβρυχίου

Τα περισσότερα από τα πρώτα υποβρύχια χρησιμοποίησαν έναν εξωτερικό σχεδιασμό ο οποίος ήταν πολύ διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιείται στα σημερινά υποβρύχια. Η εξέλιξη του σχεδιασμού και οι λόγοι πίσω από αυτό είναι μια ενδιαφέρουσα πτυχή στην ιστορία του υποβρυχίου.. Το πιο ιδανικό σχήμα υποθαλάσσιας θαλάμου για ελάχιστη οπισθέλκουσα είναι η ιδέα του εξορθολογισμένου σχήματος με παραβολικό τόξο και ελλειπτική πρύμνη, όπως φαίνεται στην εικόνα 22.



Εικόνα 22: Ιδανική βελτιστοποιημένη μορφή σκελετού

Τα πρώτα υποβρύχια της δεκαετίας του 1940 χρησιμοποίησαν αυτό το σχήμα για ελάχιστη απαίτηση ισχύος και αμελητέο διαχωρισμό ροής γύρω από το θάλαμο. Παρατηρήθηκε όμως ότι λόγω του σχήματος εξορθολογισμού, ο χρησιμοποιούμενος όγκος μέσα στο κύτος ήταν ανεπαρκής, καθώς η ακτίνα του σκάφους είχε μια απότομη μείωση από τη μέση του σκάφους και μπροστά. Αυτό όχι μόνο κράτησε υψηλό το κόστος παραγωγής, αλλά εξασθένησε επίσης την πιθανότητα ενσωμάτωσης πολλαπλών επιπέδων καταστρώματος.



Εικόνα 23: Σύγχρονη υποθαλάσσια σφαίρα με κυλινδρικό μεσαίο σώμα

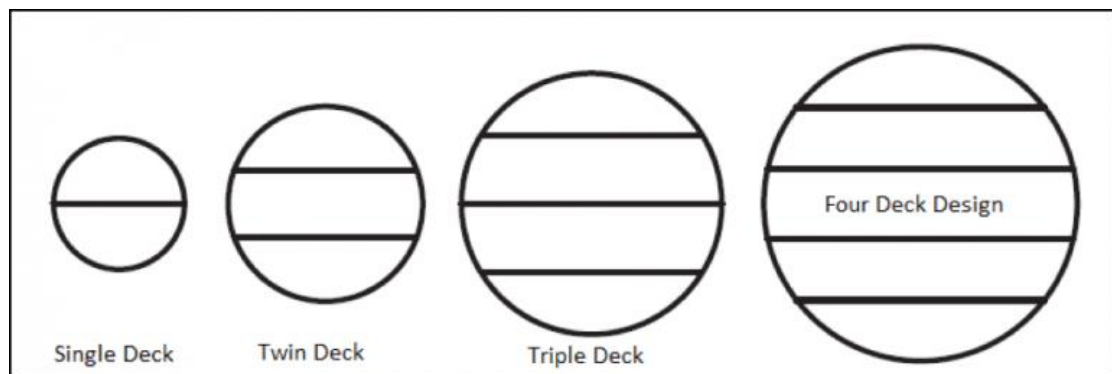
Το σχήμα που χρησιμοποιείται στα σύγχρονα υποβρύχια (από τα τέλη της δεκαετίας του 1970) είναι το μακρύ κυλινδρικό μεσαίο σώμα με ελλειπτικό τόξο και πρύμνη. Παρόλο που η μετατόπιση από το ιδανικό βελτιωμένο σχήμα αυξάνει την έλξη και τις επακόλουθες απαιτήσεις ισχύος, το πρόσθετο κόστος καυσίμων κατά τη διάρκεια ζωής του υποβρυχίου αντισταθμίζεται από το χαμηλό κόστος παραγωγής, καθώς τα κυλινδρικά τμήματα είναι πολύ φθηνότερα και πιο εύκολα κατασκευάσιμα. Αυτό το σχήμα επιτρέπει επίσης την ενσωμάτωση πολλαπλών καταστρωμάτων μέσα στον ίδιο όγκο κύτους, εξασφαλίζοντας έτσι περισσότερη χωρική χρήση.

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι το σχήμα και η γεωμετρία μιας ενός υποβρυχίου είναι ένα σημαντικό σημείο εκκίνησης του σχεδιασμού, διότι εκτός από τη βέλτιστη χωρική χρήση, επηρεάζει και μια σειρά άλλων παραγόντων του υποβρυχίου όπως συζητείται παρακάτω.

Ένα κυλινδρικό σχήμα αυξάνει την ικανότητα ελιγμών του υποβρυχίου λόγω των μεγαλύτερων υδροδυναμικών δυνάμεων που παράγονται. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι επιτυγχάνεται η ελάχιστη συνολική οπισθέλκουσα στο και τα καλύτερα χαρακτηριστικά ευκινησίας για αναλογίες μήκους έως εύρους που κυμαίνονται από 6 έως 8.

Η διάμετρος του υποβρυχίου αποφασίζεται κυρίως με βάση το μήκος. Και το μήκος καθορίζεται βάσει του απαιτούμενου όγκου θαλάμου πίεσης και της μετατόπισης του υποβρυχίου. Πολλαπλά καταστρώματα αυξάνουν την χρησιμότητα του όγκου του θαλάμου πίεσης και ο αριθμός των πιθανών επιπέδων καταστρώματος σε ένα υποβρύχιο αποφασίζεται κυρίως από τη διάμετρο του.

Ένα υποβρύχιο με ένα κατάστρωμα θα έχει δύο επίπεδα στο θάλαμο πίεσης του. Τα υποβρύχια με διαμέτρους θαλάμου που κυμαίνονται από 4 έως 7 μέτρα περιορίζονται σε ένα κατάστρωμα.



Εικόνα 24: Πιθανά επίπεδα καταστρώματος για διαφορετικές διαμέτρους κύτους.

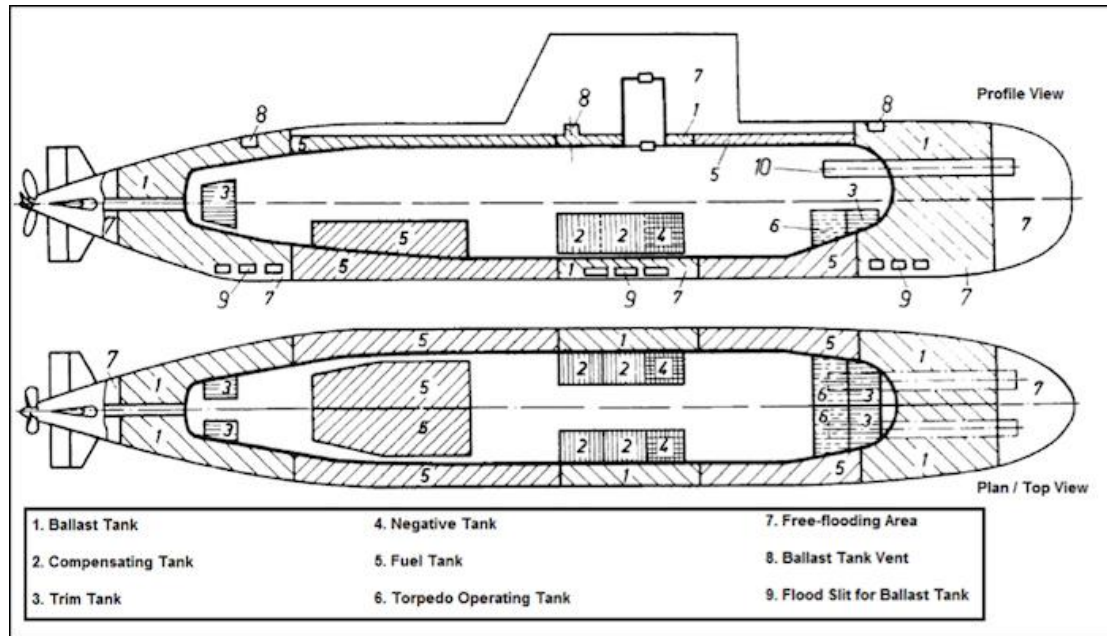
Δύο καταστρώματα με τρία προσιτά επίπεδα είναι δυνατά σε υποβρύχια με διάμετρο κύτους από 7 έως 8 μέτρα. Μεγάλου μεγέθους ηλεκτρικά υποβρυχία πετρελαίου είναι συνήθως αυτής της διάστασης.

Τα τριπλά καταστρώματα χρησιμοποιούνται για διαμέτρους θαλάμου που κυμαίνονται από 9 έως 11 μέτρα και 11 έως 13 μέτρα. Τέτοιες μεγάλες διαμέτροι χρησιμοποιούνται κυρίως σε πυρηνικά υποβρύχια όπου απαιτείται μεγάλος κατακόρυφος χώρος για τον πυρηνικό σταθμό.

Με τις πτυχές του υποβρυχίου σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, το συμπέρασμα που πρέπει να εξαχθεί είναι ότι γνωρίζοντας τα μέρη και τις λειτουργίες του υποβρυχίου και των συστημάτων του, η τέχνη και η ικανότητα ενός καλού σχεδιαστή έγκειται στην προσπάθεια επίτευξης σχεδιασμού μέγιστης ογκομετρικής απόδοσης. Υπάρχουν μερικές θέσεις εντός του υποβρυχίου, οι οποίες μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλου όγκου (π.χ. κύριες δεξαμενές έρματος), ενώ μερικές μπορεί να έχουν μόνο μερικές συγκεκριμένες διαστάσεις (παραδείγμα, τράπεζα μπαταριών). Θα υπάρξουν επίσης περιπτώσεις όπου υπάρχουν συγκεκριμένες ογκομετρικές απαιτήσεις, αλλά δεν έχουν ειδικό σχήμα (για παράδειγμα: δεξαμενές λειτουργίας τορπίλης και δεξαμενές κύριου έρματος). Ανάλογα με αυτές τις απαιτήσεις, ένας καλός σχεδιαστής θα δώσει προτεραιότητα στα στάδια του σχεδιασμού και στις παραμέτρους που καθορίζονται σε κάθε στάδιο. Μια από τις πιο ζωτικές πτυχές του υποβρυχίου σχεδιασμού είναι η σταθερότητά του. Παρόλο που μπορεί να φαίνεται απλό σε σύγκριση με τα πλοία, η κατανόηση της σταθερότητας του υποβρυχίου είναι πιο πολύπλοκη από εκείνη ενός πλοίου, καθώς λειτουργεί και στις δύο, σε επιφανειακές και βυθισμένες συνθήκες. Και οι παράμετροι σταθερότητας ενός υποβρυχίου αλλάζουν δραστικά τη στιγμή που ένα υποβρύχιο καταδύεται μέσα στο νερό ή επανεμφανίζεται.

3.4 Δεξαμενές ενός υποβρυχίου

Το παρακάτω σχήμα δείχνει το σχέδιο δεξαμενής ενός ηλεκτρικού υποβρυχίου διπλού θαλάμου.



Εικόνα 25: Σχέδιο δεξαμενής ηλεκτρικού υποβρυχίου ντίζελ.

3.4.1 Δεξαμενή αντιστάθμισης

όταν ένα υποβρύχιο είναι θετικά ή αρνητικά ανυψωτικό, κάνει ενέργειες για να διατηρήσει μια κατάσταση ουδέτερης άνωσης προσαρμόζοντας το βάρος του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας δεξαμενής αντιστάθμισης, μιας συνιστώσας ασυνήθιστης στις παραδοσιακές έννοιες του σχεδιασμού του πλοίου.

Οι δεξαμενές αντιστάθμισης τοποθετούνται σε ή πλησίον του διαμήκους κέντρου βάρους του υποβρυχίου (βλέπε σχήμα 1). Επειδή, οι μεταβολές του βάρους που προκαλούνται σε σημαντική απόσταση από το διαμήκες κέντρο βάρους θα δημιουργούσαν μια στιγμή ανισοροπίας, η οποία είναι ανεπιθύμητη, καθώς το υποβρύχιο χρειάζεται μόνο να προσαρμόσει το βάρος του. Βρίσκεται μέσα στον ανθεκτικό στην πίεση θάλαμο και αντλεί νερό ή διώχνει νερό προς τη θάλασσα ανάλογα με την κατάσταση που πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Η δεξαμενή αντιστάθμισης μπορεί να εκκενωθεί με αντλία ή με αέρα υψηλής πίεσης (σε περίπτωση λειτουργίας με χαμηλό

θόρυβο), αλλά για να είναι εφικτή η χρήση αέρα υψηλής πίεσης, η δομή της δεξαμενής πρέπει να είναι ανθεκτική στην πίεση σε βαθμό που να μπορεί να αντέξει μια εσωτερική πίεση υψηλότερη από την εξωτερική πίεση. Οι ακόλουθες μεταβολές του βάρους και της ισορροπίας άνωσης αντισταθμίζονται από τις δεξαμενές αντιστάθμισης:

Όταν ένα υποβρύχιο καταδύεται σε μεγαλύτερα βάθη, εισέρχεται σε ύδατα που έχουν διαφορετική πυκνότητα από εκείνη στην επιφάνεια. Το ειδικό βάρος του θαλάσσιου νερού συνήθως αυξάνεται από το 1,008 σε 1,028 σε βάθος. Δεδομένου ότι η πυκνότητα είναι άμεσα ανάλογη με την άνωση, η πλευστότητα αυξάνεται. Για να επιτευχθεί ουδέτερη άνωση, το δοχείο αντιστάθμισης παίρνει νερό από τη θάλασσα μέχρι το βάρος να ακυρώσει την άνωση.

Οι διαφορές βάρους οφείλονται στην κατανάλωση των τροφίμων, του πετρελαίου, του γλυκού νερού, των λιπαντικών λαδιών και άλλων στέρεων αποθεμάτων. Το νερό εισάγεται στη δεξαμενή για να αντισταθμιστεί το βάρος. Ένα ενδιαφέρον πράγμα συμβαίνει σε περίπτωση κατανάλωσης καυσίμου πετρελαίου. Στα υποβρύχια, όσο εξαντλείται το πετρέλαιο, ο κενός όγκος στη δεξαμενή καυσίμου γεμίζει αυτόματα με θαλασσινό νερό, έτσι ώστε το μαζούτ πάντα να επιπλέει στο θαλασσινό νερό. Αυτό γίνεται για να αποφευχθούν οι ελεύθερες επιφανειακές επιδράσεις. Αλλά καθώς το νερό καταναλώνει τον όγκο του καυσίμου που καταναλώνεται, το βάρος του υποβρυχίου αυξάνεται εξαιτίας αυτού. Η δεξαμενή αντιστάθμισης χρησιμοποιείται επίσης για να αντισταθμίσει αυτήν την αλλαγή στο βάρος.

Σε βαθύτερα βάθη, η υψηλή εξωτερική πίεση έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίεση του θαλάμου πίεσης. Αυτό μειώνει τον ανθεκτικό στην πίεση όγκο του υποβρυχίου, γεγονός που μειώνει την πλευστότητά του. Η χαμένη άνωση αντισταθμίζεται με απελευθέρωση νερού από το δοχείο αντιστάθμισης. Συνήθως, για τα υποβρύχια που έχουν μέγιστο βάθος κατάδυσης από 200 έως 350 μέτρα, ο διαθέσιμος όγκος για το σκοπό αυτό στη δεξαμενή αντιστάθμισης κυμαίνεται από 0,3 έως 0,4 τοις εκατό του συνολικού όγκου πίεσης θαλάμου.

Ένας σχεδιαστής υποβρυχίων λαμβάνει υπόψη του δύο οριακές συνθήκες φόρτωσης για την εκτίμηση της χωρητικότητας της

δεξαμενής αντιστάθμισης για ένα συγκεκριμένο σχέδιο. Οι συνθήκες φόρτωσης αναφέρονται παρακάτω:

- Περίπτωση φόρτωσης 1: Στο τέλος μιας πολύ μακράς και αργής κρουαζιέρας σε θαλάσσιο νερό με μέγιστη πυκνότητα. Στο τέλος μιας πολύ μακράς και αργής πορείας, όλα τα αναλώσιμα όπως το γλυκό νερό, τα αποθέματα, τα τρόφιμα εξαντλούνται, αλλά αφήνεται σχετικά μεγάλη ποσότητα πετρελαίου. Το σκάφος πλέει σε θαλασσινό νερό μέγιστης πυκνότητας, πράγμα που σημαίνει ότι η άνωση είναι υψηλότερη. Και οι δύο συνθήκες απαιτούν από κοινού την πλήρωση της δεξαμενής αντιστάθμισης στη μέγιστη χωρητικότητά της.
- Περίπτωση φόρτωσης 2: Στο τέλος μιας πολύ σύντομης, γρήγορης πορείας σε θαλάσσιο νερό με ελάχιστη πυκνότητα. Σε αυτή την κατάσταση, τα αναλώσιμα καταναλώθηκαν μερικώς και το καύσιμο ντίζελ καταναλώθηκε τελείως. Δεδομένου ότι η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού είναι ελάχιστη, η άνωση είναι μικρότερη. Σε μια τέτοια περίπτωση, το νερό που απαιτείται στη δεξαμενή αντιστάθμισης θα ήταν ελάχιστο.

Στην πραγματικότητα, όταν ένα υποβρύχιο αρχίζει την πορεία του, ο όγκος του νερού στη δεξαμενή αντιστάθμισης είναι κάπου στο ενδιάμεσο. Έχει παρατηρηθεί με παραμετρικές μελέτες ότι οι δεξαμενές αντιστάθμισης έχουν συνήθως όγκο 2,5 έως 3 τοις εκατό του συνολικού όγκου αντοχής του υποβρυχίου. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται επίσης από τους σχεδιαστές στα προκαταρκτικά στάδια σχεδιασμού.

3.4.2 Δεξαμενές στερέωσης

Οι δεξαμενές στερέωσης χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση του διαμήκους κέντρου βάρους ακριβώς κάτω από το κέντρο της άνωσης, έτσι ώστε το υποβρύχιο να μπορεί να μετακινηθεί σε μια ουδέτερη κατάσταση ρύθμισης. Αυτές οι δεξαμενές είναι ίσες σε μέγεθος και βρίσκονται μέσα στο θάλαμο πίεσης και όσο το δυνατόν πιο εμπρόσθια και οπίσθια ώστε να μεγιστοποιείται η ροπή που προκαλείται από αυτά (σημειώστε τις δεξαμενές κοπής στο σχήμα 1). Το σύστημα δεξαμενής στερέωσης αποτελείται από δύο ζεύγη δεξαμενών, ένα ζευγάρι προς τα εμπρός (φιλιστρίνι και δεξιά πλευρά) και το άλλο στο πίσω μέρος (φιλιστρίνι και δεξιά πλευρά).

Αυτές οι δεξαμενές αλληλοσυνδέονται με σωλήνες που ονομάζονται σωλήνες στερέωσης και το χρησιμοποιούμενο ρευστό ονομάζεται ύδωρ καθαρισμού. Το υγρό κυκλοφορεί ανάμεσα στο εμπρόσθιο και το οπίσθιο τμήμα ανάλογα με την απαιτούμενη κατάσταση ρύθμισης. Η κυκλοφορία πραγματοποιείται είτε με αντλίες είτε με αέρα χαμηλής πίεσης.

Οι διαστάσεις της δεξαμενής αποκοπής εκτιμώνται χρησιμοποιώντας τις οριακές συνθήκες που καθορίζουν τις περιπτώσεις φορτίου. Επίσης, λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις κοπής που οφείλονται στη μετατόπιση βάρους κατά τη διάρκεια της πυροδότησης των τορπιλών. Για εμπειρικούς σκοπούς, ο απαιτούμενος όγκος απαιτούμενου νερού είναι 0,5 τοις εκατό του όγκου του θαλάμου πίεσης πίεσης

3.4.3 Αρνητικές δεξαμενές ή δεξαμενές ταχείας κατάδυσης

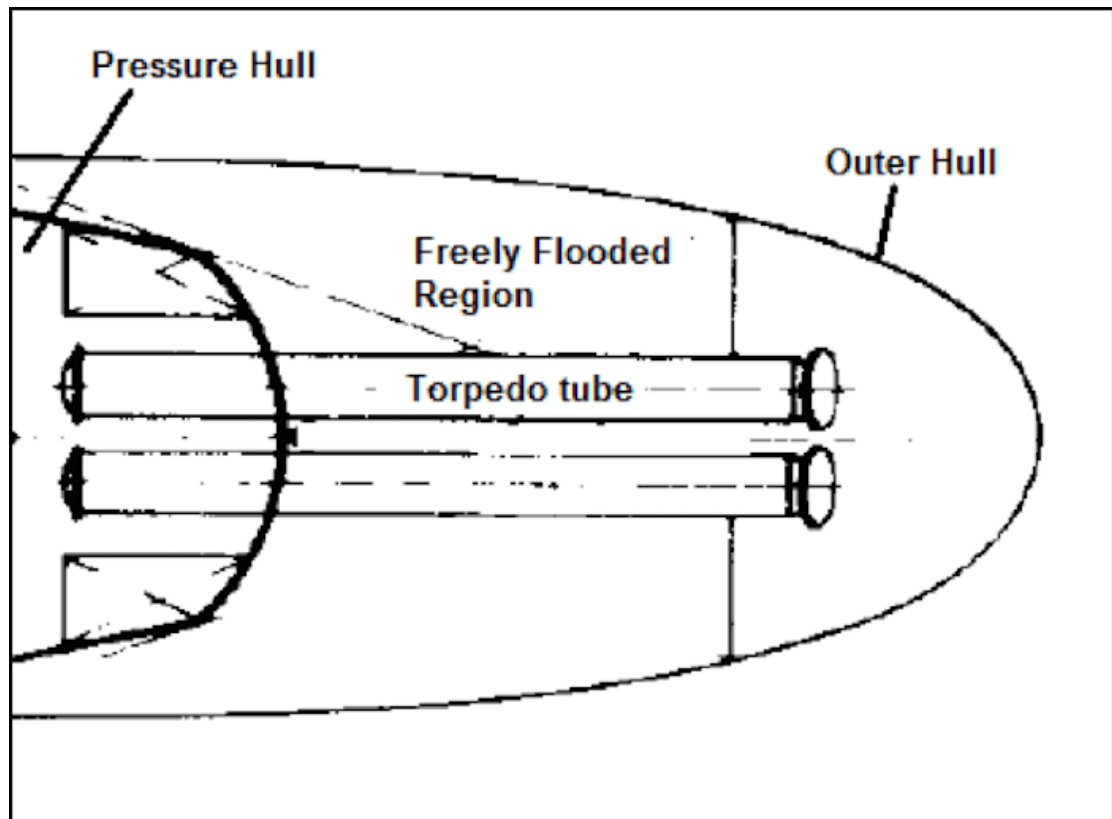
Αυτές οι δεξαμενές χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά μέσα για την πλεύση σε κύματα. Όταν ένα υποβρύχιο καταδύεται σε κύματα, η προστιθέμενη άνωση λόγω της δράσης των κυμάτων εμποδίζει την κατάδυση αμέσως και παρεμποδίζει την ικανότητά του να βουτά σε βαθύτερο βάθος. Καθώς τα καράβια περνούν κατά μήκος του υποβρυχίου, τα τμήματα των ελεύθερων πλημμυρών στα ανώτατα επίπεδα καταστρώματος (στο ιστίο και το ανώτερο κατάστρωμα) παραμένουν μερικώς πλημμυρισμένα, με αποτέλεσμα την αποτυχία της κατάδυσης.

Για να καταπολεμηθεί αυτό το φαινόμενο, παρέχεται μια δεξαμενή με θύρες πλημμύρας σε χαμηλό επίπεδο, ακριβώς μπροστά από το κέντρο βάρους του υποβρυχίου. Η δεξαμενή αυτή δεν θα προσθέσει μόνο αρνητική άνωση (ή θα προσθέσει στο βάρος), αλλά κόβει επίσης το τόξο και βοηθάει στην γρήγορη κατάδυση. Λόγω αυτού, ονομάζονται επίσης δεξαμενές γρήγορης κατάδυσης. Μόλις το υποβρύχιο βυθιστεί και όλες οι ελεύθερες περιοχές πλημμύρας γεμίζουν με νερό, η αρνητική δεξαμενή αποστραγγίζεται γρήγορα χρησιμοποιώντας πεπιεσμένο αέρα.

3.4.4 Δεξαμενές Torpedo

Οι τορπίλες εκτοξεύονται από σωλήνες τορπιλών που βρίσκονται στο εμπρόσθιο τμήμα ενός υποβρυχίου. Το βάρος κάθε τορπίλης, γενικά, είναι περίπου 4 έως 5 τόνους. Ως εκ τούτου, από τη στιγμή που μια τορπίλη πυροδοτείται, η απώλεια σημαντικού βάρους θα παρεμποδίσει την ικανότητα διατήρησης

της πορείας του υποβρυχίου. Η πυροδότηση μιας τορπίλης από ένα υποβρύχιο περιλαμβάνει μια σειρά βημάτων για την αποφυγή των παραπάνω.



Εικόνα 26: Σωλήνες τορπιλών (Top View)

Ο σωλήνας τορπιλών είναι μια κυλινδρική κατασκευή ανθεκτική στην πίεση, η οποία έχει μια πόρτα στην μπροστινή πόρτα και μία στην πρύμνη. Ένα υποβρύχιο συνήθως έχει πολλαπλούς σωλήνες τορπιλών και μπορεί να πυροδοτήσει περισσότερες από μία τορπίλες ταυτόχρονα. Περίπου το ένα τρίτο του μήκους ενός σωλήνα τορπιλών βρίσκεται μέσα στο θάλαμο πίεσης και το υπόλοιπο βρίσκεται έξω από το θάλαμο πίεσης, στην ελεύθερη πλημμυρισμένη περιοχή που οδηγεί στο εμπρός πλέον σημείο του εξωτερικού κύτους όπου βρίσκεται η μπροστινή πόρτα. Το τμήμα του σωλήνα στην ελεύθερη πλημμυρισμένη περιοχή υποβάλλεται σε εξωτερική πίεση και σκληρύνεται εξωτερικά για να το προστατεύσει από το λυγισμό.

