



Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων

---

Σχεδιασμός ενός υποβρύχιου οχήματος (ROV), για την  
εξερεύνηση και καταγραφή ενός υποθαλάσσιου περιβάλλοντος.

Μιχαήλ Άγγελος Ντόλιας | 5112013081

Φεβρουάριος 2019

Επιτροπή

Επιβλέπων: Βασίλειος Μουλιανίτης  
1ο Μέλος: Παρασκευάς Παπανίκος  
2ο Μέλος: Σπύρος Μποφυλάτος

---

---

*Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει, όσο είναι δυνατόν, να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την χρήση αναφορών, ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.*

## Περιεχόμενα

---

Περιεχόμενα εικόνων .....	6
Περιεχόμενα πινάκων .....	8
Πρόλογος .....	8
Περίληψη .....	9
Abstract .....	9
1. Εισαγωγή .....	10
1.1 Αντικείμενο διπλωματικής.....	10
1.2 Δομή διπλωματικής.....	10
1.3 Βασικές έννοιες.....	10
Ορισμός ρομπότ .....	10
Βαθμός Ελευθερίας (Degree Of Freedom – DOF).....	11
Οργάνωση και Λειτουργία .....	11
1.4 Είδη υποβρύχιων οχημάτων .....	12
1.5 Υποσυστήματα ενός υποβρύχιου οχήματος.....	18
1.6 Μεθοδολογία σχεδίασης .....	20
2. Έρευνα περιβάλλοντος .....	22
2.1 Οι φυσικές ιδιότητες του νερού.....	22
2.1.1 Χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες νερού .....	22
2.1.2 Αλμυρότητα.....	23
2.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα .....	24
2.1.4 Διάβρωση.....	24
2.1.5 Ραδιοκύματα και επιπτώσεις στο νερό.....	25
2.1.7 Υδροστατική πίεση .....	27
2.1.8 Πλευστότητα.....	28
2.1.9 Συμπιεστότητα .....	30
2.1.10 Ιξώδες.....	31
2.1.11 Οπισθέλκουσα .....	32
2.2 Ακουστικές ιδιότητες του νερού .....	33
2.3 Οπτικές ιδιότητες του νερού .....	34

2.3.1	Απορροφητικότητα .....	34
2.3.2	Θολότητα και Οπισθοσκέδαση.....	34
2.3.3	Διάθλαση .....	35
2.4	Θερμικές ιδιότητες του νερού.....	36
2.4.1	Θερμική χωρητικότητα .....	36
2.4.2	Θερμική αγωγιμότητα .....	37
2.5	Κίνηση του νερού .....	37
2.5.1	Ρεύματα.....	38
2.5.2	Παλίρροιες.....	38
2.5.3	Κύματα .....	39
2.6	Πρότυπο στήλης νερού .....	40
2.7	Υποβρύχια ζωή .....	41
3.	Δομή και Υλικά .....	42
3.1	Επισκόπηση δομής.....	42
3.2	Δομικά κριτήρια απόδοσης .....	43
3.3	Δύναμη, ακαμψία, βάρος & δομικές φόρμες.....	44
3.4	Συμβατότητα με το υποθαλάσσιο περιβάλλον .....	48
3.5	Δομικά υλικά .....	48
3.5.1	Μέταλλα.....	48
3.5.2	Πλαστικά.....	51
3.6	Μεταλλική διάβρωση .....	55
3.6.1	Γαλβανική διάβρωση (Galvanic corrosion) .....	56
3.6.2	Ηλεκτρολυτική διάβρωση ( <i>Electrolytic corrosion</i> ).....	56
3.7	Έλεγχος της διάβρωσης .....	57
4.	Δοχεία πίεσης και κάνιστρα.....	59
4.1	Πίεση, ατμοσφαιρική πίεση & διαφορικό πίεσης.....	59
4.1.1	Υπολογισμός υδροστατικής πίεσης κάτω από το νερό .....	61
4.1.2	Σχετιζόμενες πιέσεις σε υποβρύχια αντικείμενα .....	63
4.2	Βασικές αρχές για το σχεδιασμό δοχείων πίεσης.....	64
4.2.1	Μέγεθος.....	64
4.2.2	Φόρμα.....	64