3.4.5 Δεξαμενές αιωρήματος

Όσο και όταν το υποβρύχιο καταδύεται ή ανυψώνεται, η ικανότητά του να διατηρεί το βάθος προκαλείται λόγω μεταβολών της πυκνότητας και των αποτελεσμάτων

συμπιεστότητας που προκύπτουν. Σε πολλές μυστικές επιχειρήσεις, τα ναυτικά υποβρύχια πρέπει να αιωρούνται σε σταθερό βάθος ενώ είναι ακίνητα. Σε αυτή την περίπτωση, απαιτείται σταθερή ισορροπία της εξίσωσης άνωσης-βάρους. Αυτή η ισορροπία μπορεί να επιτευχθεί με ένα ελεγχόμενο από αισθητήρα σύστημα που είναι αφιερωμένο σε μια ειδική δεξαμενή όπου μπορεί να τραβηχτεί νερό όταν το υποβρύχιο ανεβαίνει και νερό από την ίδια δεξαμενή μπορεί να αντληθεί όταν το υποβρύχιο βυθιστεί. Αυτή η ανταλλαγή νερού είναι γρήγορη και απαιτείται να διεξάγεται σε συνεχή βάση. Ως εκ τούτου, μια ειδική δεξαμενή που ονομάζεται δεξαμενή Hover που βρίσκεται έξω από το κύτος πίεσης, χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση αυτού του σκοπού. Ο λόγος πίσω από τη θέση του στο εξωτερικό κύτος (σε αντίθεση με μια δεξαμενή αντιστάθμισης, η οποία βρίσκεται μέσα στο κύτος πίεσης) είναι η διατήρηση του περιεχομένου της σε πίεση θαλάσσιου περιβάλλοντος έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεχής εισροή και εκροή νερού. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου το υποβρύχιο πρόκειται να σχεδιαστεί για να αιωρείται κοντά στην επιφάνεια, το σύστημα hover πρέπει να είναι πιο ανθεκτικό ώστε να αντισταθμίζει τα αποσταθεροποιητικά αποτελέσματα της δράσης των κυμάτων.

Οι άλλοι τύποι δεξαμενών που χρησιμοποιούνται σε υποβρύχιο είναι δεξαμενές καυσίμου, δεξαμενές λιπαντικού, δεξαμενές λάσπης και δεξαμενές γλυκού νερού. Δεν έχουν συζητηθεί εδώ, καθώς η λειτουργία και ο σκοπός τους είναι παρόμοια με εκείνα των επιφανειακών πλοίων. Ωστόσο, είναι σημαντικό για έναν σχεδιαστή να πραγματοποιήσει παραμετρικές μελέτες της χωρητικότητας των δεξαμενών διαφόρων υφιστάμενων σχεδίων πριν φτάσει παραμετρικά σε εκτίμηση της χωρητικότητας και του σχεδίου για τις δεξαμενές ενός νέου σχεδιασμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΠΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ

Χρησιμοποιώντας δυνάμεις προωθήσεως, τα πλοία μπορούν να ελιχθούν μέσα στο νερό. Αρχικά, ενώ υπήρχε περιορισμένος αριθμός συστημάτων προώθησης πλοίων, στην παρούσα εποχή υπάρχουν πολλά καινοτόμα μέσα με τα οποία μπορεί να κινηθεί ένα σκάφος.

Σήμερα η πλοήγηση δεν αφορά μόνο την επιτυχή κίνηση του πλοίου στο νερό. Περιλαμβάνει επίσης τη χρήση του βέλτιστου τρόπου πρόωσης για την εξασφάλιση καλύτερου προτύπου ασφάλειας για το θαλάσσιο οικοσύστημα, παράλληλα με την αποδοτικότητα του κόστους.

Ορισμένοι από τους διάφορους τύπους συστημάτων πρόωσης που χρησιμοποιούνται στα πλοία μπορούν να απαριθμηθούν ως εξής:

4.1 Πρόωση ντίζελ

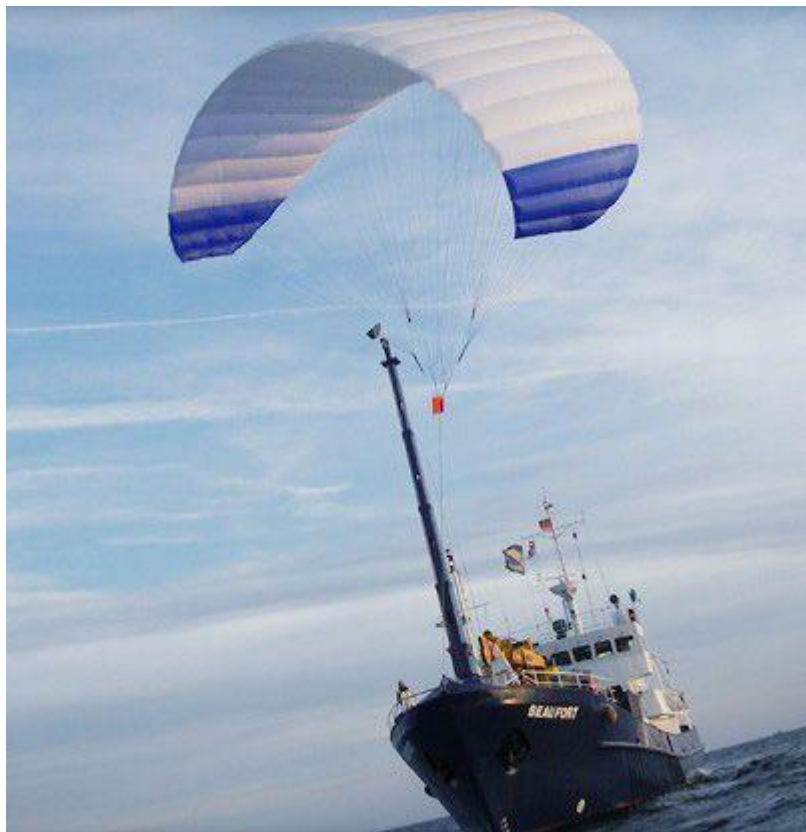
Το σύστημα πρόωσης diesel είναι το πιο συνηθισμένο σύστημα θαλάσσιας προώθησης που εκμεταλλεύεται τη μηχανική ενέργεια από θερμικές δυνάμεις. Τα συστήματα πρόωσης πετρελαίου ντίζελ χρησιμοποιούνται κυρίως σε σχεδόν όλους τους τύπους σκαφών μαζί με μικρά σκάφη και σκάφη αναψυχής



Εικόνα 27: Σύστημα πρόωσης diesel

4.2 Πρόωση ανέμου

Η πρόωση του ανέμου προέκυψε ως εναλλακτική λύση στα συστήματα που εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες αερίων CO₂ στην θαλάσσια ατμόσφαιρα. Ωστόσο, η χρήση θαλάσσιας πρόωσης δεν έχει αρχίσει εκτεταμένα σε μεγάλα εμπορικά πλοία λόγω της απαίτησης για συνεχή πνοή ανέμων. Δύο συστήματα πρόωσης ανέμου για τα πλοία που έχουν γίνει πρόσφατα γνωστά είναι πρόωση με αετό και πρόωση με πανιά σταεμπορικά πλοία.



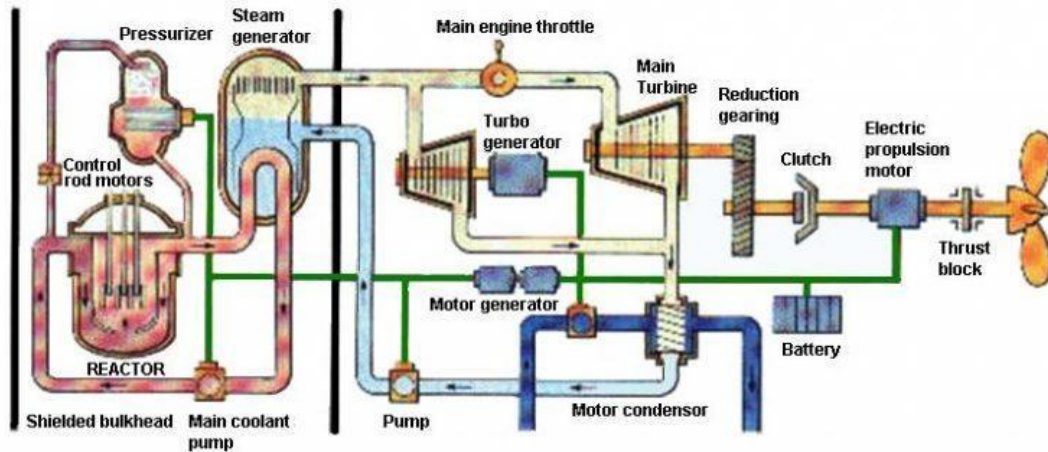
Εικόνα 28: Πρόωση ανέμου

4.3 Πυρηνική πρόωση

Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της πυρηνικής σχάσης, η πυρηνική πρόωση είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από αντιδραστήρες νερού και άλλους εξοπλισμούς που τροφοδοτούν το σκάφος. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες στα πλοία χρησιμοποιούνται επίσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού

για το πλοίο. Ορισμένα εμπορικά πλοία σχεδιάζονται επίσης να κατασκευαστούν με αυτό το σύστημα πρόωσης

Pressurized-water Naval Nuclear Propulsion System



Εικόνα 29: Σύστημα πυρηνικής πρόωσης

4.4 Πρόωση αεριοστροβίλου

Η πρόωση αεριοστροβίλου χρησιμοποιείται για ναυτικά και μη ναυτικά πλοία. Σε περίπτωση ναυτικών πλοίων, το σύστημα πρόωσης αεριοστροβίλων βοηθάει στην ταχύτερη κίνηση των πλοίων που είναι απαραίτητη σε περίπτωση που το πλοίο δεχθεί επίθεση.



Εικόνα 30: Αεριοστρόβιλος

4.5 Πρόωση κυψελών καυσίμου

Τα συστήματα πρόωσης κυψελών καυσίμου χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως το κύριο καύσιμο. Η ηλεκτρική ενέργεια δημιουργείται στην κυψέλη καυσίμου χωρίς καμιά καύση. Η διαδικασία είναι καθαρή και ως εκ τούτου θεωρείται ένα πολύ σημαντικό εναλλακτικό σύστημα θαλάσσιας προώθησης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι προώθησης κάτω από την κεφαλή προώθησης κυψελών καυσίμου όπως το PEM (μεμβράνη ανταλλαγής φωτονίων) και τα συστήματα τετηγμένου ανθρακικού άλατος.



Εικόνα 31:Κυψέλες καυσίμου

4.6 Πρόωση καυσίμου βιοντίζελ

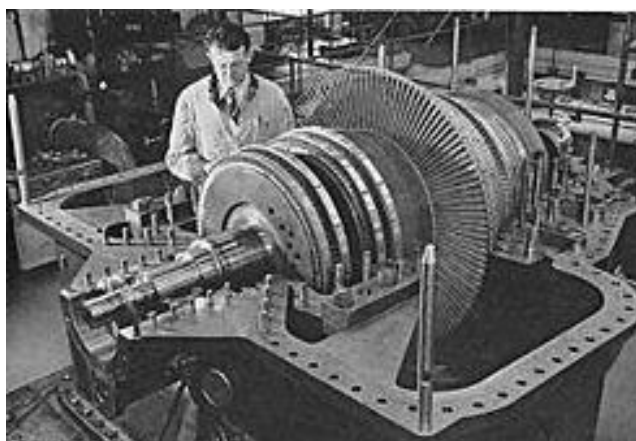
Η πρόωση του βιοντίζελ θεωρείται πιθανό σύστημα θαλάσσιας προωθήσεως για το μέλλον. Επί του παρόντος διεξάγονται δοκιμές για να διαπιστωθεί η βιωσιμότητα αυτού του συστήματος προώθησης το οποίο αναμένεται να τεθεί σε πλήρη λειτουργία έως το έτος 2017.

4.7 Ηλιακή πρόωση

Η ηλιακή πρόωση πλοίων χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το έτος 2008. Τα οφέλη από την ηλιακή πρόωση περιλαμβάνουν μια μεγάλη μείωση των δηλητηριωδών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι ηλιακές προωστικές δυνάμεις είναι ικανές να παράγουν χωρητικότητα έως και 40 κιλοβάτ (kW).

4.8 Πρόωση με ατμοστρόβιλο

Η πρόωση ατμοστρόβιλων περιλαμβάνει τη χρήση άνθρακα ή άλλων καυσίμων παραγωγής ατμού για την προώθηση του σκάφους. Το σύστημα θαλάσσιας προωθήσεως με ατμοστρόβιλους χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα μεταξύ του τέλους του 19ου και των αρχών του 20ού αιώνα.



Εικόνα 32: Ατμοστρόβιλος

4.9 Ηλεκτροκίνητη πρόωση diesel

Με απλά λόγια, τα ντίζελ-ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης πλοίων χρησιμοποιούν συνδυασμό γεννήτριας που λειτουργεί με ηλεκτρισμό συνδεδεμένο με κινητήρα ντίζελ. Η τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1900. Σήμερα, τα υποβρύχια και τα εμπορικά πλοία ενσωματώνουν το ντίζελ-ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης για να προωθούν τον εαυτό τους.

4.10 Πρόωση με εκτόξευση νερού

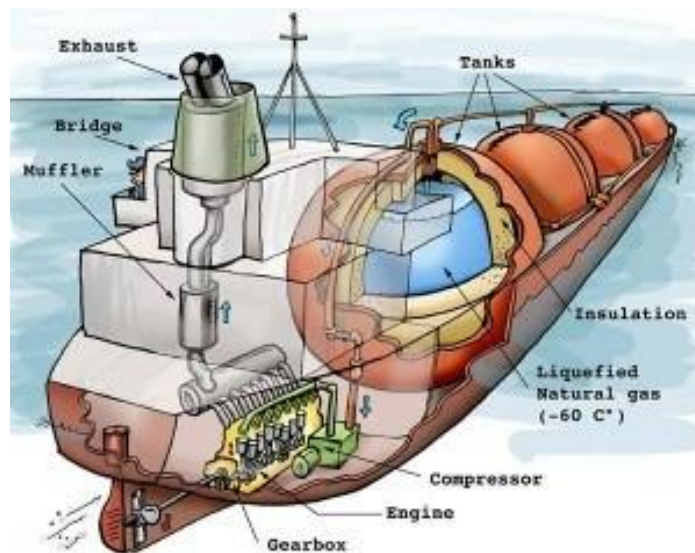
Η πρόωση με εκτόξευση νερού έχει χρησιμοποιηθεί από το έτος 1954. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της πρόωσης με εκτόξευση νερού είναι ότι δεν προκαλεί ηχητική ρύπανση και προσφέρει υψηλή ταχύτητα στα πλοία. Αντίθετα, η πρόωση με νερό-πίδακα ως σύστημα προώθησης πλοίου είναι δαπανηρότερη για να διατηρηθεί, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο χρήστη.



Εικόνα 33: Σύστημα πρόωσης με εκτόξευση νερού

4.11 Καύσιμο φυσικού αερίου ή προωθητής καυσίμου Tri Fuel

Το καύσιμο LNG χρησιμοποιείται τώρα για να καεί στον κύριο κινητήρα μετά την υιοθέτηση κάποιων τροποποιήσεων στον κινητήρα πρόωσης για τη μείωση των εκπομπών από το πλοίο. Είναι γνωστό ως τριπλό καύσιμο επειδή μπορεί να καεί καύσιμο αερίου, ντίζελ και βαρύ καύσιμο.



Εικόνα 34: Σύστημα Tri Fuel

Οι διάφοροι τύποι συστημάτων πρόωσης προσφέρουν τα δικά τους μοναδικά πλεονεκτήματα σε ένα σκάφος. Ανάλογα με την αναγκαιότητα και την απαίτηση, πρέπει να τοποθετηθεί ο καλύτερος τύπος συστήματος πρόωσης πλοίων. Μόνο τότε το

σκάφος θα είναι σε θέση να προσφέρει την καλύτερη δυνατή χωρητικότητα εξυπηρέτησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗΣ

5.1 Τι είναι η ηλεκτροπρόωση

Πρόκειται για ένα είδος πρόωσης στο οποίο η έλικα του πλοίου κινείται μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα κι όχι με τη χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης (π.χ. diesel engines, αεριοστροβίλων, ατμοστροβίλων).

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης συνεχίζουν να υπάρχουν αλλά αντί να κινούν το αξονικό σύστημα και την έλικα, κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες οι οποίες με τη σειρά τους τροφοδοτούν με ηλεκτρική ισχύ τους ηλεκτροκινητήρες πρόωσης. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης στο σύστημα της ηλεκτροπρόωσης ονομάζονται “prime movers” (κινητήριες μηχανές).

5.1.1 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης

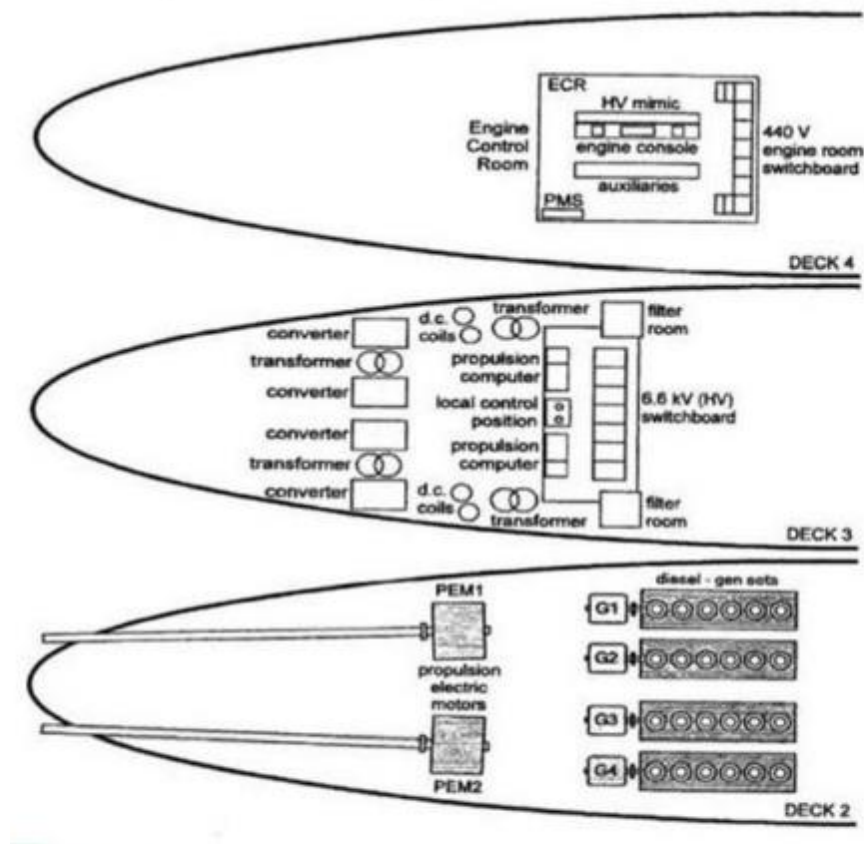
Η ηλεκτροπρόωση παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι παραδοσιακών προώσεων σε εφαρμογές όπως

- Σκάφη με απαίτηση για υψηλή ικανότητα ελιγμών
- Σκάφη με μεγάλη διακύμανση της ισχύος πρόωσης
- Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων
- Σκάφη ειδικών χρήσεων - Υποβρύχια

5.1.2 Πλεονεκτήματα ηλεκτροπρόωσης

- Μεταβολή ταχύτητας περιστροφής της έλικας σε όλο το φάσμα στροφών
- Το σύστημα παράγει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ισχύος η οποία τροφοδοτεί και τα βοηθητικά μηχανήματα
- Μεγάλη ικανότητα ελιγμών
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών
- Οικονομία καυσίμου
- Περιβαλλοντικά οφέλη εξαιτίας της μικρότερης κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών ρύπων
- Αυξημένη αξιοπιστία λόγω πολλών συστημάτων συνδεδεμένων παράλληλα και άρα αυξημένη ασφάλεια
- Απαιτεί λιγότερο χώρο για την εγκατάσταση των επιμέρους συστημάτων

- Μεγαλύτερη ευελιξία στην τοποθέτηση των επιμέρους συστημάτων



Εικόνα 35:εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης σε τρία διαφορετικά καταστρώματα

5.1.3 Μειονεκτήματα ηλεκτροπρόωσης

- Τα κόστη εγκατάστασης του συστήματος είναι σημαντικά υψηλότερα
- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης σε σχέση με το παραδοσιακό μηχανικό σύστημα
- Εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας
- Υψηλότερες απαιτήσεις εκπαίδευσης του προσωπικού εφόσον το σύστημα είναι αρκετά διαφορετικό από το παραδοσιακό

5.1.4 Ορολογία που χρησιμοποιείται

- Full Electric Propulsion – FEP (πλήρης ηλεκτροπρόωση)
Το πλοίο κινείται αποκλειστικώς με ηλεκτροκινητήρες. Τα ζεύγη κινητηρίων μηχανών – ηλεκτρογεννητριών που

τροφοδοτούν τους ηλεκτροκινητήρες προώσεως δεν τροφοδοτούν άλλα φορτία. Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για άλλα φορτία παράγεται από άλλες γεννήτριες.

- Integrated Full Electric Propulsion – IFEP (ολοκληρωμένη πλήρης ηλεκτροπρόωση)
Τα ίδια ζεύγη κινητηρίων μηχανών – γεννητριών τροφοδοτούν και τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης και τα υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία.
- All Electric Ship – AES (πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο)
Ένα πλοίο στο οποίο υπάρχει ολοκληρωμένη πλήρης ηλεκτροπρόωση αλλά και γίνεται ευρεία χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλά συστήματα.

5.1.5 Ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης

Στα τέλη του 19ου και αρχές του 20ου αιώνα εφαρμόστηκε ηλεκτροπρόωση με κινητήρες συνεχούς ρεύματος οι οποίοι τροφοδοτούνταν από μπαταρίες. Η επικράτηση των μηχανών εσωτερικής καύσης δεν επέτρεψε την ευρεία χρήση της ηλεκτροπρόωσης η οποία για μεγάλο διάστημα βασιζόταν σε συστήματα παραγωγής DC και κινητήρες DC. Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών ισχύος επέτρεψε την επανεμφάνιση των συστημάτων ηλεκτροπρόωσης αφού έλυσαν πολλά προβλήματα ελέγχου των ηλεκτροκινητήρων.

Σήμερα για κρουαζιερόπλοια, πλοία ειδικών σκοπών και ferrys χρησιμοποιούνται συνήθως σύγχρονοι ή επαγωγικοί κινητήρες οι οποίοι τροφοδοτούνται μέσω συγχρομετατροπέων και μετατροπέων PWM. Οι κινητήρες DC δεν προτιμώνται λόγω της πολυπλοκότητας του ρότορά τους. Η χρήση τους περιορίζεται σε κάποια πλοία ειδικών σκοπών.

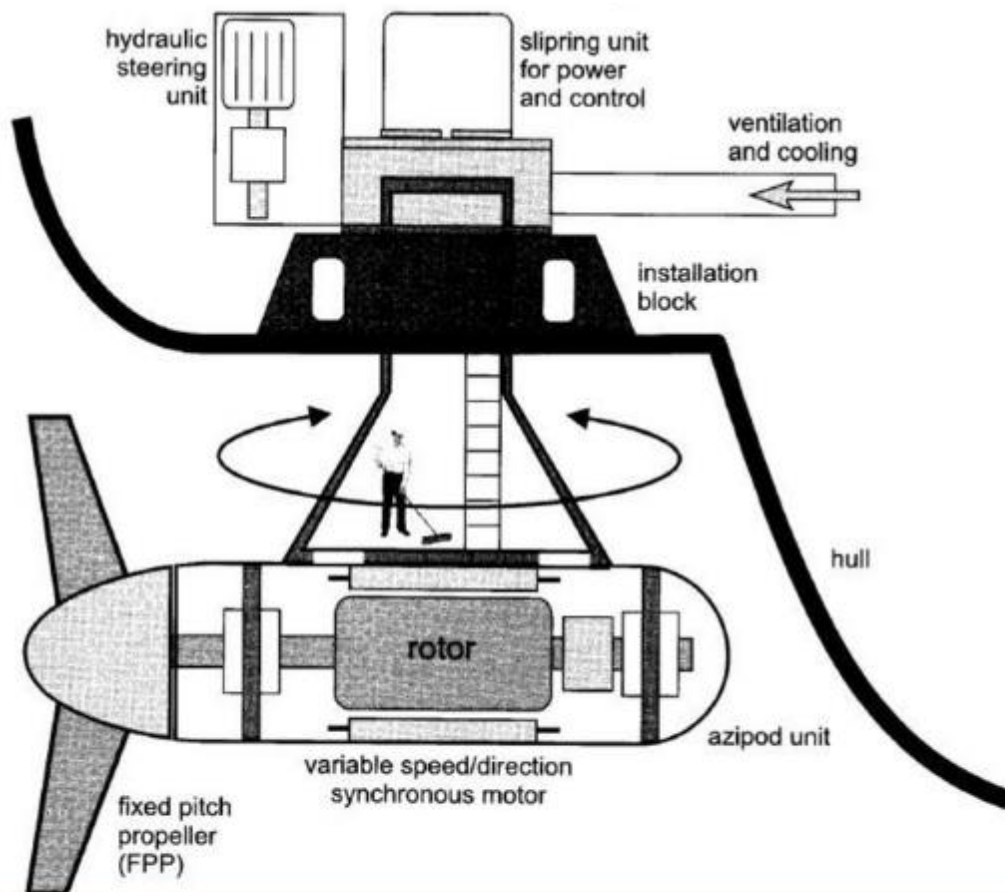
Στην πλειονότητά τους οι κινητήρες ηλεκτροπρόωσης είναι σύγχρονοι κινητήρες απόδοσης 96% - 98% με ονομαστική τάση λειτουργίας στις εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος 3,3 KV – 6,6 KV. Μια νέα κατηγορία σύγχρονων κινητήρων που χρησιμοποιείται είναι αυτή με μόνιμους μαγνήτες και απόδοση που ξεπερνά το 98%.

Σε σχέση με τους επαγωγικούς κινητήρες (ασύγχρονους) οι σύγχρονοι έχουν υψηλότερη απόδοση, μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες ταχύτητες, με τη χρήση

μετατροπέων συχνότητας υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον έλεγχο των στροφών τους και μπορούν να βελτιώσουν τον συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Έχουν μεγαλύτερο βάρος, πολυπλοκότητα και κόστος.

5.1.6 Αζιμουθιακό σύστημα

Την τελευταία δεκαετία και παράλληλα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης εμφανίστηκε μία εναλλακτική λύση για το προωστήριο σύστημα που έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας είναι μία ενιαία μονάδα, εμβαπτισμένη στο νερό στο πρυμναίο μέρος του πλοίου.

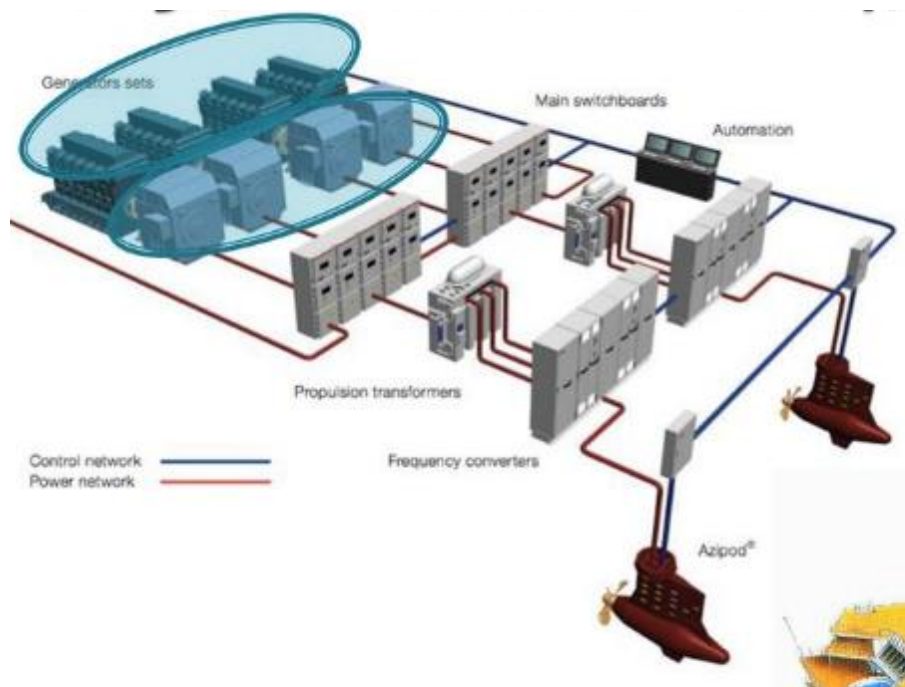


Εικόνα 36: Τομή αζιμουθιακού συστήματος

Το σύστημα μπορεί να φέρει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα να στρέφεται σχεδόν κατά 360° κατά την αζιμουθιακή διεύθυνση (από όπου προέρχεται και το όνομά του), αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου. Αφενός πρακτικά εκμηδενίζεται το αξονικό σύστημα και αφετέρου δεν υφίσταται μηχανισμός πηδαλίου.



Εικόνα 37: Δύο έλικες σε αζιμουθιακό σύστημα

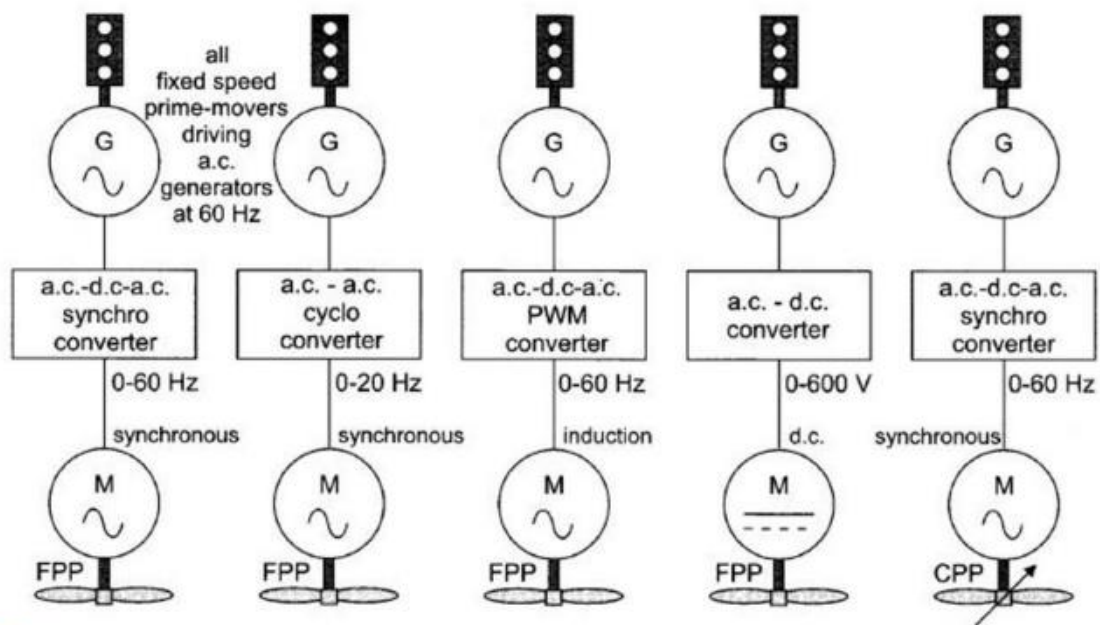


Εικόνα 38: Σύνδεση του αζιμουθιακού συστήματος με το υπόλοιπο σύστημα πρόωσης

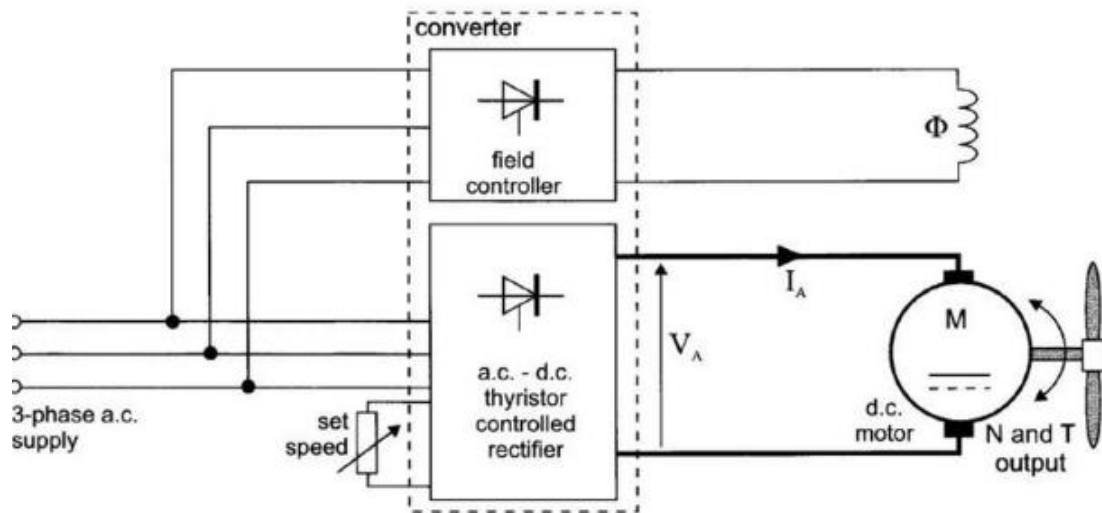
5.1.7 Οδήγηση των ηλεκτροκινητήρων

5.1.7.1 Τύποι μετατροπών

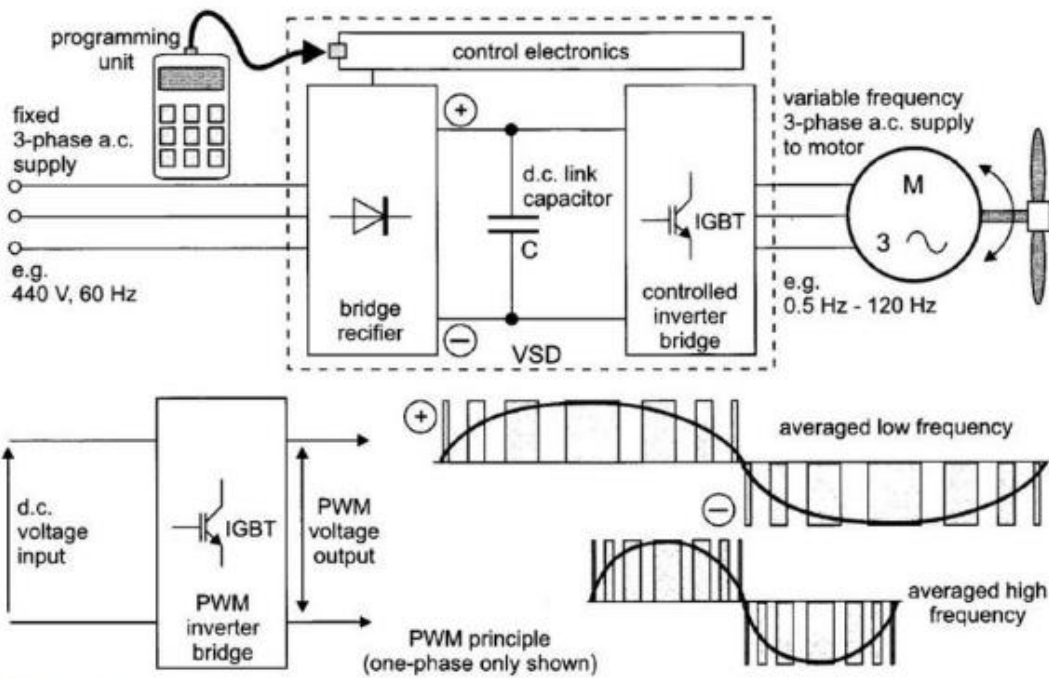
- A.C → D.C. (με ελεγχόμενο ανορθωτή για D.C. Κινητήρες)
- A.C → D.C → A.C. (με PWM για επαγωγικούς κινητήρες)
- A.C → D.C → A.C. (με συγχρομετατροπείς για σύγχρονους κινητήρες)
- A.C → A.C. (με κυκλομετατροπείς για σύγχρονους κινητήρες)



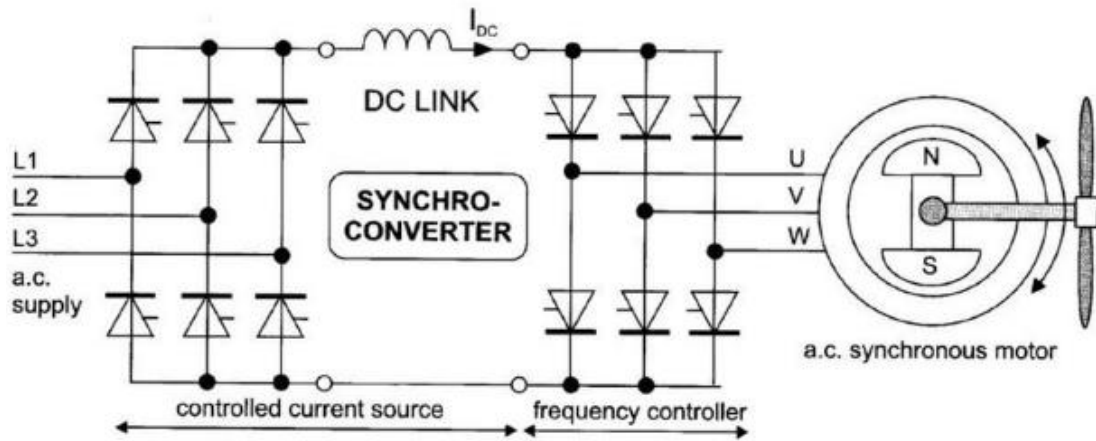
Εικόνα 39: Τα διάφορα συστήματα οδήγησης των ηλεκτροκινητήρων



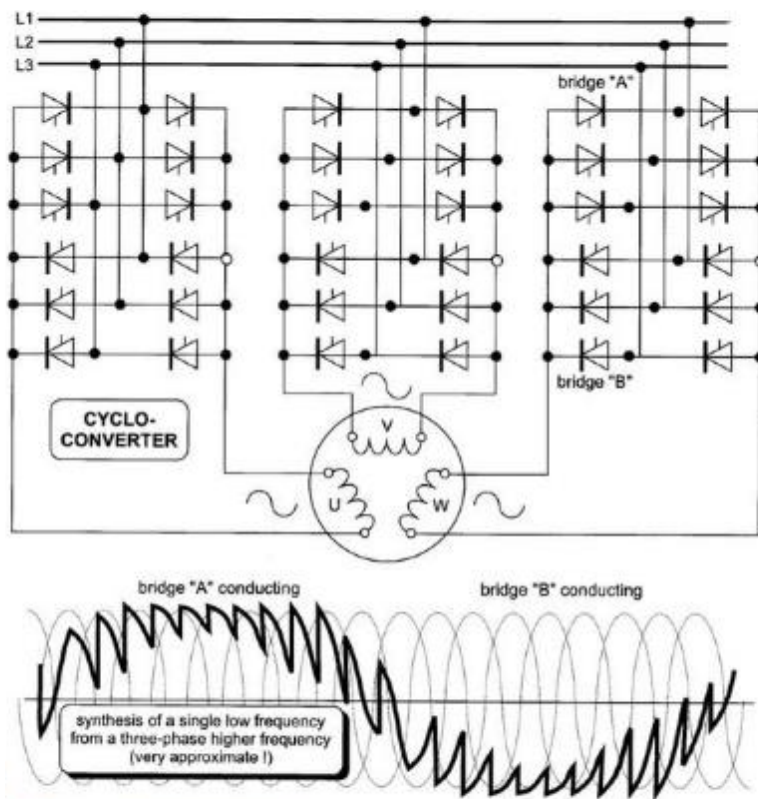
Εικόνα 40:Οδήγηση DC κινητήρων



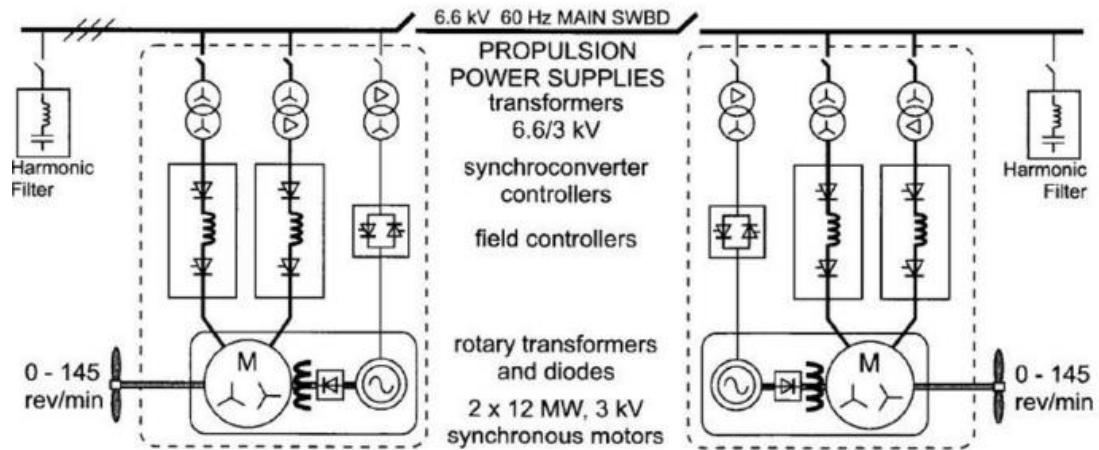
Εικόνα 41:Οδήγηση επαγωγικών κινητήρων



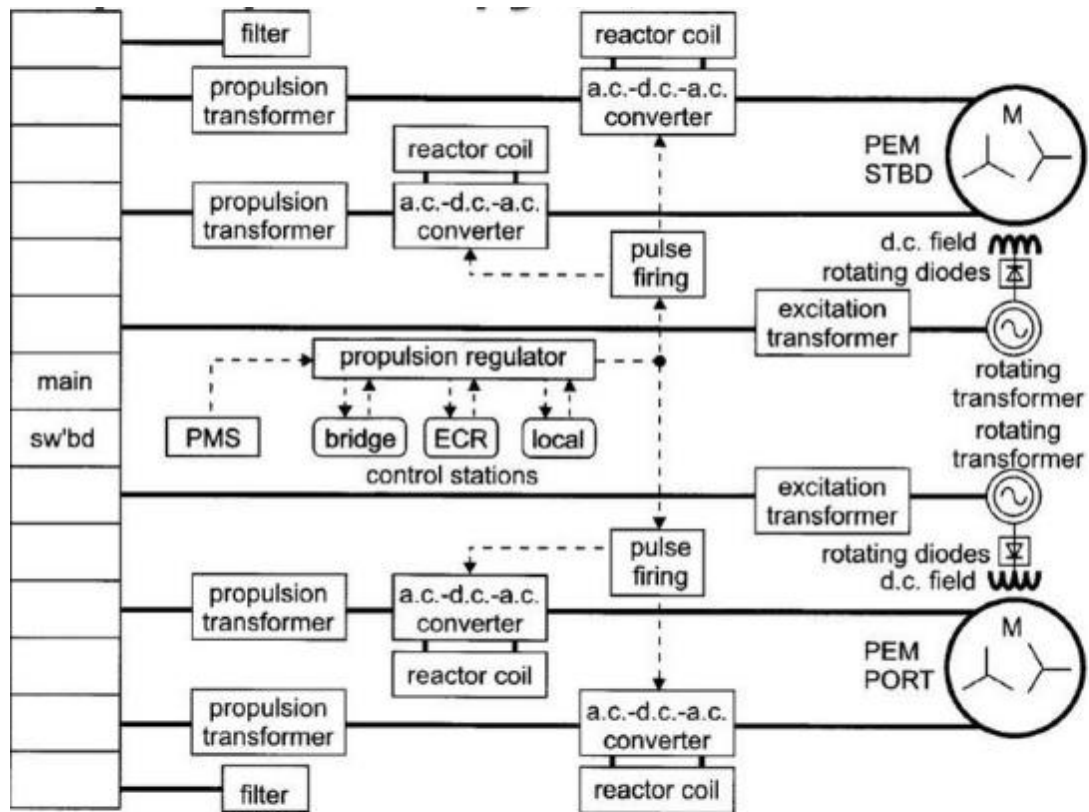
Εικόνα 42: Οδήγηση σύγχρονων κινητήρων με συγχρομετατροπή



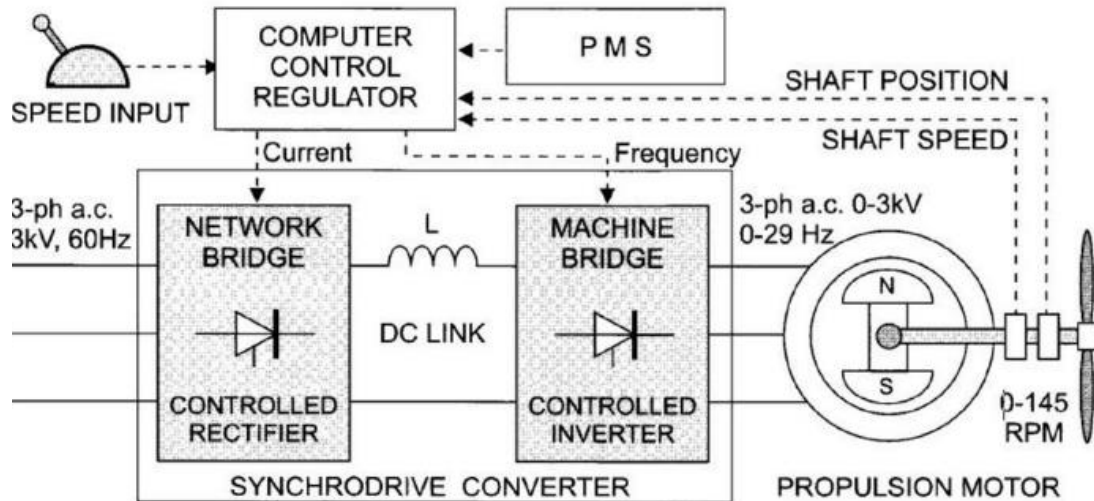
Εικόνα 43: Οδήγηση σύγχρονων κινητήρων με κυκλομετατροπή



Εικόνα 44:Λειτουργία του συστήματος της ηλεκτροπρόωσης



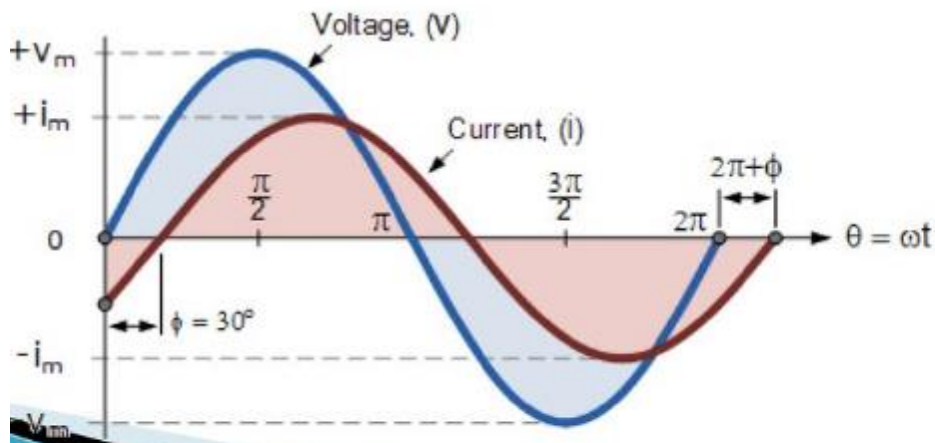
Εικόνα 45:Λειτουργία του συστήματος της ηλεκτροπρόωσης



Εικόνα 46: Λειτουργία του συστήματος της ηλεκτροπρόωσης

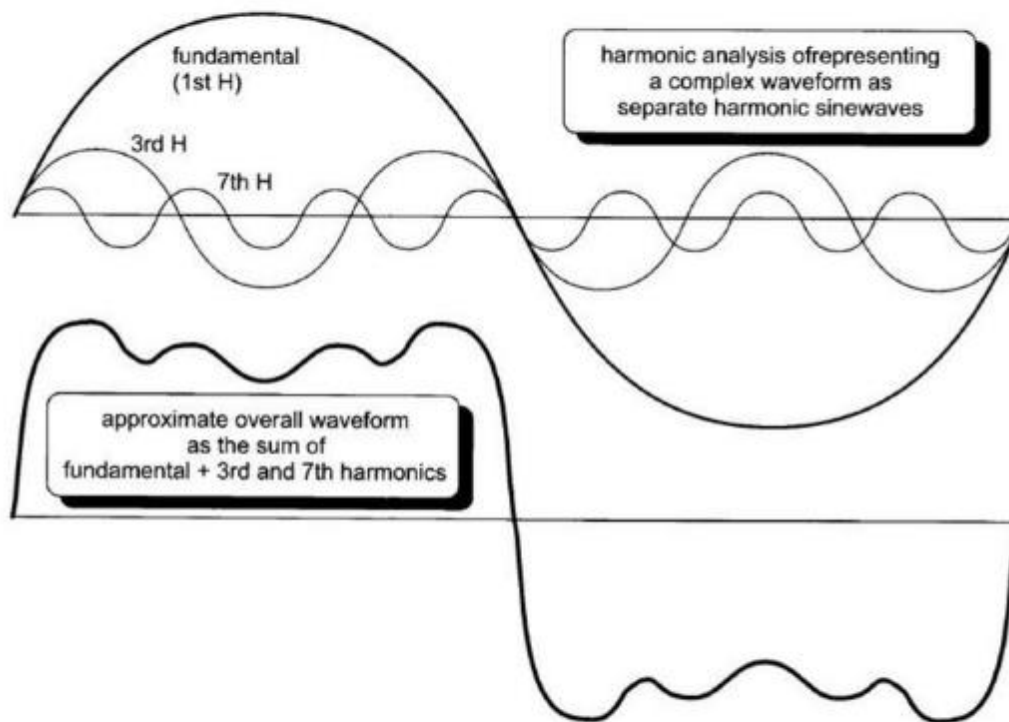
5.1.8 Αρμονικές

Σε ένα σύστημα ισχύος εναλλασσομένου ρεύματος στο οποίο συνδέεται ένα γραμμικό φορτίο η μορφή της τάσης και του ρεύματος είναι τέλειο ημίτονο σε συγκεκριμένη συχνότητα (συνήθως 50 ή 60 Hz).



Εικόνα 47: Τέλειο ημίτονο τάσης και ρεύματος

Όταν ένα μη γραμμικό φορτίο (π.χ. ανορθωτής) συνδεθεί στο σύστημα τότε το ρεύμα και η τάση μεταβάλλονται δυσανάλογα και η κυματομορφή της τάσης εξόδου και του ρεύματος δεν είναι ημιτονοειδής. Η μη ημιτονοειδής κυματομορφή όσο πολύπλοκη κι αν είναι, σύμφωνα με την ανάλυση Fourier, μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά από ημίτονα.



Εικόνα 48:Ανάλυση αρμονικών

Τα ηλεκτρονικά ισχύος που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο των ηλεκτροκινητήρων τεμαχίζουν το ρεύμα μέσω των ηλεκτρονικών διακοπών (thyristor, διόδων, κ.λ.π.) και δημιουργούν κυματομορφές με υψηλό περιεχόμενο αρμονικών. Οι αρμονικές μπορεί να οδηγήσουν σε δυσλειτουργίες, μείωση της απόδοσης του συστήματος, υπερθέρμανση συστημάτων που συνδέονται στο σύστημα ισχύος κ.λ.π.