4.3	Κάνιστρα .....	66
4.3.1	Κάνιστρα και εναλλακτικές.....	66
4.4	Ανοίγματα στεγανότητας .....	67
4.4.1	Δαχτυλίδια .....	67
4.4.2	Διεισδυτές.....	68
4.4.3	Διαχωριστικό-διεισδυτικό διαφράγμα.....	69
4.4.4	Καταπακτές.....	70
4.4.5	Παράθυρα .....	70
5.	Σχεδιασμός υποβρύχιου οχήματος .....	72
5.1	Brief.....	73
5.2	Προσδιορισμός καθηκόντων .....	74
5.3	Καθορισμός προδιαγραφών.....	74
6.	Σχεδιασμός .....	84
6.1	Ιδεασμός .....	84
6.2	Αξιολόγηση ιδεών.....	85
6.3	Τελική επιλογή.....	86
6.4	Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις .....	88
6.5	Τεχνικά σχέδια .....	91
6.6	Επιλογή υλικών και αιτιολόγηση .....	92
6.6.1	Μεθοδολογία επιλογής υλικού .....	93
6.7	Αναλύσεις .....	95
6.7.1	Μηχανική ανάλυση .....	95
6.7.2	Θερμική ανάλυση .....	98
6.7.3	Θέση οχήματος .....	101
7.	Αποσυναρμολόγηση & αειφορία .....	106
7.1	Βήματα αποσυναρμολόγησης υποβρύχιου οχήματος.....	106
7.2	Προσέγγιση περιβαλλοντικού αποτυπώματος.....	110
8.	Συμπεράσματα .....	112
9.	Αναφορές .....	113
9.1	Διαδικτυακές πηγές .....	113

9.2 Πηγές εικόνων.....	113
9.3 Πηγές πινάκων .....	114
9.4 Βιβλιογραφία.....	115

## Περιεχόμενα εικόνων

---

Εικόνα 1: Ενδεικτικό περιβάλλον χρήσης ενός τηλεκατευθυνόμενου οχήματος (ROV) .....	13
Εικόνα 2: Ενδεικτικά συνδεδεμένα ελεύθερης κολύμβησης ρομπότ .....	14
Εικόνα 3: Ενδεικτικά κάτω ανίχνευσης ρομπότ .....	14
Εικόνα 4: Ενδεικτικό διαθρωπικό εξάρτημα ρομπότ .....	15
Εικόνα 5: Ενδεικτικά αυτόνομα υποβρύχια οχήματα .....	16
Εικόνα 6: Η κίνηση ενός ανεμόπτερου (Glider AUV) & ενδεικτικό σχήμα ρομπότ .....	17
Εικόνα 7: Το υβριδικό τηλεκατευθυνόμενο όχημα Nereus .....	17
Εικόνα 8: Design spiral.....	21
Εικόνα 9: Θαλασσινό αλάτι .....	23
Εικόνα 10: Πυκνότητα νερού .....	26
Εικόνα 11: Αναπαράσταση ειδών πλευστότητας .....	29
Εικόνα 12: Η δύναμη πλευστότητας προκαλείται από την υψηλότερη πίεση .....	30
Εικόνα 13: Σύγκριση συμπίεστος .....	31
Εικόνα 14: Γιγάντια υποβρύχια κύμματα άμμου γέφυρας του Σαν Φρανσίσκο (γεωλογική έρευνα υποβρύχιας χαρτογράφησης του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας).....	33
Εικόνα 15: Διείσδυση φωτός ανάλογα με το βάθος .....	34
Εικόνα 16: Αποτέλεσμα αντανάκλασης .....	36
Εικόνα 17: Η θερμική κίνηση και τα μεγάλα υποβρύχια ρεύματα .....	37
Εικόνα 18: Παγκόσμια κυκλοφορία ρευμάτων (NOAA).....	38
Εικόνα 19: Μετρώντας το ύψος και το μήκος των κυμάτων .....	39
Εικόνα 20: Σχηματισμός κυμάτων .....	39
Εικόνα 21: Ενδεικτικό πρότυπο αλλαγής αλμυρότητας μέσα στο νερό .....	40
Εικόνα 22: Δομικά υποσυστήματα.....	42
Εικόνα 23: Τάση & πίεση .....	45
Εικόνα 24: Δυνατοί & ελαφριοί δοκοί.....	46
Εικόνα 25: Σχήμα ψαριών .....	47
Εικόνα 26: Ναυτικός ορείχαλκος (Naval brass) .....	50
Εικόνα 27: Απεικόνιση ενός σταδίου της διαδικασίας crazing .....	52
Εικόνα 28: Αποτέλεσμα διάβρωσης .....	55
Εικόνα 29: Παράδειγμα προστατευτικής μπογιάς .....	57
Εικόνα 30: Αποτέλεσμα μείωσης εσωτερικής πίεσης .....	60
Εικόνα 31: Πηγές υδροστατικής πίεσης.....	61
Εικόνα 32: Η πίεση ανάλογα με το βάθος.....	62
Εικόνα 33: Δύναμη & επιφάνειες .....	63
Εικόνα 34: Πίεση & σχήματα .....	65
Εικόνα 35: Ο κύλινδρος με δυο ημισφαίρια αυξάνει τον εσωτερικό χώρο και την αντίσταση του στην πίεση .....	65
Εικόνα 36: Τοποθέτηση δαχτυλιδιού (όψη σε τομή) .....	67
Εικόνα 37: Δαχτυλίδια (O-rings) τοποθετημένα στις εσοχές του καλύμματος (endcap).....	68