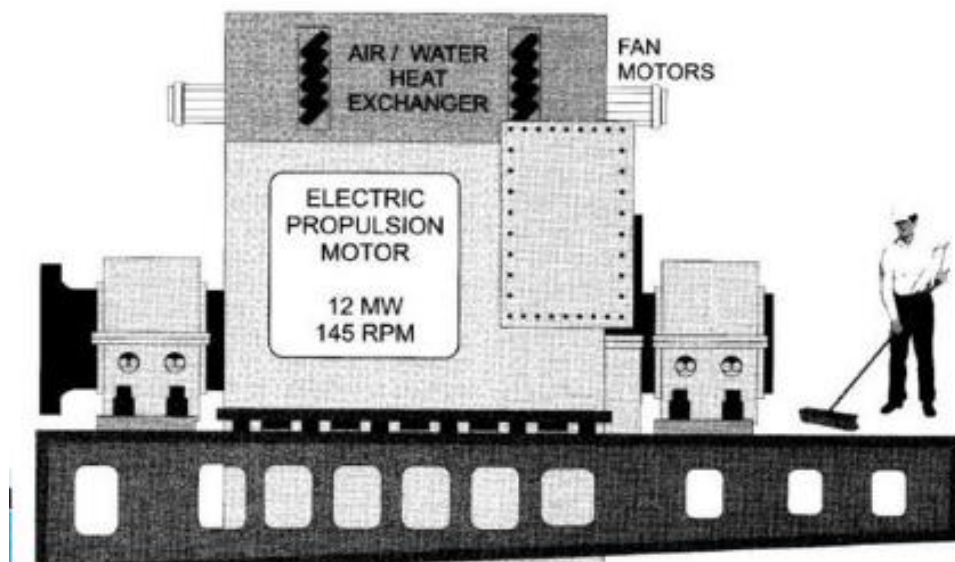
Γενικά οι αρμονικές είναι ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας τροφοδοσίας. Έτσι εάν η βασική συχνότητα είναι 60 Hz, η 3η αρμονική είναι $3 \times 60 = 180$ Hz, η 7η αρμονική $7 \times 60 = 420$ Hz κ.λ.π. Το πλάτος της αρμονικής είναι περίπου αντίστροφο του αριθμού της αρμονικής. Δηλαδή η 5η αρμονική έχει πλάτος $1/5$ του πλάτους της βασικής συχνότητας, η 7η $1/7$, η 9η $1/9$ κ.λ.π.

Για την μείωση των αρμονικών τοποθετούνται φίλτρα τα οποία σχεδιάζονται έτσι ώστε να εξασθενούν τα ρεύματα στις συχνότητες που εμφανίζονται οι αρμονικές. Τα φίλτρα αυτά κατασκευάζονται από επαγωγές (L) και χωρητικότητες (C) .

5.1.9 Βοηθητικός εξοπλισμός

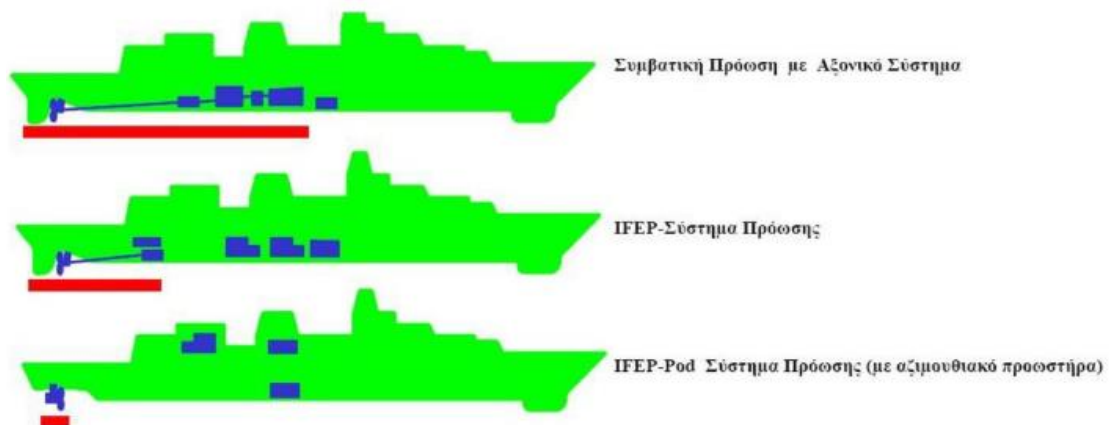
Οι ηλεκτροκινητήρες της πρόωσης, οι μετατροπείς, τα φίλτρα αρμονικών, οι μετασχηματιστές, τα έδρανα των αξόνων όλα δημιουργούν θερμότητα η οποία πρέπει να απομακρυνθεί με κατάλληλη ψύξη. Ο εξοπλισμός που διαρρέεται από υψηλά ρεύματα συνήθως ψύχεται μέσω της εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα ή με συστήματα αέρα / νερού.

Σε έναν μεγάλο ηλεκτροκινητήρα πρόωσης όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, υπάρχει ανεμιστήρας ο οποίος κυκλοφορεί αέρα μέσω ενός ψυγείο γλυκού νερού ψύξης στα διαστήματα μεταξύ ρότορα και στάτη.



Εικόνα 49: Σύστημα ψύξης σε ηλεκτροκινητήρα πρόωσης

5.1.10 Συνεργασία έλικας-κινητήρα



Εικόνα 50: Διάφορα συστήματα συνεργασίας έλικας-κινητήρα

Τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης έχουν το πλεονέκτημα συνεχούς μεταβολής των στροφών σχεδόν σε όλο το διάστημα 0-100%. Επιπλέον, το 100% της ροπής μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί σε όλο το πεδίο λειτουργίας. Για λόγους ασφαλείας, η έλικα κινείται από δύο (ή και περισσότερους) ηλεκτροκινητήρες ίσης ισχύος. Όσον αφορά την έλικα ως μηχανικό φορτίο, ακολουθεί τον λεγόμενο «νόμο της έλικας» δηλ. η μηχανική ροπή ανάλογη του τετραγώνου της μηχανικής ταχύτητας όπως περίπου και οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι ανεμιστήρες, αλλά μπορεί η χαρακτηριστική αυτή να είναι σταθερή (έλικα σταθερού βήματος) ή να μεταβάλλεται με αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων της (έλικα μεταβλητού βήματος).

5.1.10.1 Έλικα σταθερού βήματος (FPP)

Καθώς η υπερτάχυνση δεν είναι δυνατή, η έλικα σχεδιάζεται έτσι ώστε να απορροφά τη μέγιστη συνεχή ισχύ σε κατάσταση δοκιμών, δηλ. πλήρες φορτίο, καθαρή γάστρα και ήρεμο καιρό. Προκειμένου να είναι δυνατή η λειτουργία με πλήρη ισχύ σε δυσμενείς συνθήκες, το σύστημα πρόωσης συνήθως υπολογίζεται για τιμή κατά % μεγαλύτερη της ονομαστικής, χωρίς αύξηση της ισχύος πέρα από τη μέγιστη συνεχή. Αυτό σημαίνει υπερδιαστασιολόγηση έλικας αξονικού συστήματος - μειωτήρα - κινητήρα - μετατροπέα κατά %.

5.1.10.2 Έλικα ρυθμιζόμενου βήματος (CPP)

Το σύστημα είναι συχνά (ή θα έπρεπε να είναι) εφοδιασμένο με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος - στροφών έλικας στο διάστημα % των στροφών, ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη λειτουργία και η καλύτερη δυνατή απόκριση κατά τους χειρισμούς. Όταν η έλικα είναι ρυθμιζόμενου βήματος δεν απαιτείται περιθώριο ροπής, διότι η μέγιστη ισχύς μπορεί σχεδόν πάντοτε να απορροφηθεί με ρύθμιση του βήματος.

5.2 Η πρόωση των Y/B και η χρήση συστημάτων A.I.P. διεθνώς

Τα υποβρύχια (Y/B) είναι πλοία που έχουν την δυνατότητα πλεύσης τόσο στην επιφάνεια της θάλασσας όσο και κάτω από αυτή. Τα σύγχρονα υποβρύχια χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες : τα συμβατικά στα οποία η ισχύς για την πρόωση (και τις άλλες ανάγκες) προέρχεται από ηλεκτρικούς

συσσωρευτές («μπαταρίες») και άρα είναι περιορισμένη και τα πυρηνικά, στα οποία η ισχύς πρόωσης προέρχεται από πυρηνικό αντιδραστήρα και είναι πρακτικά απεριόριστη. Στα συμβατικά Υ/Β και κατά τις επιχειρήσεις οι ηλ. συσσωρευτές (συνήθως Pb, ~30 Wh/kg) φορτίζονται σε περισκοπικό βάθος από μηχανές Diesel που είναι συνδεδεμένες με ηλ. γεννήτριες DC ή AC.

Ο απαραίτητος αέρας για τις μηχανές εισέρχεται μέσω ενός ανερχόμενου ιστού, του “αναπνευστήρα”, ενώ τα καυσαέρια εξέρχονται, από άλλο δίκτυο, κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας για την καλύτερη διασπορά και μείωση της θερμικής υπογραφής του Υ/Β. Ο αέρας για τις ανάγκες του πληρώματος καλύπτεται από την ποσότητα του αέρα που εγκλωβίζεται στο εσωτερικό του Υ/Β, η οποία ανακυκλώνεται συνεχώς μέσω φίλτρων δεσμεύσεως του CO₂ και η οποία μπορεί και να εμπλουτισθεί με οξυγόνο. Η αυτονομία του υποβρυχίου εξαρτάται από το ποσοστό φόρτισης των ηλ. συσσωρευτών και από τη διαχείριση ενέργειας που με τη σειρά της εξαρτάται από τις επιχειρησιακές ανάγκες. Τα Υ/Β καθίστανται πολύ ευάλωτα την στιγμή που εκτελείται ανανέωση των ενεργειακών αποθεμάτων και της εσωτερικής ατμοσφαιράς, με τη χρήση του αναπνευστήρα, διότι μπορούν να εντοπισθούν ποικιλοτρόπως από πλοία (συμπεριλαμβάνονται τα άλλα Υ/Β), αεροπλάνα, ελικόπτερα και δορυφόρους. Ο εντοπισμός τους γίνεται είτε οπτικά, είτε με τη χρήση Radar, είτε από την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπουν τα καυσαέρια και το νερό ψύξης των μηχανών, αλλά και κυρίως από τον ακουστικό θόρυβο. Παράλληλα το Υ/Β που εκτελεί φόρτιση με αναπνευστήρα, είναι σε μεγάλο ποσοστό ανίκανο να ανιχνεύσει την παρουσία άλλων Υ/Β λόγω του μεγάλου ιδιοθορύβου. Για τους παραπάνω λόγους, η ανάγκη των συμβατικών Υ/Β για μεγαλύτερη αυτονομία εν καταδύσει έχει οδηγήσει ήδη από την δεκαετία του '30 στη αναζήτηση διαφόρων μορφών πρόωσης ανεξάρτητης του ατμοσφαιρικού αέρα – αναερόβια πρόωση - (**A.I.P.** : **A**tmosphere **I**ndependent **P**ower) για την πρόωση των Υ/Β εν καταδύσει ενώ οι ηλ. συσσωρευτές εξακολουθούν να είναι η κύρια πηγή ενέργειας. Από τα μέσα της δεκαετίας του '30 το Γερμανικό Ναυτικό προσπάθησε να αναπτύξει συστήματα αναερόβιας πρόωσης. Το 1939 το σύστημα του Walter (Walter type XVIIIB) διέθετε στρόβιλο που λειτουργούσε εν καταδύσει με υπεροξειδίο του υδρογόνου (H₂O₂). Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο το Βρετανικό Ναυτικό, με τα υποβρύχια HMS Explorer και HMS Excalibur, και το Αμερικανικό Ναυτικό, με το

X-1, συνέχισαν τις προσπάθειες εξέλιξης του συστήματος Walter με ανεπιτυχή αποτελέσματα, λόγω ατυχημάτων από την αστάθεια του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Παράλληλα, το Ρωσικό Ναυτικό συνέχισε την εξέλιξη του Γερμανικού συστήματος A.I.P., "Kreislauf", που βασιζόταν σε μηχανή Diesel κλειστού κύκλου (CCD) με τη δημιουργία 30 υποβρυχίων τ. Quebec το 1953. Τη δεκαετία του '50 η ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας ανάγκασε στην προσωρινή εγκατάλειψη των προσπαθειών αυτών με την κατασκευή, τον Ιανουάριο του 1955, του πρώτου πυρηνικού υποβρυχίου από την Αμερική (USS Nautilus SSN-571). Τη δεκαετία του '80 άρχισε η μεγάλη ανάπτυξη των συστημάτων A.I.P., που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την αντίδραση κάποιας μορφής καυσίμου και αποθηκευμένου οξυγόνου (O₂) είτε σε *Θερμικές Μηχανές* είτε σε *(ηλεκτροχημικές) Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cell)*. Στα συστήματα θερμικών μηχανών εντάσσονται π.χ. τα παρακάτω, το κοινό χαρακτηριστικό των οποίων, είναι ότι μέρος των καυσαερίων ανακυκλούται, εμπλουτισμένο με το O₂ καύσεως :

- Closed Cycle Diesel (CCD) : Πετρέλαιο Diesel ως καύσιμο.
- Μηχανή Stirling : Εμβολοφόρος μηχανή εξωτερικής καύσεως που βασίζεται στη διαστολή και συστολή ενός αερίου μέσου (π.χ. H₂ ή He). Πετρέλαιο Diesel ή μεθανόλη ως καύσιμο. Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται σε Σουηδικά Υ/Β από τις αρχές της δεκαετίας του '90 και τελευταία σε νέα Υ/Β της Αυστραλίας.
- Ατμοστρόβιλος με κλειστό κύκλωμα ατμού (κύκλο Rankine): Πετρέλαιο Diesel ή αιθανόλη ως καύσιμο. Έχει αναπτυχθεί και δοκιμασθεί στη Γαλλία (σύστημα MESMA) και εφαρμόζεται στα νέα Υ/Β του Πακιστάν.

Παράλληλα όμως, η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας της Κυψέλης Καυσίμου (Fuel Cell) επέτρεψε τη σταδιακή εφαρμογή της στην πρόωση των συμβατικών Υ/Β με δοκιμαστικά συστήματα ήδη από τη δεκαετία του '80. Οι πρώτες δοκιμές πρόωσης Υ/Β με Κυψέλη Καυσίμου τύπου «*Alcaline Fuel Cell*» ισχύος 100 kW πραγματοποιήθηκαν στην δεκαετία του 1980 από την εταιρεία H.D.W. (Howaldtswerke-Deutsche Werft AG) με σύστημα που δοκιμάσθηκε το 1987 επί 9 μήνες στο γερμανικό Υ/Β U1 κλάσεως U205. Η HDW ολοκλήρωσε το 2003 στο Κίελο την κατασκευή του πρώτου στον κόσμο Υ/Β – του γερμανικού

U31 κλάσεως U212 - με πρόωση από κυψέλες καυσίμου πολυμερισμέ-νης μεμβράνης «*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*» (PEMFC). Παραλλαγές του Υ/Β αυτού κατασκευάζονται για την Ελλάδα, Ιταλία Κορέα και Πορτογαλία.

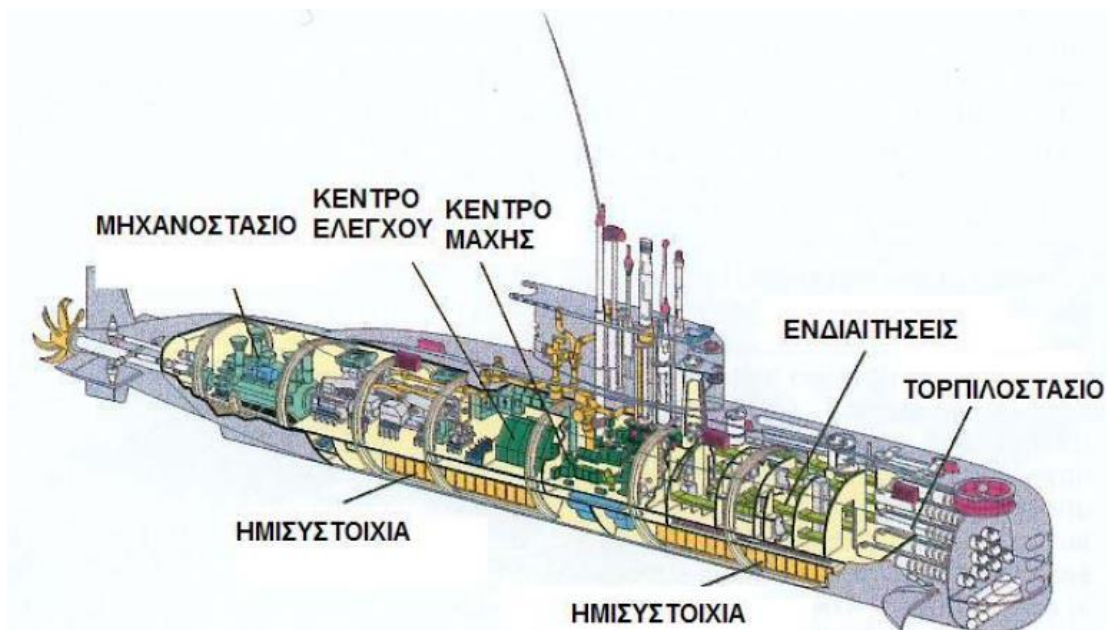
5.3 Υποβρύχια Π.Ν. κλάσεως U209 (τ.ΓΛΑΥΚΟΣ και τ. ΠΟΣΕΙΔΩΝ)

5.3.1 Γενικά

Η πρόωση στα Υ/Β του Π.Ν. κλάσεως U209 επιτυγχάνεται με μία συστοιχία ηλ. συσσωρευτών (Pb) 480 στοιχείων, ένα κινητήρα Σ.Ρ. 4.600 HP, μία προπέλα, ενώ η φόρτιση της συστοιχίας γίνεται από 4 γεννήτριες που κινούνται με 4 μηχανές DIESEL 2.400 HP. Οι γεννήτριες στα Υ/Β τ. ΓΛΑΥΚΟΣ είναι Σ.Ρ., ενώ στα Υ/Β τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ είναι Ε.Ρ. και γίνεται χρήση μετατροπέα AC/DC. Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενώ στο Σχήμα 1 ένα γενικό διάγραμμα του σκάφους των Υ/Β U209.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Χαρακτηριστικά σκάφους Υ/Β κλάσεως U209

ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΣ (ΑΝΕΥ ΙΣΤΩΝ)	ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ ΣΕ ΚΑΤΑΔΥΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΕ ΚΑΤΑΔΥΣΗ	ΜΕΣΟ ΒΥΘΙΣΜΑ
τύπου	ΓΛΑΥΚΟΣ	U209	(1100)				
54,15 m	6,25 m	11,38 m	1101 tn	1278 tn	12 kn	22 kn	5,33 m
τύπου	ΠΟΣΕΙΔΩΝ	U209	(1200)				
58,87 m	6,26 m	11,35 m	1180 tn	1285 tn	12 kn	22 kn	5,5 m



Εικόνα 51. Διάγραμμα σκάφους Υ/Β κλάσεως U209

5.3.2 Η εγκατάσταση πρόωσης

Η πρόωση των Υ/Β κλάσεως U209 (τ.ΓΛΑΥΚΟΣ και τ. ΠΟΣΕΙΔΩΝ) επιτυγχάνεται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα Σ.Ρ. διπλού επαγωγίμου (δηλ. πρόκειται κατ' ουσίαν για δυο κινητήρες στον ίδιο άξονα), ο οποίος μπορεί να τροφοδοτείται είτε από τις συστοιχίες συσσωρευτών, είτε από τις γεννήτριες οι οποίες στρέφονται από μηχανές ντήζελ. Η κίνηση με συστοιχίες είναι και η αποκλειστική επιλογή όταν το Υ/Β βρίσκεται εν καταδύσει, ενώ για κίνηση στην επιφάνεια χρησιμοποιούνται κυρίως οι γεννήτριες οι οποίες τότε φορτίζουν και τους συσσωρευτές, κάτι που μπορούν να κάνουν και κατά τη διάρκεια του πλου με «αναπνευστήρα». Τα βασικά υποσυστήματα της εγκαταστάσεως πρόωσης του Υ/Β φαίνονται στα Σχήματα 2, 3 και 4 και είναι :

- ο κινητήρας πρόωσης (M1 – M2),
- οι τέσσερις (4) νηζελογεννήτριες (M1G1 έως M4G4), [Σ.Ρ. στα τ.ΓΛΑΥΚΟΥ, Ε.Ρ. στα τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ και μετατροπέας AC/DC]
- το ζεύγος διεγέρσεως (M7, GM8, GM9, GM10),
- οι συστοιχίες ηλ. συσσωρευτών, διατεταγμένες σε 'τεταρτοσυστοιχίες' (n1 έως n4) τάσεως 250V η κάθε μία,

- ο κύριος πίνακας διακοπών H1, που περιλαμβάνει τους αυτόματους διακόπτες συστοιχιών, τους αυτόματους διακόπτες τυμπάνων κινητήρα προώσεως, τον αυτόματο διακόπτη λήψεως φορτίσεως ξηράς, ασφάλειες, σημεία αποσυνδέσεως συστοιχιών, αντιστάσεις μετρήσεως και αντιστάσεις εκκινήσεως κινητήρα προώσεως,
- ο πίνακας διακοπών γεννητριών G,
- ο πίνακας προώσεως και βοηθητικής δυνάμεως H2 , που περιλαμβάνει το χειριστήριο προώσεως, τον αυτόματο ρυθμιστή στροφών, τον διακόπτη επιλογής εγκαταστάσεως προώσεως (επιλογή είδους), το χειριστήριο επιλογής καταστάσεως προώσεως (επιλογή βαθμίδων), τον διακόπτη κρατήσεως ανάγκης και το διακόπτη τροφοδοτήσεως των κυκλωμάτων ελέγχου προώσεως,
- οι ροοστάτες διεγέρσεως (γεννητριών και διπλός ροοστάτης κινητήρα)
- διάφοροι πίνακες οργάνων.

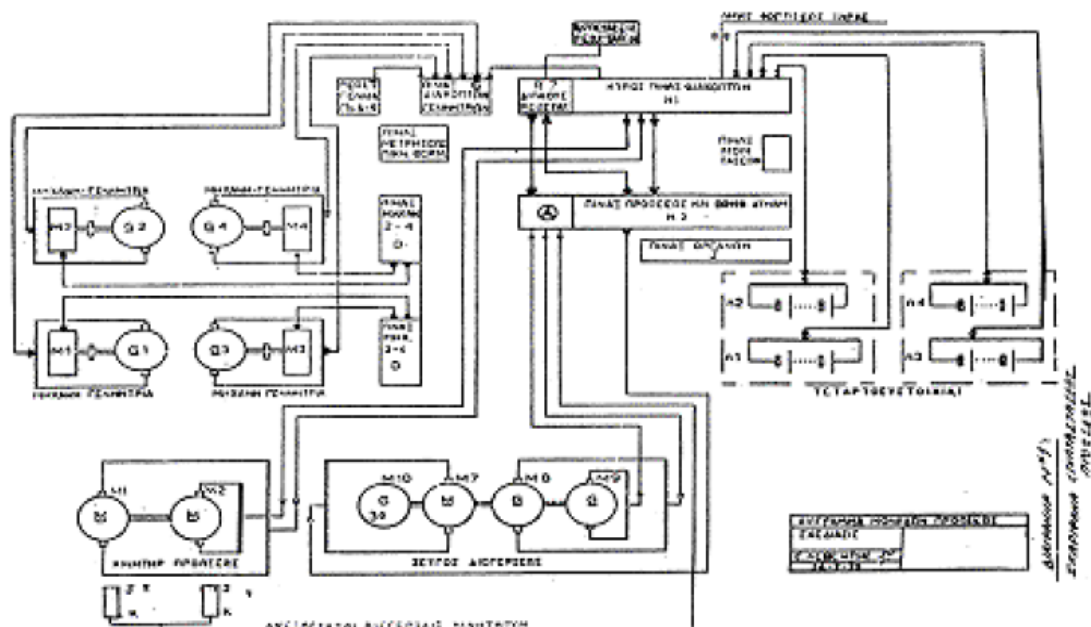
Το ζεύγος διεγέρσεως αποτελείται από ένα κινητήρα και τρεις γεννήτριες που στρέφονται από αυτόν στον ίδιο άξονα (Σχήμα 3). Ο σκοπός του ζεύγους διεγέρσεως είναι :

- να παρέχει το ρεύμα διεγέρσεως στον κινητήρα προώσεως κατά την εκτέλεση αυτομάτου προώσεως μέσω της γεννήτριας διεγέρσεως GM8,
- να τροφοδοτεί τον αυτόματο ρυθμιστή στροφών με τάση για τη λειτουργία του, μέσω της τριφασικής γεννήτριας GM10 και
- να τροφοδοτεί τα τύμπανα του κινητήρα μέσω της γεννήτριας διεγέρσεως GM8 και τη διέγερση του κινητήρα προώσεως μέσω της βοηθητικής γεννήτριας GM9, κατά την εκτέλεση προώσεως 'Βαθμίδα I μετά ζεύγους'.

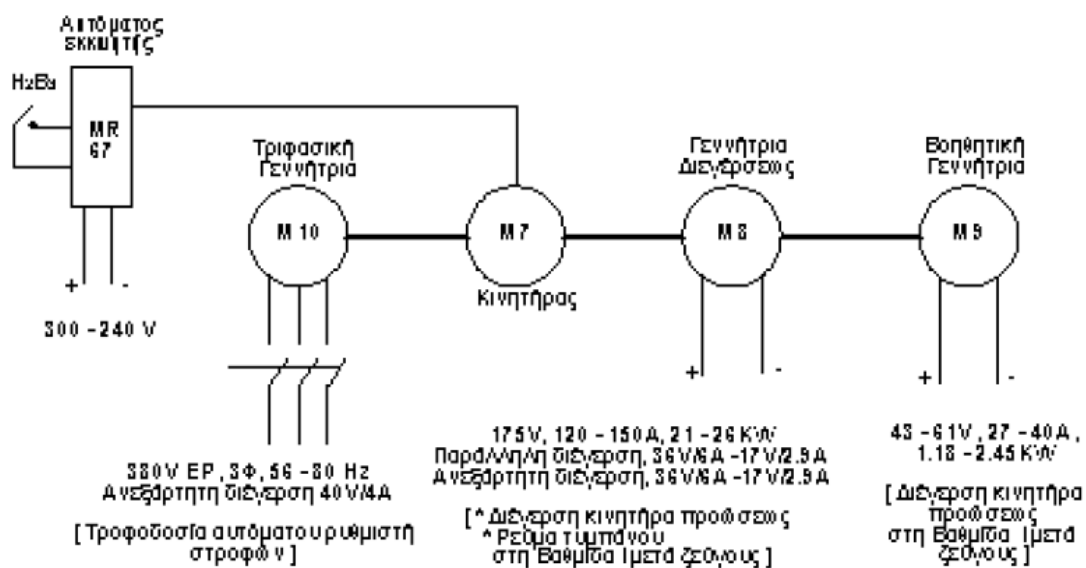
Τα βασικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων προώσεως καθώς και των μηχανημάτων που απαρτίζουν το ζεύγος διεγέρσεως δίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Βασικά χαρακτηριστικά μηχανημάτων πρόωσης Υ/Β U209

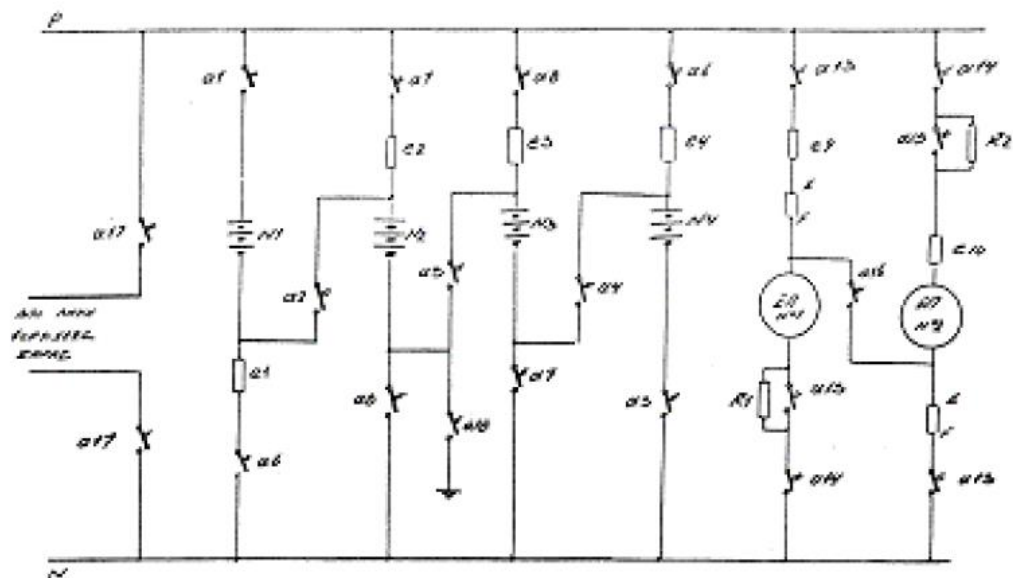
	ΤΥΠΟΣ	ΣΤΡΟΦΕΣ rpm	ΤΑΣΗ	ΡΕΥΜΑ / ΠΟΛΟΙ	ΙΣΧΥΣ
ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (4) Σ.Ρ. Υ/Β τ. ΓΛΑΥΚΟΣ	AEG-LOYD DYNAMO-WERKE ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ (ΑΥΤΟΔΙΕΓΕΙΡΟΜΕΝΗ)	1500-1560	288-340 V	1400-1000 A 6 πόλοι	420 kW
ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (4) Ε.Ρ. Υ/Β τ. ΠΟΣΕΙΔΩΝ	PILLER - ΜΕ ΔΙΕΓΕΡΤΡΙΑ ΓΕΝ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ	1500-1560	135-225 V	1415-1235 A 10 πόλοι	.480 kW
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	SIEMENS AG ΣΡ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ ΔΙΠΛΟΥ ΕΠΑΓΩΓΙΜΟΥ	200 ΠΡΟΣΩ 70 ΑΝΑΠΟΔΑ	875 V Διεγέρσε- ως : 120-55 V	2240 A 12 πόλοι ανά επα- γωγίμο Διεγέρσεως 37-17 A	1850 kW ανά επαγώ- γίμο
ΖΕΥΓΟΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ					
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (M7)	Σ.Ρ. ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ	2000-2600	175-293 V	193-123 A 6 πόλοι	32 kW
ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ M8)	Σ.Ρ. ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΚΑΙ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ	2000-2600	175 V	150-120 A 4 πόλοι	26.2-21 kW
ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ (M9)	Σ.Ρ. ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ	2000-2600	50-73 V (43-61 V)	32-45 A (27-40 A) 4 πόλοι	1.6-3.1 kW (1.2-2.5 kW)
ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ M10)	ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΚΙΝ. ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ , ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΚΙΝ. ΑΥΤΟΔΙΕΓΕΙΡΟΜΕΝΗ	2000-2600	380 V 56-60 Hz	2 πόλοι	



Εικόνα 52. Σκαρίφημα εγκατάστασews πρόωσης Υ/Β U209



Εικόνα 53. Ζεύγος Διέγερσεως Y/B U209 (τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- N 1 - N 2 - N 3 - N 4 : Τεταρτοποσοτήσις
- e 1 - e 2 : Τρόμοικες ασφαλείας συστοργιών
- e 9 - e 10 : Τηχομοικες ασφαλείας κινητήρα
- R 1 - R 2 : Αντιστάσεις εκκινήσεως επιγοργών κινητήρα

E F : Οι εν σπρά αντισταθμιστικοί περιλήξιες των επιγοργών τρε κινητήρα (μόνο για την εν παράλληλο σικόση αυτών)

Εικόνα 54. Διάταξη Αυτόματων Διακοπών στα Y/B U209

5.3.3 Συστοιχίες Ηλεκτρικών Συσσωρευτών

Η «Συστοιχία Ηλ. Συσσωρευτών» (η «μπαταρία») των Υ/Β U209 αποτελείται από 480 στοιχεία τύπου Pb [ηλεκτρόδια φορτισμένης μπαταρίας (+) PbO_2 (-) Pb, αφόρτιστης (+) / (-) $PbSO_4$, ηλεκτρολύτης : διάλειμμα H_2SO_4 πυκνότητας 1,290-1,300 gr/m^3 , τάση 1,97-1,78 V DC], τα οποία συνδέονται ανά 120 σε σειρά, δημιουργώντας έτσι 4 «τεταρτοσυστοιχίες».

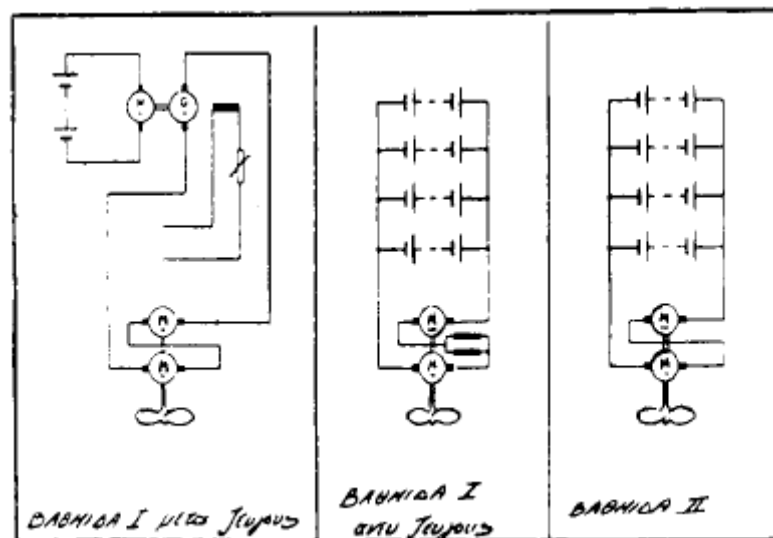
Οι πρώτες μπαταρίες των Υ/Β ήταν Γερμανικής προέλευσης από τις εταιρείες VARTA και HAGEN ενώ η συναρμολόγηση γινόταν στο συνεργείο συσσωρευτών της Βάσης Υ/Β του Π.Ν. Τα τελευταία χρόνια οι μπαταρίες των Υ/Β κατασκευάζονται από την εταιρεία SUNLIGHT-ΓΕΡΜΑΝΟΣ Α.Ε. στην Ξάνθη. Κάθε στοιχείο είναι «διπλού κορμού» (double-decker) με θετική πλάκα σωληνωτού τύπου (14st43)] με διαστάσεις 1410x450x290 mm, βάρος 318 kg (άδειο) και 518 kg (γεμάτο). Η συνδεσμολογία των τεταρτοσυστοιχιών (σε σειρά ή παράλληλα), η οποία ρυθμίζεται από αυτόματους διακόπτες (Σχήμα 4), καθορίζει και την τάση στα άκρα του κινητήρα πρόωσης, δηλ. τη βαθμίδα πρόωσης (βλ. παρακάτω). Οι άλλες ανάγκες του Υ/Β τροφοδοτούνται πριν τους αυτόματους διακόπτες με την τάση της τεταρτοσυστοιχίας (250 V DC μη ρυθμιζόμενη), ώστε η τροφοδοσία αυτή να μην επηρεάζεται από την εκάστοτε συνδεσμολογία της μπαταρίας. Η συστοιχία έχει συνολική χωρητικότητα 11.900 Ah (για εκφόρτιση 100 h με 120 A) και διάρκεια ζωής περίπου 5 με 7 χρόνια.

Η συστοιχία για την λειτουργία της υποστηρίζεται από :

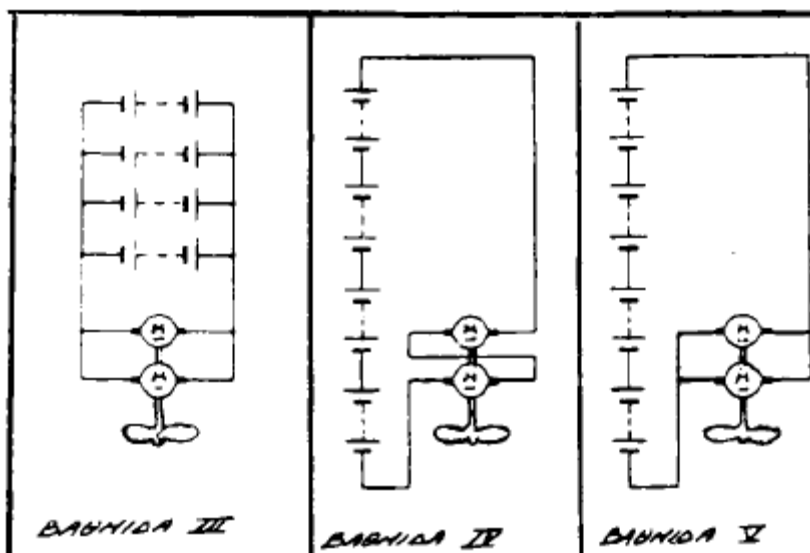
- Σύστημα ψύξεως των κεφαλών των στοιχείων με απεσταγμένο-απιονισμένο ύδωρ.
- Δίκτυο αέρα, το οποίο κυκλοφορεί μέσα από τα στοιχεία με σκοπό την ανάδευση του ηλεκτρολύτη.
- Σύστημα παρακολούθησης, το οποίο παρέχει στοιχεία θερμοκρασίας ηλεκτρολύτη, τάση στοιχείων καθώς και μέτρηση εκφορτισθέντων αμπερωρίων.
- Οι χώροι των ημισυστοιχιών εξυπηρετούνται από το δίκτυο αερισμού του Υ/Β για εξαερισμό από αέρια τα οποία εκλύονται κατά την διάρκεια της φορτίσεως και κυρίως του H_2 , το οποίο σε συγκεντρώσεις άνω του 2% θεωρείται επικίνδυνο για το Υ/Β .

5.3.4 Λειτουργία Κινητήρα, Βαθμίδες και Είδη Προώσεως.

Οι στροφές του κινητήρα προώσεως άρα και του άξονα των Υ/Β είναι : 0-200 RPM για κίνηση 'ΠΡΟΣΩ' και 0-70 RPM για κίνηση 'ΑΝΑΠΟΔΑ'. Για να επιτευχθεί η λειτουργία σε όλη την περιοχή στροφών πραγματοποιούνται διάφορες ηλεκτρικές συνδεσμολογίες μεταξύ των τεταρτοσυστοιχειών, των γεννητριών, του ζεύγους διεγέρσεως και του κινητήρα προώσεως (δηλ. των δύο επαγωγίμων και των αντίστοιχων διεγέρσεών τους), οι οποίες ονομάζονται βαθμίδες προώσεως I , II, III, IV και V (βλ. Σχήματα 5α και 5β). Οι συνδεσμολογίες των βαθμίδων γίνονται μέσω των αυτομάτων διακοπών (Σχήμα 4) οι οποίοι ενεργοποιούνται ('ανοιγοκλείνουν') είτε από το «χειριστήριο προώσεως», είτε τοπικά χειροκινήτα.



Εικόνα 55. Βαθμίδες Προώσεως Υ/Β U209, 'I' και 'II'



Εικόνα 56. Βαθμίδες Προώσεως Υ/Β U209 ‘III’ ‘IV’ και ‘V’.

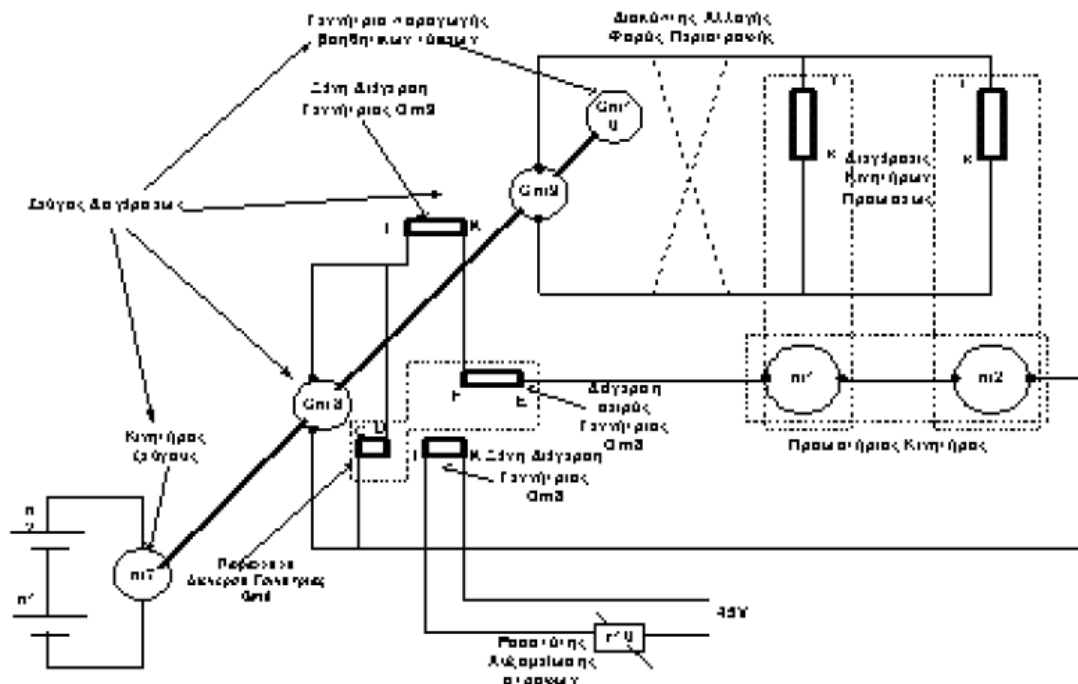
5.3.5 Βαθμίδες Προώσεως

5.3.5.1 Συνήθειες

- Βαθμίδα II :Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν σειρά και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν παράλληλω συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 32-65 RPM, ΠΡΟΣΩ ή ΑΝΑΠΟΔΑ.
- Βαθμίδα III: Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν παράλληλω και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν παράλληλω συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 65-108 RPM.
- Βαθμίδα IV:Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν σειρά και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν σειρά συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 108-170 RPM αναλόγως προς την εναπομένουσα χωρητικότητα της συστοιχίας.
- Βαθμίδα V:Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν παράλληλω και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν σειρά συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 188-200 RPM. (166-200 RPM με εκφορτισμένη συστοιχία).

5.3.5.2 Ειδικών Καταστάσεων Ανάγκης

- Βαθμίδα I μετά ζεύγους (Σχήμα 6): Τα τυλίγματα τυμπάνων και διεγέρσεων του κινητήρα προώσεως (**m1-m2**) τροφοδοτούνται από το ζεύγος διεγέρσεως (η γεννήτρια **GM8** του ζεύγους τροφοδοτεί εν σειρά τα τύμπανα και η γεννήτρια **GM9** του ζεύγους τροφοδοτεί εν παραλλήλω τις διεγέρσεις). Η διάταξη αυτή προσομοιάζει στη διάταξη Ward- Leonhard, διαφέρει όμως από την τελευταία στο ότι η γεννήτρια **GM8** είναι συνθέτου προσθετικής διεγέρσεως (**CD** και **FE** στο Σχήμα 6) και όχι ξένης διεγέρσεως. Επιπλέον η **GM8** έχει και ένα πρόσθετο τύλιγμα ξένης διεγέρσεως (κάτω τμήμα **IK** στο Σχήμα 6) με ρεύμα ρυθμιζόμενο από την **r10** (που τροφοδοτείται με 45V). Επίσης το ρεύμα τυμπάνου **Ia** του κινητήρα προώσεως είναι ταυτόχρονα και ρεύμα διεγέρσεως της ξένης διεγέρσεως (**IK**, άνω τμήμα). Ο κινητήρας **m7** του ζεύγους, που στρέφει τις γεννήτριες **GM8**, **GM9** και **GM10**, δύναται να τροφοδοτείται είτε από τις συστοιχίες, είτε από τις γεννήτριες. Η γεννήτρια **GM10** χρησιμοποιείται για την παραγωγή βοηθητικών τάσεων. Οι στρόφες του κινητήρα προώσεως μπορούν κατά την κατάσταση αυτή να μεταβληθούν από 11-32 RPM. Η όλη διάταξη συμπεριφέρεται σαν κινητήρας σειράς και χρησιμοποιείται σε καταστάσεις ανάγκης (π.χ. χαμηλές μονώσεις, διαρροή).



Εικόνα 57: Βαθμίδα Προώσεως Y/B U209 'I' μετά ζεύγους.

- Βαθμίδα I άνευ ζεύγους: Τα τυλίγματα των τυμπάνων και των διεγέρσεων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα σε σειρά και τροφοδοτού-νται και από τις τέσσερις, εν παραλλήλω συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Είναι η πιο αθόρυβη λειτουργία του κινητή-ρα. Οι στροφές του είναι περίπου 16 με 19 RPM και δεν γίνεται να μεταβληθούν.

5.3.6 Είδη Προώσεως

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η κατηγοριοποίηση στις 'βαθμίδες II έως V', γίνεται βάσει της συνδεσμολογίας των τεταρτοσυστοιχειών και των τυλιγμάτων των τυμπάνων του κινητήρα προώσεως. (Η βαθμίδα I είναι κατά κάποιο τρόπο μια ξεχωριστή περίπτωση που χρησιμοποιείται για σταθερές (άνευ ζεύγους) στροφές και για καταστάσεις ανάγκης).

Έτσι οι βαθμίδες II έως V μπορεί να είναι άνευ ή μετά ζεύγους. Στην περίπτωση 'άνευ ζεύγους' τα τυλίγματα διεγέρσεων του κινητήρα τροφοδοτούνται είτε από συστοιχίες (3 ή 4) είτε από γεννήτριες (No 1 ή 2), ενώ στην περίπτωση 'μετά ζεύγους' τροφοδοτούνται από την γεννήτρια GM8 του ζεύγους διεγέρσεως, του οποίου ο κινητήρας με τη σειρά του τροφοδοτείται είτε από συστοιχίες (1 ή 2), είτε από γεννήτριες

(1 ή 2). Έτσι προκύπτουν τα διάφορα είδη προώσεως που είναι :

5.3.6.1 Αυτόματη πρόωση

Προτιμάται όταν απαιτούνται σταθερές στροφές για αρκετή ώρα ή γρήγοροι και ακριβείς χειρισμοί. Εκτελείται για κλίμακα στροφών 30-200 RPM Πρόσω (βαθμίδες I έως V) και 65 RPM Ανάποδα (βαθμίδα II). Το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα προέρχεται από το ζεύγος διεγέρσεως. Αυτόματη πρόωση εκτελείται στις βαθμίδες II έως V για ΠΡΟΣΩ και με τη βαθμίδα II για ΑΝΑΠΟΔΑ. Ο αναποδισμός γίνεται μέσω της αλλαγής της φοράς του ρεύματος διεγέρσεως του κινητήρα. Η αυξομείωση των στροφών γίνεται από το χειριστήριο προώσεως διεγέρσεως μέσω ελέγχου του αυτόματου ρυθμιστή, που επενεργεί επί της γεννήτριας GM8 του ζεύγους διεγέρσεως.

5.3.6.2 Ημιαυτόματη πρόωση

Εκτελείται για την ίδια κλίμακα στροφών όπως και η Αυτόματη, αλλά η τήρηση των στροφών δεν είναι αυτό-ματη. Το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα προώσεως προέρχεται πλέον όχι από το ζεύγος διεγέρσεως (άνευ ζεύγους), κίνητα, ρυθμίζοντας το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα μέσω του διπλού ροοστάτη διεγέρσεως. Συνεπώς κατά το είδος αυτό της πρόωσης απαιτείται συνδυασμός κινήσεων χειριστηρίου προώσεως και διπλού ροοστάτη.

5.3.6.3 Χειροκίνητη πρόωση

Καλύπτει όλο το εύρος στροφών του άξονα για Πρόσω ή Ανάποδα και εκτελείται όταν παρουσιάζονται βλάβες όπως π.χ. στα χειριστήρια προώσεως ή στα κυκλώματα διακοπών.

5.3.6.4 Ντηζελο-Ηλεκτρική πρόωση

Κατά το είδος αυτό μία τουλάχιστον γεννήτρια είναι σε λειτουργία και συνδεδεμένη στο κύκλωμα της προώσεως. Εκτελείται μόνο για τις βαθμίδες II-III Πρόσω και II Ανάποδα και μόνο σε Ημιαυτόματη λειτουργία προώσεως. Εδώ όμως εκτός από το διπλό ροοστάτη διεγέρσεως, ρύθμιση στροφών γίνεται και από τους ροοστάτες των γεννητριών. Εκτελείται κυρίως μόνον όταν απαιτείται η απομόνωση μιας τεταρτοσυστοιχίας (π.χ. για λόγους συντηρήσεως), καθώς υπάρχει δυσχέρεια ταχείας εκτελέσεως αλλαγής στροφών ή βαθμίδας (για την

αλλαγή βαθμίδας απαιτείται πρώ-τα κράτηση νηζελο-ηλεκτρικής προώσεως, μετάπτωση σε ημιαυτόματη, αλλαγή βαθμίδας και επιστροφή κατόπιν σε νηζελο-ηλεκτρική).

5.4 Το Πρόγραμμα NEPTUNE-II του Π.Ν. εκσυγχρονισμού Υ/Β κλάσεως U209 τ.ΩΚΕΑΝΟΣ και εφοδιασμού τους με Κυψέλες Καυσίμου

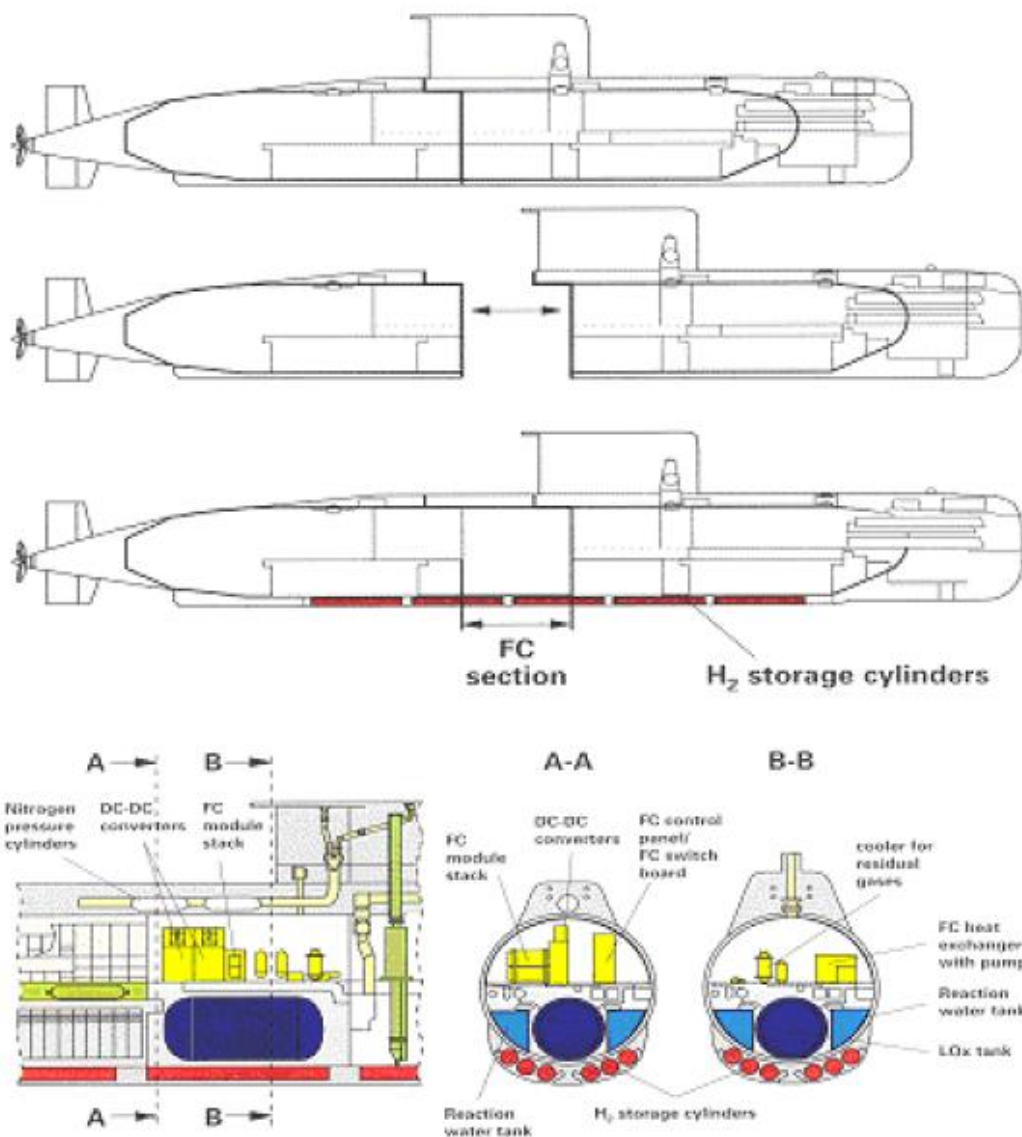
Όπως αναφέρθηκε στην αρχή, από το Νοέμβριο 2004 άρχισε ο εκσυγχρονισμός και τριών από τα Υ/Β κλάσεως U209 τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ με το πρόγραμμα NEPTUNE-II στα ναυπηγεία στον Σκαραμαγκά (ΕΝΑΕ) με προσθήκη ενδιάμεσου τμήματος με σύστημα Α.Ι.Ρ. (PEMFC) (Σχήμα 7) και παράλληλη γενική επισκευή και βελτίωση διαφόρων επικοινωνιακών και οπλικών συστημάτων. Το πρώτο εκσυγχρονιζόμενο Υ/Β είναι το ΩΚΕΑΝΟΣ (Σχήμα 8) Στα Υ/Β αυτά παραμένουν ίδια τόσο οι Συστοιχίες Ηλ Συσσωρευτών όσο και ο Ηλ. Κινητήρας Πρόωσης (Σ.Ρ.) με τα χαρακτηριστικά και τη λειτουργία που περιγράφηκαν παραπάνω στην παράγραφο 2.

Το Υ/Β απαιτείται να κοπεί στη μέση (Σχήματα 9, 10 και 11) και στη συνέχεια να συγκολληθεί το νέο επιπρόσθετο τμήμα (κατασκευής από τη ΜΕΤΚΑ, Βόλος) μήκους περίπου 6 μέτρων, πίσω από την υπερκατασκευή του Υ/Β (Σχήματα 12 και 13). Μέσα σε αυτό το πρόσθετο τμήμα είναι εγκατεστημένα η συστοιχία κυψελών καυσίμου - δύο μονάδες των 120 kW η κάθε μία - η δεξαμενή υγρού οξυγόνου (LOX), οι απαραίτητες σωληνώσεις καθώς οι ηλεκτρικοί πίνακες και ο μετατροπέας DC/DC. Εξωτερικά και στην πάνω πλευρά τοποθετούνται οι προεκτάσεις των υφιστάμενων δικτύων, που εξυπηρετούν τα δίκτυα εξαγωγής καυσαερίων των κυρίων μηχανών, της ψύξης βαλβίδων καυσαερίων, των δικτύων πετρελαίου και ελαίου. Εξωτερικά αλλά στο κάτω μέρος θα τοποθετηθούν οι φιάλες αποθηκεύσεως του υδρογόνου μαζί με τα απαραίτητα δίκτυα ψύξης και τροφοδοσίας τους. Επιπρόσθετα όλη η υπερκατασκευή τροποποιείται, με συνθετικά υλικά από ανθρακονήματα και πολυεστερική ρητίνη (CFRP), έτσι ώστε να μειωθεί η συνολική αντίσταση της βρεχόμενης επιφάνειας και οι επιδόσεις του Υ/Β (ταχύτητα, κύκλος στροφής, ικανότητα χειρισμών) να είναι στα επιθυμητά επίπεδα. Σημειωτέον, ότι δεν υφίσταται ανάγκη περαιτέρω ενισχύσεως της κατασκευής, καθ' όσον στην κλάση των υποβρυχίων αυτών, υπάρχει ήδη αντίστοιχο Υ/Β [U209/1400], σε άλλα ναυτικά, με τις

διαστάσεις που τελικά θα προκύψουν από τη προσθήκη του νέου τμήματος, χωρίς διαφορά στην κατασκευή του ανθεκτικού.

Το κόψιμο και η ανασυγκόλληση των τμημάτων έχει ξαναγίνει στο παρελθόν με απόλυτη επιτυχία τόσο σε Γερμανικά ναυπηγεία στο Κίελο (HDW) όσο και στις εγκαταστάσεις του Π.Ν. στην Ελλάδα στο Ναύσταθμο Σαλαμίνας [πρόγραμμα NEPTUNE-I, 1991-2000]. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση εξειδικευμένων και πιστοποιημένων συγκολλητών για εργασίες συγκόλλησης επί του ανθεκτικού (HY-80) και ο πλήρης ποιοτικός έλεγχος όλων των συ-γκολλήσεων, όπως προβλέπεται στις διεθνείς προδιαγραφές ελέγχου και πιστοποίησης συγκολλήσεων υλικού HY-80 [Germanischer Lloyd Rules, MIL-standards, BV, VG].

Για να μην επηρεασθεί η συμπεριφορά του υποβρυχίου στην ευστάθεια, στην ικανότητα χειρισμών, στην εφεδρική άνωση και στις επιδόσεις λόγω του πρόσθετου τμήματος (βάρος, μήκος και όγκος), θα εκτελεσθούν τροποποιήσεις στην επιφάνεια των πηδαλίων βάθους και διεύθυνσης, τοποθέτηση νέου τύπου έλικας 6 ή 7 πτερυγίων, αλλαγή του ερματισμού και τροποποίηση της υπερκατασκευής.



Εικόνα 58: Σχηματική παράσταση τοποθέτησης πρόσθετου τμήματος στα Υ/Β U209 που περιλαμβάνει τις κυψέλες καυσίμου μαζί με τα απαραίτητα βοηθητικά μηχανήματα και την δεξαμενή υγρού Οξυγόνου



Εικόνα 59: Το Υ/Β ΩΚΕΑΝΟΣ πριν την έναρξη των εργασιών εκσυγχρονισμού με το πρόγραμμα NEPTUNE-II



Εικόνα 60: Κοπή Υ/Β ΩΚΕΑΝΟΣ για την προσθήκη του νέου τμήματος



Εικόνα 61: Τμήματα Υ/Β ΩΚΕΑΝΟΣ μετά την κοπή του ανθεκτικού σκάφους



Εικόνα 62: Εξαγωγή κινητήρα προώσεως Σ.Ρ. Υ/Β ΩΚΕΑΝΟΣ.



Εικόνα 63: Τμήμα Α.Ι.Ρ Υ/Β ΩΚΕΑΝΟΣ (Πρόσθετο τμήμα/Αρχικό στάδιο).



Εικόνα 64: Τμήμα Α.Ι.Ρ μετά την αμμοβολή/βαφή και πριν τον εξοπλισμό

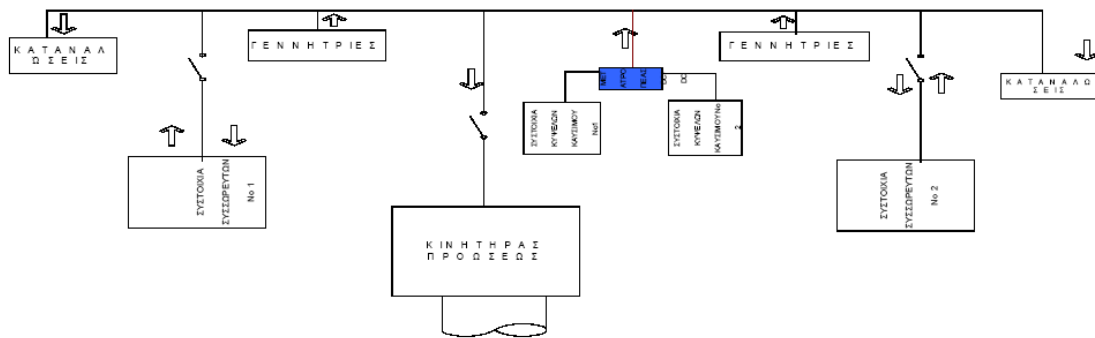
5.4.1 Το Ηλεκτρικό Δίκτυο

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες καυσίμου παρέχεται μέσω μετατροπέα τάσεως (DC/DC) στο δίκτυο Σ.Ρ. του Υ/Β (Εικόνα 65). Σε αυτό το δίκτυο είναι συνδεδεμένες επίσης οι δυο συστοιχίες συσσωρευτών (μόλυ-βδου-οξέος), οι γεννήτριες, ο κινητήρας προώσεως (Σ.Ρ.) και όλες οι καταναλώσεις του υποβρυχίου. Οι δυνατοί τρόποι χρήσης των κυψελών καυσίμου είναι οι εξής :

- Πρόωση μόνο με χρήση κυψελών καυσίμου.
- Πρόωση με κυψέλες καυσίμου συνεπικουρούμενη από τους συσσωρευτές για μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας στην πρόωση.
- Φόρτιση συσσωρευτών εν καταδύσει σε έκτακτες περιπτώσεις.
- Πρόωση με συσσωρευτές χωρίς χρήση κυψελών καυσίμου.

Η παραγόμενη τάση από κάθε μονάδα κυψελών καυσίμου μεταβάλλεται από 336 V έως 215 V και εξαρτάται από το ηλεκτρικό φορτίο. Η τάση των συσσωρευτών εμφανίζει αντίστοιχες διακυμάνσεις και εξαρτάται από την κατάσταση φορτίσεως αυτών και από τα φορτία του υποβρυχίου. Ο λόγος ύπαρξης του μετατροπέα τάσεως είναι να προσαρμόζει την τάση εξόδου μεταξύ των 500 V έως 1000 V, που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του κινητήρα.

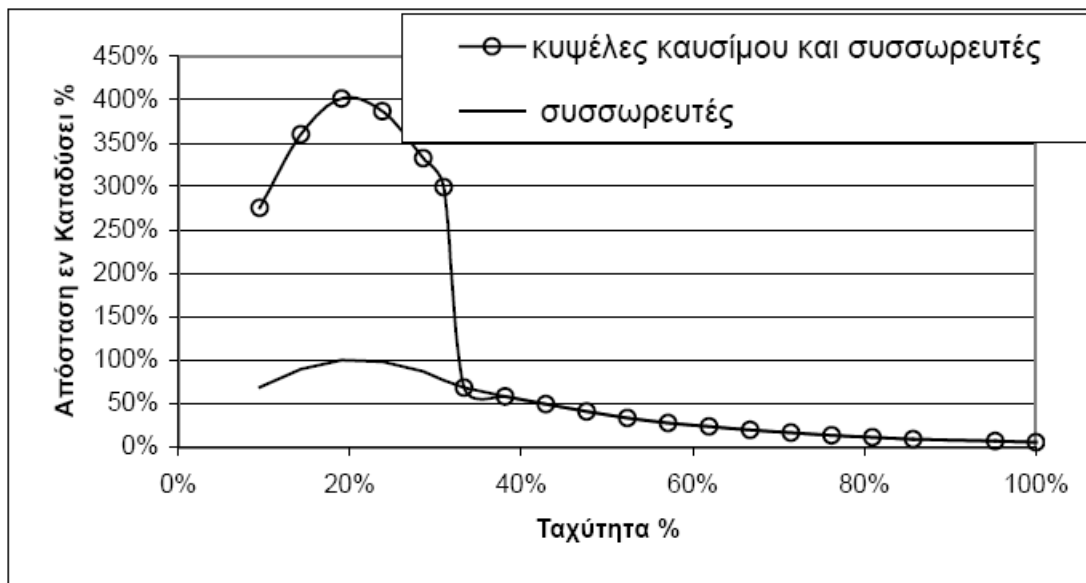
Σε περίπτωση που διακοπεί η λειτουργία των κυψελών καυσίμου, διατηρείται εντός αυτών αρκετή ενέργεια λόγω των αερίων που είναι στο εσωτερικό τους. Παραμονή των αερίων O₂ και H₂ χωρίς κατανάλωση της παραγόμενης ενέρ-γειας διατηρεί τα στοιχεία υπό τάση και παράλληλα προκαλεί διαβρώσεις. Η εκφόρτιση της ενέργειας αυτής είναι απα-ραίτητη και γίνεται σε αντιστάσεις μετά τον μετατροπέα τάσεως. Μετά την πλήρη εκκένωση του εσωτερικού των κυ-ψελών αυτές πληρώνονται με N₂.



Εικόνα 65: Σχηματική διάταξη ηλεκτρικού δικτύου του εκσυγχρονιζόμενου Υ/Β U209

Η ισχύς των 240 kW της συστοιχίας των κυψελών καυσίμου (2 μονάδες των 120 kW) και η αποθηκευμένη ποσότητα αερίων επαρκεί για την κίνηση του Υ/Β για διάστημα άνω των 11 ημερών χωρίς την χρήση του αναπνευστήρα. Η χρήση των κυψελών καυσίμου αυξάνει την δυνατότητα παραμονής του Υ/Β εν καταδύσει ανάλογα με τις ταχύτητες που χρησιμοποιούνται, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 66. Από τη σύγκριση των δύο τρόπων χρήσης της πρόωσης διαπιστώνεται, ότι η μέγιστη αύξηση στην αυτονομία του Υ/Β φθάνει το 400 % (δηλ. από ~380 nm στα ~1450 nm ή σε ώρες κατάδυσης από 125 στις 500). Η μέγιστη αυτονομία, με χρήση κυψελών καυσίμου, επιτυγχάνεται με ταχύτητα 4 knots, ενώ η απαιτούμενη ισχύς για την επίτευξη της ανωτέρω ταχύτητας είναι λιγότερη από 120 kW για πάγια φορ-τία Υ/Β (hotel load) γύρω στα 60 kW. Διαπιστώνεται λοιπόν, ότι επαρκεί η χρήση της μίας μόνο μονάδας κυψελών καυσίμου στη μέγιστη ισχύ ή συνδυασμός των δύο μονάδων σε μικρότερη ισχύ και σε περιοχές με μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Η συνολικές καταναλώσεις αερίων, με χρήση της μίας μονάδας στο μέγιστο φορτίο, ανέρχονται περίπου στους 15 tn O₂ και 2 tn H₂. Οι μέγιστες ετήσιες καταναλώσεις αερίων ανά Υ/Β είναι 34 tn O₂ και 4,2 tn H₂, θεωρώντας ότι οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούνται για ταχύτητες 4 knots και για 26 περίπου ημέρες το χρόνο



Εικόνα 66: Σύγκριση αυτονομίας υποβρυχίου με και χωρίς χρήση κυψελών καυσίμου, παράλληλα με τους συσσωρευτές, σε συνάρτηση με την ταχύτητα.

5.4.2 Κυψέλες Καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC) Υποβρυχίων

5.4.2.1 Συστοιχία Κυψελών Καυσίμου

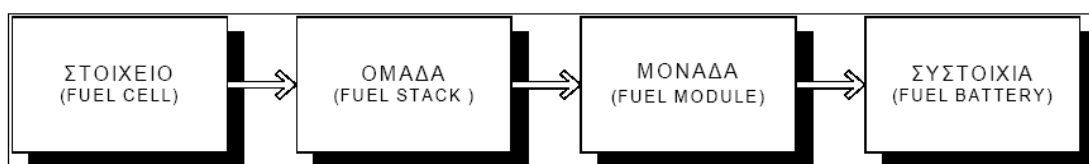
Οι κυψέλες καυσίμου, πολυμερισμένης μεμβράνης «*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*» (**PEMFC**), που θα χρησιμοποιηθούν στα Υ/Β U214 και U209 κατασκευάζονται από την εταιρία Siemens και βασίζονται στην τεχνολογία των «*μεταλλικών διπολικών πλακών*». Εκτός από τις πολύ καλές μηχανικές αντοχές, όπως η αντοχή σε απότομη επιτάχυνση (sock resistance), η μεταλλική κατασκευή επιδεικνύει εξαιρετική σταθερότητα απέναντι στο υγροποιημένο οξυγόνο (LOX) και επιτρέπει καλή διαχείριση της παραγόμενης θερμότητας, ειδικά όταν υπάρχει υψηλή πυκνότητα ρεύματος.

Τα ηλεκτροχημικά ενεργά τμήματα του στοιχείου αποτελούνται από μία βιομηχανική μεμβράνη (Nafion® 115), καταλύτη από πλατίνα (Pt) και φύλα από γραφίτη για την διανομή των αερίων και την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

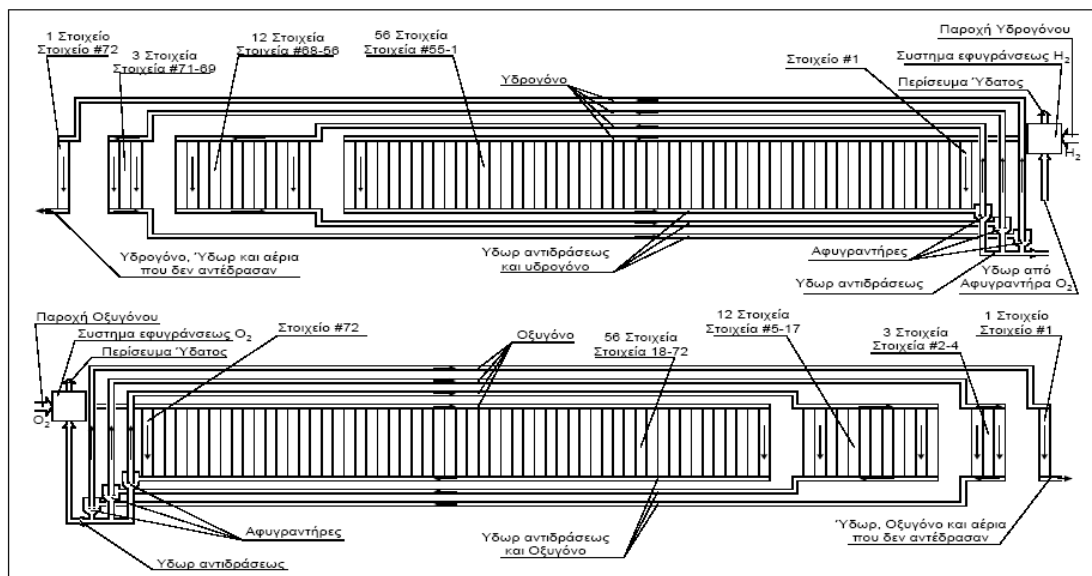
Η συστοιχία κυψελών καυσίμου (Fuel Cell battery) (Σχήματα 16 και 18) αποτελείται από μονάδες των κυψελών καυσίμου (Fuel Cell modules). Οι μονάδες των 120 kW απαρτίζονται από τις

ομάδες κυψελών καυσίμου (Fuel Cell stacks), που αποτελούνται από πολλά στοιχεία κυψελών καυσίμου (Fuel Cells), τις σωληνώσεις, τους αισθητήρες, τις ηλεκτροβάνες και βρίσκονται, για λόγους ασφάλειας, μέσα σε δοχείο με άζωτο υψηλότερης πίεσης από το H_2 και O_2 . Σε περίπτωση διαρροής σε κάποιο σημείο της μονάδας το άζωτο εισέρχεται μέσα στη μονάδα με αποτέλεσμα την πτώση τάσεως και ενεργοποίηση της μονάδας ελέγχου. Η κατασκευή μιας μονάδας (Εικόνα 67) επιτυγχάνεται με την διαδοχική τοποθέτηση ομάδων με όλο και μικρότερο αριθμό απλών στοιχείων, κάθε μια από τις οποίες τροφοδοτείται από τα αέρια, που εξέρχονται από την προηγούμενη («dead ended stack»), Αυτό γίνεται για τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοποίηση των αερίων H_2 και O_2 , καθ' όσον μέσα σε κάθε απλό στοιχείο δε γίνεται 100% αξιοποίηση των τροφοδοτημένων αερίων. Η ελάχιστη τελικά ποσότητα που περισσεύει είναι κατάλληλη για την ατμόσφαιρα του Υ/Β. Η παραπάνω κατασκευή μονάδων κυψελών καυσίμου δεν απαιτεί αντλία ανακύκλωσης των αερίων, όπως σε άλλους τύπους κυψε-λών καυσίμου και οδηγεί σε απλούστερη κατασκευή.

Οι μονάδες (modules) είναι προσαρμοσμένες σε βάσεις στήριξης (racks) που μαζί με τις δικτυώσεις παροχής έχουν πολύ συμπαγή και ανθεκτική κατασκευή, κάτι το οποίο απαιτείται για ένα πολεμικό πλοίο. Οι παροχές H_2 , N_2 , O_2 , ύδατος ψύξης, περίσσειας αέριων προϊόντων, θερμότητας και παραγόμενου ύδατος παρακολουθούνται από το σύστημα ελέγχου λειτουργίας



Εικόνα 67: Βασική αλληλουχία κατασκευής συστοιχίας κυψελών καυσίμου.



Εικόνα 68: Σχηματική παράσταση της ομαδοποίησης των στοιχείων O₂ και H₂ (για μονάδα 34 kW)

Ο χρόνος ενεργοποίησης της συστοιχίας, με ή χωρίς φορτίο, είναι άμεσος (200 ms) και η απόκριση σε απότομες αλλαγές φορτίου φθάνει σε δέκατα του δευτερολέπτου (100 ms). Η υπερφόρτωση για μικρά χρονικά διαστήματα είναι δυνατή μέχρι το 200% του μέγιστου φορτίου, περιοριζόμενη στην πραγματικότητα μέχρι το 130% από τις δυνατότητες ψύξης του συστήματος.

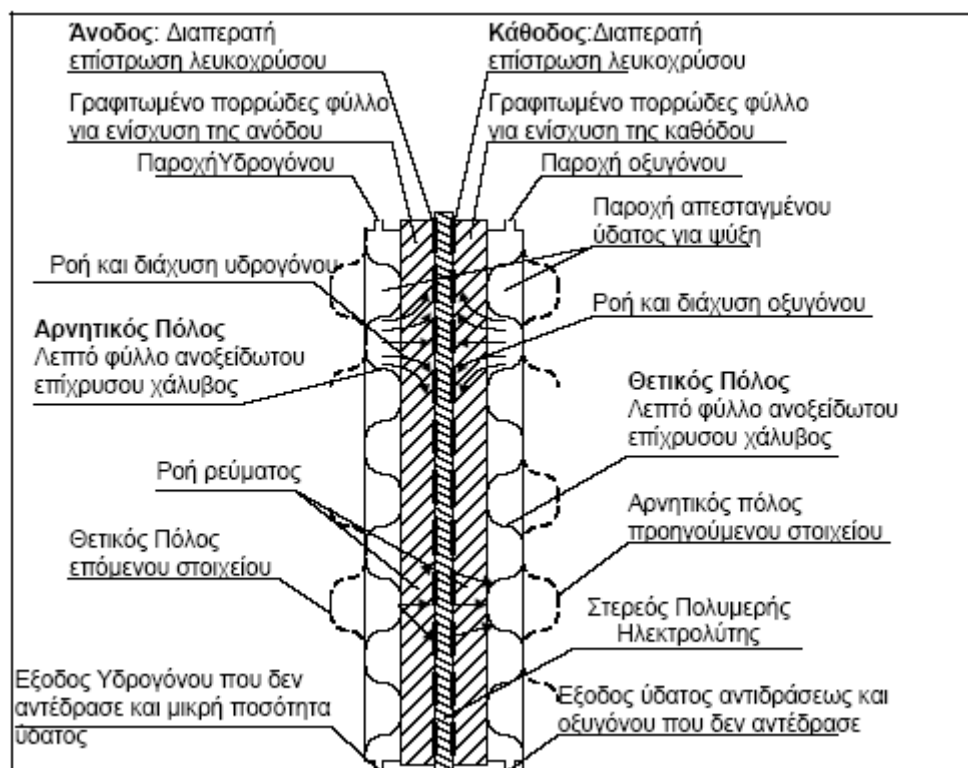
5.4.2.2 Δομή των Στοιχείων Κυψέλης Καυσίμου

Ο σκοπός του στοιχείου της κυψέλης καυσίμου είναι να φέρει τα αντιδρώντα αέρια στην καλύτερη δυνατή επαφή μεταξύ τους ώστε να αντιδράσει η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα εξ αυτών, να παραληφθούν τα ηλεκτρικά φορτία από την άνοδο και κάθοδο του στοιχείου και να απομακρυνθεί από το στοιχείο η παραγόμενη θερμότητα της αντιδράσεως.

Το στοιχείο πρακτικά αποτελείται από τον ηλεκτρολύτη και τα ηλεκτρόδια (Εικόνα 70). Στην καλή του λειτουργία όμως συμβάλλουν η εφύγανση των αερίων και η προθέρμανση του λαμβανομένου ύδατος για την εφύγανση



120 kW FC-Module

Εικόνα 69: Συστοιχία κυψελών καυσίμου 120 kW (Siemens)

Εικόνα 70. Σχηματική διάταξη στοιχείου κυψέλης καυσίμου

5.4.2.3 Τα ηλεκτρόδια

Τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από λεπτά πορώδη επιστρώματα λευκόχρυσου (Pt) στις δύο πλευρές της μεμβράνης του στερεού ηλεκτρολύτη, που συμπεριφέρεται ταυτόχρονα και ως καταλύτης και ενισχύονται από δύο πορώδη αγώγιμα φύλλα γραφίτη χάρτου. Στην εξωτερική πλευρά των ηλεκτροδίων εφάπτονται πόλοι από λεπτό φύλλο επιχρυσωμένου ανοξειδωτού χάλυβα, οι οποίοι είναι κατάλληλα διαμορφωμένοι με μικρές σφαιρικές κοιλότητες και εξάρσεις, ώστε εφάπτομενοι με τα ηλεκτρόδια του άνθρακα να σχηματίζουν διάκενα όπου στο εσωτερικό τμήμα γίνεται η ροή των αντιδρώντων αερίων, ενώ από τα εξωτερικά διάκενα γίνεται η ροή του ύδατος ψύξεως. Το παραγόμενο ύδωρ από την αντίδραση αποβάλλεται από το κάτω τμήμα του στοιχείου από το ηλεκτρόδιο της καθόδου.

5.4.2.4 Ο εφυγραντήρας

Ο εφυγραντήρας, που είναι ίδιας μορφής με τα στοιχεία της κυψέλης καυσίμου, φέρνει σε επαφή με υδρατμούς (80°C) το O_2 και το H_2 πριν έλθουν σε αντίδραση με σκοπό την αποτελεσματικότερη λειτουργία του στοιχείου. Για ύδωρ εφύγρυνσης χρησιμοποιείται το παραγόμενο ύδωρ από τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου από το ηλεκτρόδιο της καθόδου.

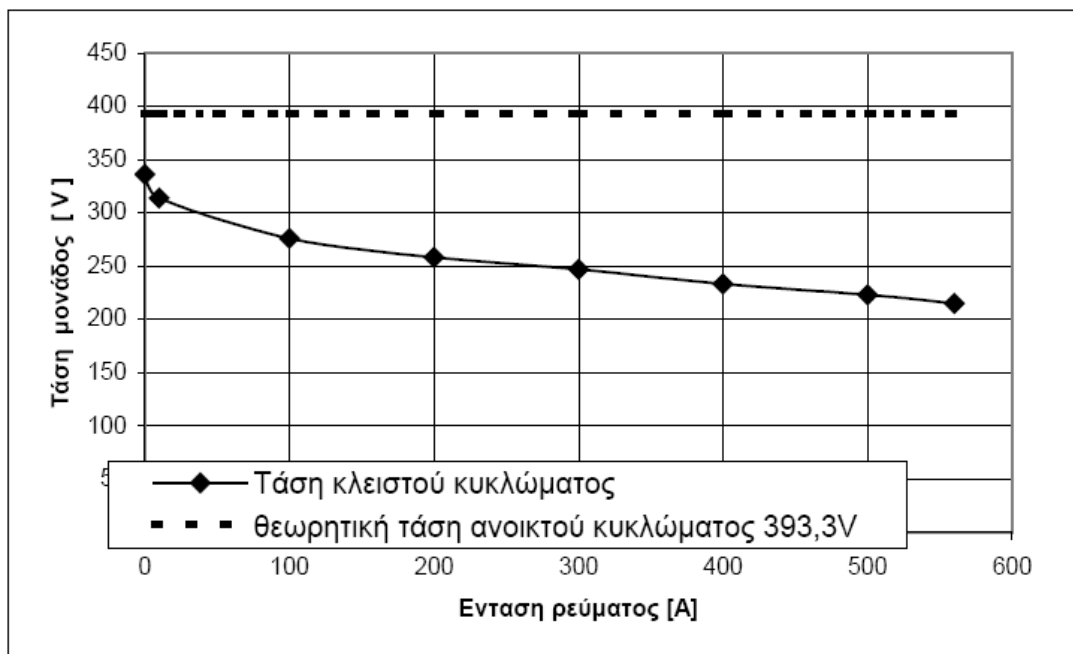
5.4.2.5 Τάση – Ρεύμα

Η αναπτυσσόμενη τάση ανοικτού κυκλώματος είναι περίπου 336V ($320 \times 1,05\text{V}$ ανά στοιχείο), έναντι των 393,3 V ($320 \times 1,229\text{V}$) που προβλέπονται θεωρητικά. Στο πλήρες φορτίο η τάση μειώνεται περίπου στα 215 V (τάση κάθε στοιχείου 0,671V) με τιμή ρεύματος 565 A (με το δεδομένο σχεδιασμό του συστήματος ψύξεως) (Σχήμα 20).

Ο ρυθμός υποβάθμισης της τάσης, μετά από 20.000 h λειτουργίας, είναι 5 $\mu\text{V}/\text{h}$.

Τα στοιχεία μπορούν να ανταποκριθούν σε αύξηση φορτίου με ρυθμό μέχρι 50 A/sec. Ταχύτεροι ρυθμοί αύξησης φορτίου έχουν σαν αποτέλεσμα την ανεπαρκή απομάκρυνση του παραγομένου ύδατος και τη μείωση της τάσεως των στοιχείων. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο ελέγχου, μη γνωρίζοντας την

αιτία της πτώσεως τάσεως, διακόπτει τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου



Εικόνα 71: Χαρακτηριστική τάσεως-ρεύματος φορτίου συστοιχίας κυψελών καυσίμου

5.4.2.6 Βαθμός Απόδοσης – Θερμότητα - Καταναλώσεις Αερίων.

Ο βαθμός απόδοσης της μονάδος κυψέλης καυσίμου FC-120 kW, για τη χαμηλή θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου (LHV), σύμφωνα με κατασκευαστικά στοιχεία για την περιοχή 20% έως 100% του φορτίου κυμαίνεται από 68-58%. Ο τελικός βαθμός απόδοσης του συστήματος κυψελών καυσίμου μετά τον μετατροπέα κυμαίνεται από 63,5-50,4%. Η μέγιστη θερμική ισχύς (Q_{FC}) της μονάδος, για την υψηλή θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου (HHV), ανέρχεται στα 145 kW, μέγεθος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απαραίτητης εγκατάστασης για την ψύξη των κυψελών καυσίμου. Η μέγιστη κατανάλωση H_2 για τη μία μονάδα κυψελών καυσίμου είναι 6,738 kg/h, ενώ αντίστοιχα του O_2 είναι 53,486 kg/h.

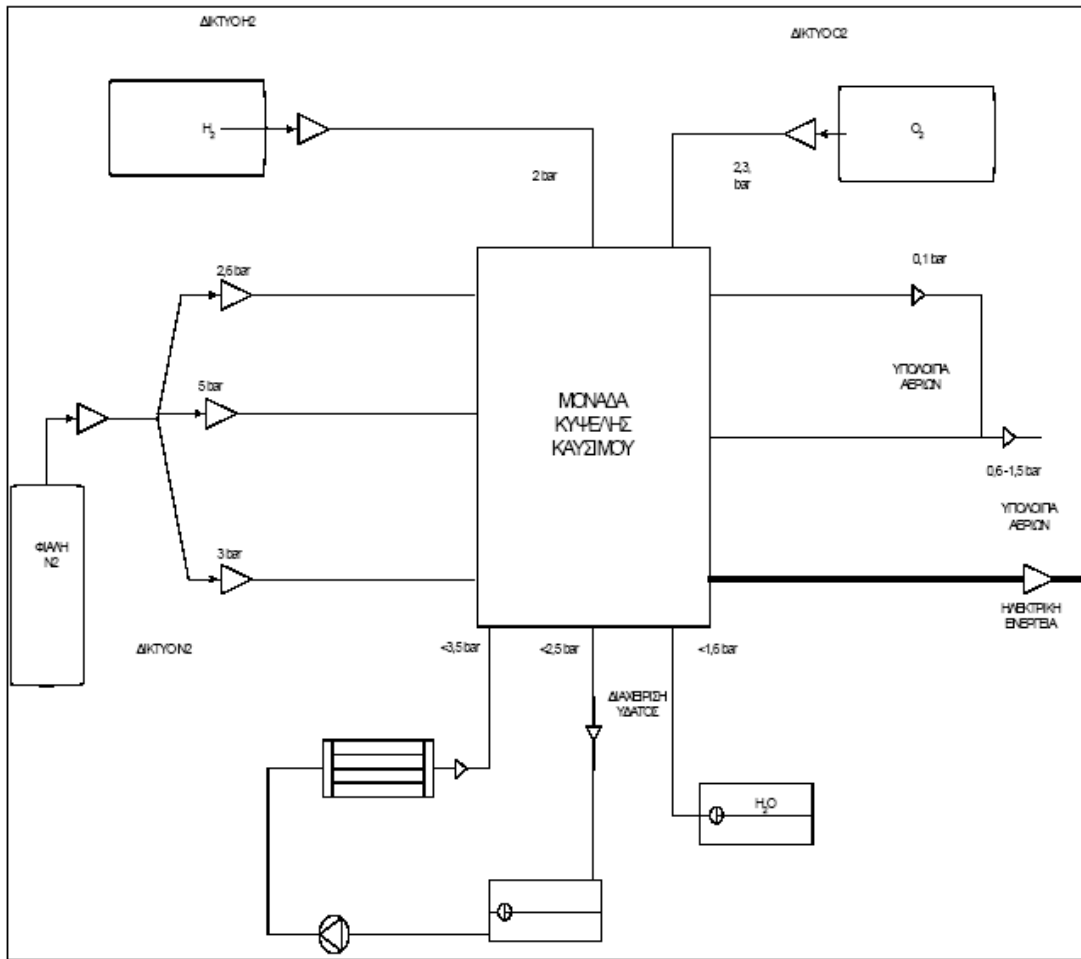
5.4.3 Συστήματα-Δίκτυα H₂ και O₂ και λοιπών απαραίτητων

5.4.3.1 Γενικά

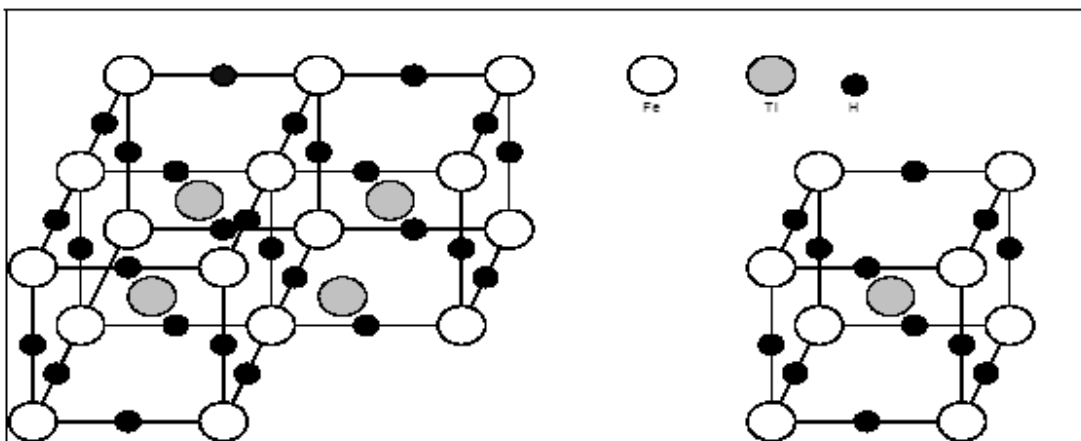
Η χρήση των κυψελών καυσίμου στην πρόωση του Υ/Β απαιτεί την χρήση συστημάτων/δικτύων διαχείρισης της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας καθώς και αποθήκευσης και διαχείρισης των απαραίτητων καυ-σίμων καθώς και των προϊόντων των χημικών αντιδράσεων, όπως σχηματικά φαίνεται στα Σχήματα 21 και 24. Οι σωληνώσεις στα δίκτυα H₂ και O₂ είναι διπλές με άζωτο στον εξωτερικό δακτύλιο, για έλεγχο τυχόν διαρροών.

5.4.3.2 Φιάλες Υδρογόνου (H₂)

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί στη κρυσταλλική δομή ορισμένων ειδικών κραμάτων [«υδρίδια»] (εικόνα 73). Τα υδρίδια θερμαινόμενα διασπώνται αποδίδοντας το H₂ που είχε απορροφηθεί. Για την αποθήκευση H₂ υπό μορφή υδριδίων στα Υ/Β αρχικά χρησιμοποιήθηκε κράμα τιτανιούχου σιδήρου (Ti-Fe). Η ποσότητα του H₂ που προσροφάται, αντιστοιχεί περίπου στο 2% του βάρους του κράματος Ti-Fe, ή σε 800 m³ H₂ σε κανονικές συνθήκες ανά m³ υδριδίου. Στη μορφή αυτή αναπτύσσεται περίπου πενταπλάσια πυκνότητα υδρογόνου από αυτήν που αποθηκεύεται σε φιάλες σε αέρια μορφή με πίεση 200 bar. Στη μορφή υδριδίου, η πυκνότητα του H₂ υπερβαίνει ακόμη και αυτήν που έχει το H₂ στην υγρή του μορφή, στη θερμοκρασία των -253°C (0.071gr/cm³), στην οποία επιπλέον η φύλαξη είναι πολύ δύσκολη, λόγω της εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας. Στα συστήματα Α.Ι.Ρ. των Υ/Β U209 και U214 το H₂ φυλάσσεται υπό μορφή υδριδίου κράματος σιδήρου (Fe), τιτανίου (Ti), μαγγανίου (Mn), βαναδίου (V) και ζirkονίου (Zr). Για την προσρόφηση του H₂ απαιτείται ψύξη στους 5°C περίπου. Για την απελευθέρωση («αφυδρογόνωση») του H₂, το συγκεκριμένο υδρίδιο πρέπει να θερμανθεί στη θερμοκρασία των 45°C περίπου, θέρμανση που γίνεται με αξιοποίηση της εκλυόμενης θερμότητας, που παράγεται από την κυψέλη καυσίμου κατά τη λειτουργία. Επιπλέον, το κράμα των μετάλλων, λόγω της επιλεκτικής προσροφήσεως του H₂, συμπεριφέρεται ως φίλτρο για το H₂ από τυχόν προσμίξεις. Οι προσμίξεις όμως που παραμένουν στο κρυσταλλικό πλέγμα των μετάλλων, με τις συνεχείς φορτίσεις και εκφορτίσεις μειώνουν βαθμιαία την ικανότητα προσροφήσεως H₂. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που απαιτείται η χρησιμοποίηση H₂ καθαρότητας 99.999% [ποιότητα 5, δηλ 5 ενιάρια].

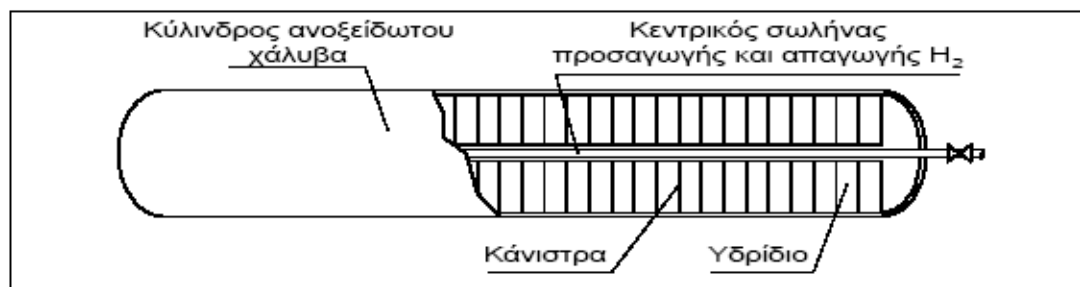


Εικόνα 72. Σχηματική διάταξη δικτύων μονάδας κυψέλης καυσίμου.



Εικόνα 73. Η κρυσταλλική δομή του υδριδίου TiFe με το προσροφηθέν H_2 .

Το υδρίδιο τοποθετείται σε κάνιστρα αλουμινίου που στη συνέχεια προσαρμόζονται σε φιάλες από ανοξείδωτο χάλυβα. Τα κάνιστρα φέρουν οπή στο κέντρο, ώστε να είναι δυνατή η εύκολη προσαγωγή και απαγωγή του H_2 (Σχήμα 23). Η φιάλη περιβάλλεται με συνθετικά υλικά από GRP (Glass Reinforced Polymer), που φέρουν κατά μήκος αύλακες για τη διέλευση του ύδατος θερμάνσεως και ψύξεως. Η πίεση λειτουργίας είναι 63 bar, που διατηρείται σχεδόν σταθερή όσο υπάρχει H_2 , ανεξαρτήτως παροχής. Όταν η πίεση μειωθεί στα 2.5 bar στη θερμοκρασία των $45^{\circ}C$, η φιάλη θεωρείται κενή. Κατά την πλήρωση αντίστοιχα, όταν η πίεση είναι στα 63 bar στη θερμοκρασία ύδατος ψύξεως $5^{\circ}C$ και η ροή H_2 είναι μηδενική, θεωρείται ότι η φιάλη είναι πλήρης. Η πλήρωση του H_2 μπορεί να γίνει και χωρίς ψύξη. Τότε όμως η ποσότητα του H_2 που παραλαμβάνεται είναι σημαντικά μειωμένη. Για την πλήρωση απαιτείται χρόνος περίπου 30 ωρών. Η λαμβανομένη ποσότητα όμως δεν είναι ανάλογη του χρόνου. Η κάθε φιάλη έχει διάμετρο 0,5m, μήκος 5,2m, χωρητικότητα $1m^3$ περίπου και μπορεί να αποθηκεύσει 70-80 kgf H_2 , που αντιστοιχεί σε 800-900 m^3 , ενώ το βάρος της ανέρχεται περίπου στα 4000 kgf και είναι τοποθετημένες εκτός του ανθεκτικού σκάφους σε δύο ενιαίους χώρους ΔΕ και ΑΡ της τρόπιδας.



Εικόνα 74. Τομή φιάλης υδρογόνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ

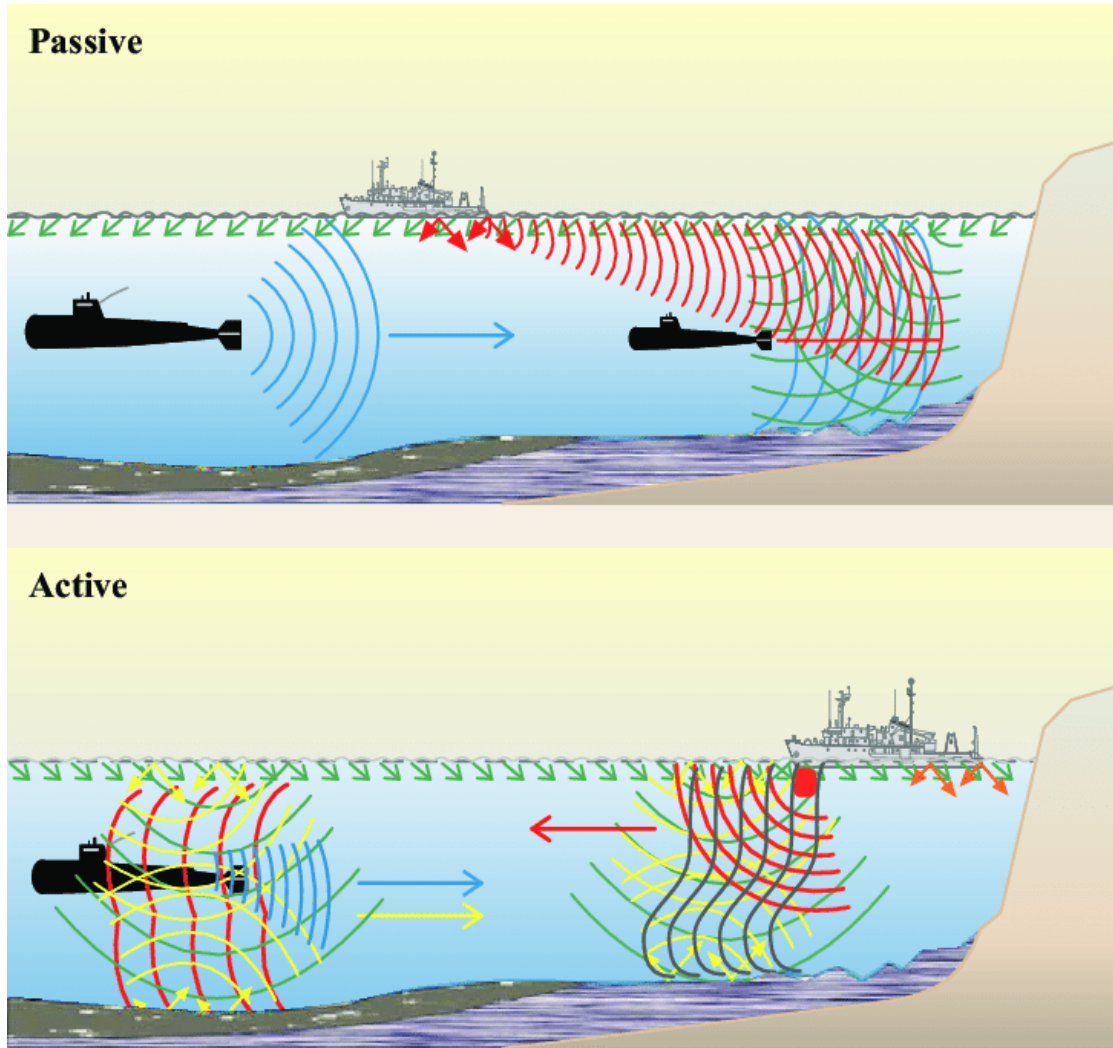
6.1 Sonar (Sound Navigation and Ranging)

Τα ηχοεντοπιστικά συστήματα SONAR (SOund NAvigation and Ranging) είναι ηλεκτροακουστικές συσκευές και συστήματα που χρησιμοποιούν τη διάδοση των κυμάτων ηχητικής ενέργειας στη θάλασσα για πλοήγηση υποβρυχίων, επικοινωνία μεταξύ τους και ανίχνευση αντικειμένων που βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας ή κάτω από αυτήν.

Ο σκοπός των συστημάτων SONAR είναι ο εντοπισμός, η αναγνώριση, η ταξινόμηση και η παρακολούθηση υποβρυχίων σκαφών και άλλων αντικειμένων καθώς και η χαρτογράφηση του βυθού. Ο εντοπισμός και η αναγνώριση των αντικειμένων περιλαμβάνει την εκτίμηση του μεγέθους τους, της θέσης τους και της ταχύτητας με την οποία κινούνται καθώς και την ταυτοποίηση τους. Η λειτουργία των SONAR θυμίζει αυτή των RADAR, με τη διαφορά ότι αντί για ηλεκτρομαγνητικό κύμα χρησιμοποιούν ακουστικό και βρίσκονται στο νερό, αντί για τον αέρα.

6.1.1 Είδη Sonar

Υπάρχουν δύο βασικά είδη SONAR, τα ενεργά και τα παθητικά. Τα παθητικά δέχονται ηχητικά κύματα που εκπέμπονται από διάφορες πηγές ακουστικού κύματος, όπως για παράδειγμα από υποβρύχια και επεξεργάζονται την πληροφορία για εξαγωγή συμπερασμάτων, ενώ τα ενεργά εκπέμπουν ηχητικούς παλμούς και λαμβάνουν την ηχώ την οποία στη συνέχεια επεξεργάζονται. Οι συχνότητες λειτουργίας τους κυμαίνονται ανάλογα με την εφαρμογή από πολύ χαμηλές κάτω από 20 Hz ως πολύ υψηλές από 20kHz έως κάποια GHz.



Εικόνα 75: Παθητικό και ενεργητικό sonar

6.1.2 Αρχή λειτουργίας Sonar

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η βασική λειτουργία των SONAR συνίσταται στη χρήση των ηχητικών κυμάτων για τον εντοπισμό αντικειμένων μέσα στο νερό. Για να γίνει αυτό, ένα ηχητικό σήμα παράγεται και εκπέμπεται από τη συσκευή μέσα στο νερό. Το ηχητικό σήμα στο σημείο που εκπέμπεται είναι στενό, κατά την απομάκρυνσή του όμως από την πηγή και καθώς διασχίζει το νερό μεγαλώνει σχηματίζοντας κώνο ή όπως λέγεται πιο διαδεδομένα, μια δέσμη (όπως το φως ενός φακού). Όταν το ηχητικό σήμα προσκρούσει σε κάποιο αντικείμενο, ανακλάται και επιστρέφει πίσω στη συσκευή. Μετρώντας το χρόνο που μεσολάβησε από την εκπομπή του σήματος μέχρι την επιστροφή του στη συσκευή, αλλά και άλλες παραμέτρους του σήματος, υπολογίζεται η απόσταση και άλλες ιδιότητες του εντοπιζόμενου αντικειμένου. Εάν το σήμα δεν προσκρούσει σε κάποιο αντικείμενο στη διαδρομή του, φτάνει στο βυθό. Ο μαλακός βυθός που αποτελείται κυρίως από άμμο και φύκια απορροφάει ένα ποσοστό του σήματος έτσι ώστε η επιστροφή του να είναι αμυδρή. Ο σκληρός βυθός σε αντίθεση, (δηλαδή βράχια) έχει πολύ γρήγορη αλλά και δυνατή επιστροφή σήματος. Αυτές οι διαφορές στις ανακλάσεις του ηχητικού σήματος εμφανίζονται στην οθόνη του SONAR επεξεργασμένες για την καλύτερη κατανόηση του πυθμένα.

6.1.3 Ιστορική αναδρομή

Αφορμή για την ανάπτυξη των SONAR αποτέλεσε το ναυάγιο του Τιτανικού, με σκοπό να αποφευχθούν παρόμοια ατυχήματα

στο μέλλον. Μια πρώιμη μορφή παθητικού SONAR σχεδιάστηκε από τον Lewis Richardson τον Απρίλιο του 1912. Ένα χρόνο αργότερα ο Reginald Fessenden κατασκεύασε έναν ηλεκτρομαγνητικό πομπό και μέσω αυτού εντόπισε ένα παγόβουνο σε απόσταση 2 ναυτικών μιλίων. Η συσκευή αυτή ονομάστηκε Fessenden Oscillator. Με την τεχνολογική βελτίωση των υποβρυχίων στις πολεμικές συγκρούσεις της περιόδου, γεννήθηκε και η ανάγκη για ένα αποτελεσματικό σύστημα εντοπισμού τους.

Κατά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο εντάθηκε η έρευνα για την κατασκευή SONAR και το 1917 ο Boyle κατασκεύασε το πρώτο ενεργό SONAR, χρησιμοποιώντας κρυστάλλους χαλαζία για την μετατροπή της τάσης σε ηχητικό κύμα και αντίστροφα. Το ονόμασε ASDIC. Εκείνο τον καιρό, ο μόνος τρόπος για την ανίχνευση υποβρυχίων ήταν είτε ηχητικά ακούγοντάς τα (παθητικό SONAR), είτε οπτικά, κατά τύχη, όταν αναδύονταν στην επιφάνεια για να επαναφορτίσουν τις μπαταρίες τους ή με μαζικές εναέριες περιπολίες αργοκίνητων αεροπλοίων και διπλάνων.

Οι επιδρομές των γερμανικών υποβρυχίων στο Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο έκαναν την ανάπτυξη του SONAR προτεραιότητα. Με εκατομμύρια τόνους βυθισμένων εμπορευμάτων και πλοίων και την απώλεια χιλιάδων ανθρώπων στον Ατλαντικό, έγινε επιτακτική η ανάγκη για τον εντοπισμό των υποβρυχίων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η βύθισή τους ή τουλάχιστον η παρεμπόδισή τους να επιτεθούν. Ως εκ τούτου, το SONAR εγκαταστάθηκε σε έναν αριθμό πλοίων, μαζί με ραντάρ για την ανίχνευση υποβρυχίων στην επιφάνεια της θάλασσας.

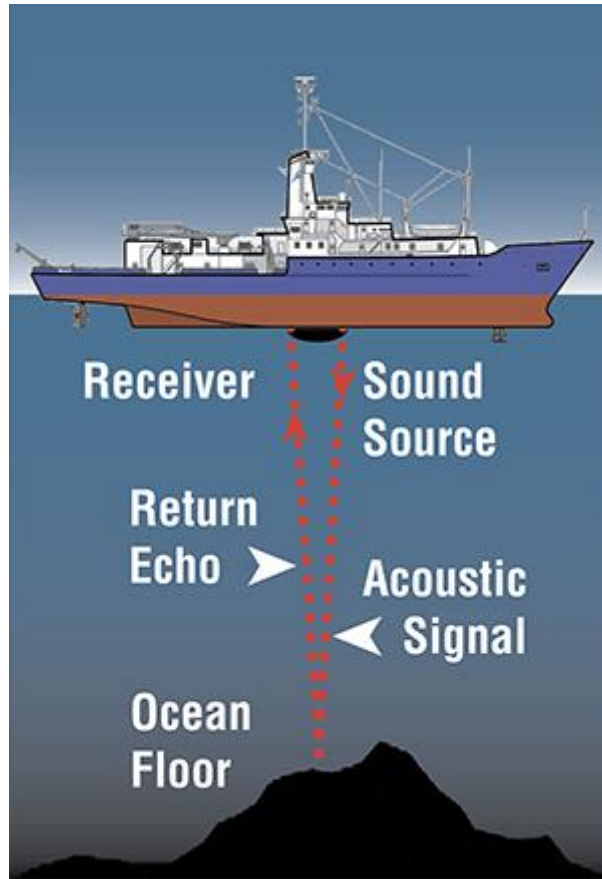
Παρ' όλο που το SONAR ήταν ένα πρωτόγονο σύστημα, συνεχώς βελτιωνόταν. Παράλληλα με τις προσπάθειες των συμμαχικών δυνάμεων, επιστήμονες που εργάζονταν για τον γερμανικό άξονα κατασκεύασαν ένα παθητικό SONAR για τα υποβρύχια, που ονόμασαν Gruppenhorchgerät (GHG). Οι επιστημονικές ανακαλύψεις στους τομείς της στατιστικής θεωρίας τις δεκαετίες του 1940 και του 1950 συνέβαλαν κατά πολύ στην πρόοδο της ανίχνευσης σήματος με θόρυβο. Το 1958 οι τότε σύγχρονες τεχνικές επεξεργασίας σήματος εφαρμόστηκαν στο υποβρύχιο USS Nautilus παρέχοντας του με παλμούς FM ακριβέστατες πληροφορίες για την πλοήγηση του κάτω από στρώματα πάγου της Ανταρκτικής. Το συγκεκριμένο SONAR ήταν μηχανικά περιστρεφόμενο και είχε αρκετά υψηλή

ανάλυση ώστε να μπορεί να εντοπίζει νάρκες. Μετά το 1960, τέτοιες συσκευές αντικαταστάθηκαν από προηγμένα ηλεκτρονικά συστήματα που μπορούσαν να καλύψουν την ίδια περιοχή, χωρίς μηχανισμούς περιστροφής.

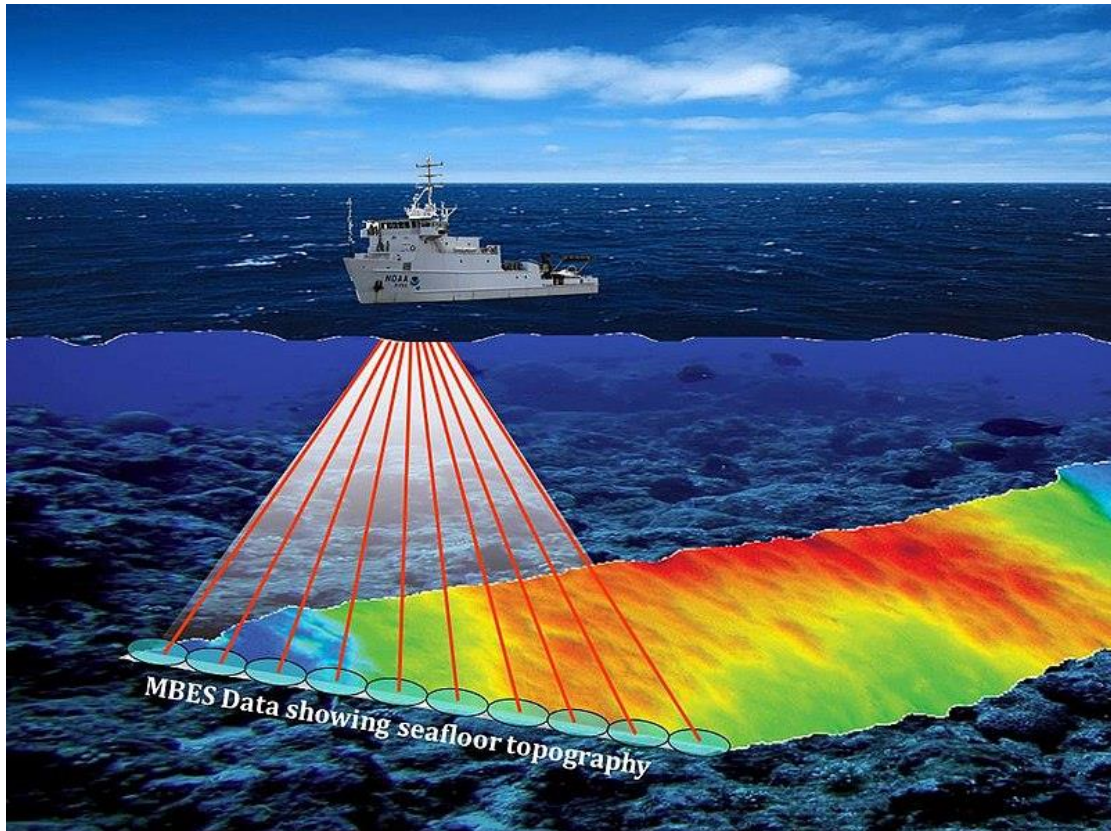
Με τη διευρυμένη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών από τα τέλη του 20ου αιώνα, η επεξεργασία σήματος γίνεται μέσω λογισμικού. Πρόσφατο παράδειγμα χρήσης των SONAR είναι η περίπτωση της προσπάθειας εντοπισμού του Boeing 777 της Malaysian Airlines. Για την ακρίβεια ένα πλοίο που είχε εγκατεστημένο ένα παθητικό SONAR προσπαθούσε να «ακούσει» εκπομπές που πιθανόν να προέρχονταν από το μαύρο κουτί του αεροπλάνου και μάλιστα μια εκπομπή που έλαβε ήταν αυτή στη φασματική συχνότητα των 37,5 kHz.

6.1.4 Εφαρμογές των sonar

Οι εφαρμογές των SONAR μπορεί να είναι στρατιωτικές, όπως ο εντοπισμός εχθρικών υποβρυχίων, η πλοήγηση υποβρυχίων και η επικοινωνία μεταξύ τους. Υπάρχει όμως και πληθώρα άλλων μη στρατιωτικών εφαρμογών όπως η εύρεση ναυαγίων, ο εντοπισμός θαλάσσιων ειδών και κοπαδιών ψαριών, η χαρτογράφηση του βυθού, η επιθεώρηση υποθαλάσσιων σωληνώσεων και καλωδίων, εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη διακριτική ικανότητα. Υπάρχει επιστημονικός κλάδος που ονομάζεται υδρογραφία, που μελετά το βυθό και δημιουργεί διαγράμματα με τα χαρακτηριστικά του. Οι επιστήμονες με τη βοήθεια και των SONAR υπολογίζουν το βάθος του ωκεανού και αναζητούν υφάλους, πέτρες και ναυάγια που θα μπορούσαν να βλάψουν την πλοήγηση των πλοίων και των υποβρυχίων. Τα δεδομένα χαρτογραφούνται και προκύπτουν οι ναυτικοί χάρτες-διαγράμματα.



Εικόνα 76: Πως γίνεται η χαρτογράφηση βυθού



Εικόνα 77: Χαρτογράφηση βυθού

6.1.5 Τα κυριότερα είδη Sonar

Παρακάτω αναφέρονται τα κυριότερα είδη SONAR

- SONAR απλής δέσμης: πρόκειται για τα παραδοσιακά απλά SONAR. Παρόλο που αυτά κυριάρχησαν για πάνω από 50 χρόνια στο χώρο θεωρούνται πια ξεπερασμένα.
- SONAR πλευρικής σάρωσης: Αυτά αναπτύχθηκαν για να καλύψουν τις αδυναμίες και τους περιορισμούς των SONAR απλής δέσμης. Όπως και τα προηγούμενα, εκπέμπουν ενέργεια με τη μορφή ηχητικών κυμάτων και κατόπιν επεξεργάζονται το ανακλώμενο σήμα.
- SONAR πολλαπλών δεσμών: Μια σημαντική εξέλιξη, που βελτιώνει την απόδοση του SONAR πλευρικής σάρωσης, είναι το SONAR πολλαπλών δεσμών. Όπως δηλώνει και το όνομά του, το SONAR αυτό χρησιμοποιεί πολλές δέσμες για την παρατήρηση του βυθού.
- SONAR μεταβλητού βάθους: Αυτά χρησιμοποιούν μεγάλου μεγέθους μετατροπείς, οι οποίοι σύρονται πίσω από το πλοίο με τη βοήθεια ενός καλωδίου μεταβλητού

μήκους, πετυχαίνοντας με αυτό το τρόπο να «ακούν» σε διαφορετικά βάθη.

- SONAR ρυμουλκούμενης συστοιχίας: Μια συστοιχία από παθητικά SONAR ρυμουλκείται πίσω από το πλοίο με ένα καλώδιο μεταβλητού μήκους όπως και στο SONAR μεταβλητού βάθους. Η διαφορά τους είναι ότι σε αυτή την περίπτωση πρόκειται για ένα καθαρά παθητικό σύστημα.
- Ηχοσημαντήρες (Sonobuoys): Οι ηχοσημαντήρες είναι μικρά και αυτόνομα συστήματα SONAR. Μπορούν να ριφθούν στην θάλασσα από εναέρια ή θαλάσσια μέσα (αεροπλάνα, ελικόπτερα, πλοία ή υποβρύχια) και μπορούν να αναπτυχθούν και να λειτουργήσουν τελείως αυτόνομα. Οι πληροφορίες που εξάγονται από τη λειτουργία τους εκπέμπονται σε πραγματικό χρόνο πίσω στο σκάφος που τα εξαπέλυσε με τη βοήθεια ραδιοζεύξης VHF.

6.1.6 Βιολογικές δράσεις των sonar

Έρευνες έχουν δείξει ότι τα θαλάσσια θηλαστικά επηρεάζονται από τα ενεργά SONAR. Δελφίνια και φάλαινες χρησιμοποιούν ηχητικά κύματα για επικοινωνία και πλοήγηση και υπάρχει η πεποίθηση πως όταν τα SONAR λειτουργούν στις ίδιες φασματικές συχνότητες, δημιουργούν σύγχυση σε βιολογικές λειτουργίες των ζώων αυτών. Οι φάλαινες με ρύγχος (beaked whales) φαίνεται πως έχουν μεγάλη ευαισθησία σε ενεργά SONAR μεσαίων συχνοτήτων υψηλής έντασης, ενώ οι γαλάζιες φάλαινες (blue whales) απομακρύνονται από πηγές ενεργών SONAR. Αντίστοιχη συμπεριφορά έχουν και τα δελφίνια. Σε κάθε περίπτωση τα SONAR με τις πολλές εφαρμογές τους αποτελούν και θα συνεχίσουν να αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για τον άνθρωπο στην προσπάθεια της χαρτογράφησης των ωκεανών. Οι αρνητικές επιδράσεις που έχουν στη θαλάσσια ζωή θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω και τελικά να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

6.2 Συχνότητες επικοινωνίας

Τα υποβρύχια επικοινωνούν μέσω πολλαπλών, συμπληρωματικών συστημάτων ραδιοσυχνοτήτων, καλύπτοντας όλες σχεδόν τις συχνότητες των στρατιωτικών επικοινωνιών. Κανένα σύστημα επικοινωνιών ή ζώνη συχνοτήτων δεν μπορεί να υποστηρίξει όλες τις απαιτήσεις υποβρύχιας επικοινωνίας. Τα υποβρύχια συστήματα επικοινωνιών επί πλοίων αποτελούνται από κεραίες RF και εξοπλισμό ραδιοφωνικών εγκαταστάσεων, και οι δύο πομποί / δέκτες RF και οι σειρές βασικών ζωνών.

Τα υποβρύχια απαιτούν έναν αριθμό κεραιών για την παροχή των απαραίτητων δυνατοτήτων επικοινωνίας, πλοήγησης και ταυτοποίησης φίλου ή εχθρού (IFF- Identification Friend or Foe). Οι υποθαλάσσιες κεραίες, σε σύγκριση με τις επιφανειακές κεραίες πλοίων, είναι μοναδικές όσον αφορά το σχεδιασμό, το σχήμα, τα υλικά και τις επιδόσεις λόγω των περιορισμών του χώρου και του βάρους ενός υποβρυχίου, των ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών και των μυστικών παραμέτρων. Το UHF SATCOM παρέχει σχετικά υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αλλά απαιτεί το υποβρύχιο να εκθέσει μια ανιχνεύσιμη κεραία τοποθετημένη στον ιστό, υποβαθμίζοντας το κύριο χαρακτηριστικό του – το μη ανιχνεύσιμο. Αντίθετα, οι επικοινωνίες εκπομπής εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων (ELF – Extremely Low Frequencies) και πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF – Very Low frequencies) παρέχουν στα υποβρύχια ένα υψηλό βαθμό μυστικότητας και ευελιξίας στην ταχύτητα και το βάθος, αλλά έχουν χαμηλή ταχύτητα δεδομένων, μόνο για υποβρύχια και μόνο από την ακτή προς το υποβρύχιο.

6.2.1 ELF(Extremely Low Frequencies) [Εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες: 30 Hz - 300 Hz / 10.000 Km - 1.000 Km μήκους κύματος]

Αυτή είναι η μόνη ζώνη που μπορεί να διεισδύσει εκατοντάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια του ωκεανού. Το αμερικανικό ναυτικό μεταδίδει μηνύματα ELF χρησιμοποιώντας μια τεράστια κεραία στο Ουισκόνσιν και στο Μίτσιγκαν, που δημιουργήθηκε από πολλά μίλια καλωδίων σε πύργους σε συνδυασμό με το υποκείμενο υπόβαθρο. Αυτή η ζώνη χρησιμοποιείται για την αποστολή σύντομων κωδικοποιημένων μηνυμάτων (PLSO - phonetic letter spelled out) σε βαθιά βυθισμένα υποβρύχια, τα

οποία είναι σέρνουν μεγάλα καλώδια κεραιών. Η επικοινωνία είναι μίας κατεύθυνσης, επομένως χρησιμοποιείται κυρίως για προκαθορισμένα σήματα ή για να κατευθύνει το υποβρύχιο να έρχεται πιο κοντά στην επιφάνεια για ταχύτερες επικοινωνίες. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες δεν επηρεάζουν σημαντικά την αλλαγή του σήματος και επομένως είναι αρκετά αξιόπιστοι

6.2.2 VLF (Very Low Frequencies) [Πολύ χαμηλές συχνότητες 3 kHz - 30 kHz /100 Km - 10 Km μήκος κύματος]

Αυτή η μπάντα συχνοτήτων μπορεί να διεισδύσει αρκετά μέτρα κάτω από το θαλασσινό νερό και μπορεί να μεταδώσει πολύ περισσότερες πληροφορίες από την ELF. Συνεπώς είναι χρήσιμη για υποβρύχιες επικοινωνίες όταν το υποβρύχιο δεν μπορεί να επιταχυνθεί στην επιφάνεια. Μπορεί να επηρεαστεί από βαθμίδες αλατότητας στον ωκεανό, αλλά αυτές συνήθως δεν δημιουργούν προβλήματα για υποβρύχια κοντά στην επιφάνεια. Υπάρχουν φυσικές πηγές ακτινοβολίας VLF, αλλά γενικά, όπως το ELF, δεν επηρεάζεται έντονα από τις αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες, επομένως είναι χρήσιμο για αξιόπιστες παγκόσμιες επικοινωνίες. Οι κεραιές μετάδοσης πρέπει να είναι μεγάλες, επομένως χρησιμοποιείται κυρίως για επικοινωνίες μονής κατεύθυνσης από κέντρα εντολών με βάση την ξηρά σε επιφανειακά πλοία και υποβρύχια. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση σε αρκετούς δορυφόρους ταυτόχρονα, η οποία με τη σειρά της μπορεί να μεταδίδει μηνύματα στην επιφάνεια. Τα συστήματα VLF του Ναυτικού χρησιμεύουν ως υποστήριξη για την παγκόσμια χρήση της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια εχθροπραξιών, όταν οι πυρηνικές εκρήξεις μπορούν να διαταράξουν υψηλότερες συχνότητες ή οι δορυφόροι καταστρέφονται από τις ενέργειες του εχθρού. Το VLF χρησιμοποιείται επίσης για φάρους πλοήγησης αεροσκαφών και πλοίων και για τη μετάδοση τυπικών συχνοτήτων και σημάτων χρόνου.

6.2.3 HF (High Frequencies) [Υψηλές συχνότητες: 3 MHz - 30 MHz /100 m - 10 m μήκος κύματος]

Το ναυτικό χρησιμοποιεί εκτενώς αυτή τη ζώνη για επικοινωνίες. Χρησιμοποιείται επίσης για ραντάρ μεγάλης εμβέλειας ("over-the-horizon"). Λόγω της λειτουργίας μετάδοσης skywave, η ακτινοβολία HF μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις, μερικές φορές στην άλλη πλευρά της γης. Λόγω της ευελιξίας και της μεγάλης περιοχής κάλυψης, αυτή είναι μια πολύ γεμάτη ζώνη και ο στρατός μπορεί να χρησιμοποιήσει

μόνο μερικές περιοχές συχνότητας διάσπαρτες σε όλη αυτή τη ζώνη. Οι πιο αποδοτικές μεταδόσεις απαιτούν αρκετά μεγάλες κεραιές, επομένως είναι πολύ χρήσιμο όταν τουλάχιστον ένας από τους σταθμούς βρίσκεται στην ακτή. Το μέγεθος της κεραιάς περιορίζει τη χρήση του σε αεροσκάφη. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δορυφορικές επικοινωνίες αφού αντανακλάται από την ιονόσφαιρα. Πολλές από τις προηγούμενες χρήσεις του HF από το Πολεμικό Ναυτικό έχουν τώρα αντικατασταθεί από συστήματα δορυφορικής επικοινωνίας. Το κύριο μειονέκτημα της χρήσης HF είναι ότι είναι πολύ ευαίσθητο στις αλλαγές της ιονόσφαιρας και συνεπώς πρέπει να είναι διαθέσιμες αρκετές συχνότητες για χρήση.

Οι μελλοντικές αποστολές των υποβρυχίων θα απαιτήσουν επανάσταση στη συνδεσιμότητα των επικοινωνιών και υποστήριξη του εύρους ζώνης. Το όραμα είναι να επιτραπεί στα υποβρύχια να επικοινωνούν χωρίς τους τρέχοντες περιορισμούς βάθους και ταχύτητας και με επαρκές εύρος ζώνης για να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητα των δεδομένων και των πληροφοριών που συλλέγει το υποβρύχιο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η συνδεσιμότητα και η πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο.

Η ανάπτυξη αυτών των προηγμένων επικοινωνιών έχει ήδη ξεκινήσει με την ενσωμάτωση των βασισμένων σε Narrowband συστημάτων που βασίζονται στην αρχιτεκτονική IP. Ακολουθεί ανάπτυξη μιας κεραιάς με υψηλότερο ρυθμό δεδομένων και ευρυζωνικών επικοινωνιών και τελικά μια καλωδιακή κεραία που επιτρέπει αμφίδρομες επικοινωνίες σε βάθος και ταχύτητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[https://www.mixanitouxronou.gr/i-chelona-to-pto-polemiko-
ipovrichio-stin-istoria-to-kataskevase-enas-fititis-gia-na-
polemisi-tous-anglous-ston-polemo-tis-anexartisias/](https://www.mixanitouxronou.gr/i-chelona-to-pto-polemiko-
ipovrichio-stin-istoria-to-kataskevase-enas-fititis-gia-na-
polemisi-tous-anglous-ston-polemo-tis-anexartisias/)

[https://www.e-telescope.gr/world/geopolitics/nuclear-
submarines-technological-advances](https://www.e-telescope.gr/world/geopolitics/nuclear-
submarines-technological-advances)

<https://uboat.net/types/xviii.htm>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Σπηλαίωση>

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:USS_Nautilus_in_New_York_-_
0857103.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:USS_Nautilus_in_New_York_-_
0857103.jpg)

[https://hu.wikipedia.org/wiki/K-
3_Lenyinszkij_Komszomol#/media/File:K3PLA.jpg](https://hu.wikipedia.org/wiki/K-
3_Lenyinszkij_Komszomol#/media/File:K3PLA.jpg)

<https://el.wikipedia.org/wiki/Δύναμη>

<https://www.mejorimagen.eu/type-of-forces.html>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Ανωση>

<https://www.quora.com/What-is-the-meaning-of-buoyancy>

<http://underwaterrobotics.wikidot.com/buoyancy>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Πίεση>

<https://www.sciencesfp.com/unit-8---forces.html#>

<https://www.pentapostagma.gr/2017/11/ο-θαυμαστός-κόσμος-των-υποβρυχίων-και.html>

<https://www.ptisidiastima.com/barracuda-class-submarines-for-french-navy/>

<https://slideplayer.gr/slide/16315560/>

<http://1lyk-ko.dod.sch.gr/sitefile/proj1nero/Ypovrixia.pdf>

http://library.tee.gr/digital/m2102/m2102_hatzilaou1.pdf

<http://hydrobots.gr/index/wp-content/uploads/2013/02/report.pdf>

<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/hlk/2007/NikolakopoulosKonstantinos/attached-document/2007Nikolakopoulos.pdf>

https://www.pronews.gr/amyna-asfaleia/naytiko/123449_o-thaymastos-kosmos-ton-ypovryhion-vid

<http://www.mixanitouxronou.gr/i-chelona-to-pto-polemiko-ipovrichio-stin-istoria-to-kataskevase-enas-fititis-gia-na-polemisi-tous-anglous-ston-polemo-tis-anexartias/>

<https://www.e-telescope.gr/world/geopolitics/nuclear-submarines-technological-advances>

<https://www.sansimera.gr/articles/579>

https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_navigation

<https://www.sansimera.gr/articles/579>

<http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/1402/1/012009187.pdf>

https://projectaristoteleio2013.weebly.com/uploads/1/3/2/1/13216669/ypovrixio_full.pdf

<https://www.marineinsight.com/naval-architecture/submarine-design-unique-tanks-submarine/>

<https://www.marineinsight.com/naval-architecture/submarine-design-structure-of-a-submarine/>

<https://www.marineinsight.com/main-engine/different-types-of-marine-propulsion-systems-used-in-the-shipping-world/>

<http://www.helmepacadets.gr/files/periskopio-naftilon-No61.pdf>

<https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/sub-comm.htm>

<https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK278/MEK/NTIZELOHLEKTRIKH%20PROOSH%20STA%20SYGXRONA%20PLOIA%20METAFORAS%20FYSIKOY%20AERIOY.%20%28D-FDE%29%20DUAL%20FUEL%20DIESEL%20ELECTRIC%20PROPULSION%20ON%20MODERN%20LNG%20CARRIERS.pdf>

https://www.researchgate.net/figure/Passive-and-active-SONAR-for-submarine-detection-Passive-the-submarine-on-the-right_fig12_302546326

<https://dosits.org/people-and-sound/examine-the-earth/map-the-sea-floor/>