Εικόνα 38: Διεισδυτής (bulkhead penetrator).....	69
Εικόνα 39: Ενδεικτική καταπακτή (hatch) .....	70
Εικόνα 40: Ενδεικτικό παράθυρο κωνικού σχήματος για το υποβρύχιο Shinkai 6500.....	71
Εικόνα 41: Τύποι παραθύρων .....	71
Εικόνα 42: Πρώτη φάση σχεδιασμού υποβρύχιου οχήματος.....	72
Εικόνα 43: Προσχέδια φόρμας .....	84
Εικόνα 44: Τρεις βασικές ιδέες οχημάτων .....	85
Εικόνα 45: Τελικά προσχέδια εξωτερικών όψεων.....	86
Εικόνα 46: Προσχέδια εξωτερικών όψεων κανίστρου.....	87
Εικόνα 47: Προσχέδια πλάγιας όψης & κύριας εσωτερικής διάταξης κανίστρου .....	87
Εικόνα 48: Απεικόνιση ορισμένων συστημάτων από Creo Parametric.....	88
Εικόνα 49: Απεικόνιση μερικών βασικών όψεων οχήματος .....	88
Εικόνα 50: Απεικόνιση μερικών όψεων & λεπτομερειών οχήματος .....	89
Εικόνα 51: Απεικόνιση μερικών βασικών όψεων κανίστρου .....	89
Εικόνα 52: Απεικόνιση μερικών όψεων & εξωτερικών λεπτομερειών κανίστρου.....	90
Εικόνα 53: Απεικόνιση κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (A).....	90
Εικόνα 54: Απεικόνιση κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (B) .....	91
Εικόνα 55: Βασικές εξωτερικές μετρήσεις οχήματος.....	91
Εικόνα 56: Βασικές μετρήσεις κανίστρου.....	92
Εικόνα 57: Κέλυφος σε απλοποιημένη μορφή.....	93
Εικόνα 58: Διάγραμμα επιλογής υλικού.....	94
Εικόνα 59: Αναπαράσταση φορτίων στο κέλυφος .....	95
Εικόνα 60: Ανάλυση μέγιστης διατμητικής τάσης.....	96
Εικόνα 61: Σημείο μέγιστης διατμητικής τάσης .....	96
Εικόνα 62: Σημείο μέγιστης διατμητικής τάσης μετά από παρέμβαση.....	97
Εικόνα 63: Ανάλυση μετατόπισης.....	97
Εικόνα 64: Απλή αναπαράσταση εσωτερικού κανίστρου.....	99
Εικόνα 65: Αναπαράσταση θερμικών φορτίων .....	100
Εικόνα 66: Ανάλυση εσωτερικής θερμοκρασίας .....	100
Εικόνα 67: Κέντρο βάρους, κέντρο πλευστότητας & απόσταση σημείων.....	102
Εικόνα 68: Θέση ισορροπίας στην επιφάνεια του νερού.....	103
Εικόνα 69: Τοποθέτηση στατικού συστήματος ισορροπίας .....	104
Εικόνα 70: Θέση ισορροπίας & προσανατολισμός μετά την ένταξη βαριδίων.....	104
Εικόνα 71: Ασκούμενες δυνάμεις στο όχημα όταν είναι εν κινήσει.....	105
Εικόνα 72: Αναπαράσταση 1ου βήματος.....	106
Εικόνα 73: Αναπαράσταση 2ου βήματος.....	107
Εικόνα 74: Αναπαράσταση 3ου βήματος.....	107
Εικόνα 75: Αναπαράσταση 4ου βήματος.....	107
Εικόνα 76: Αναπαράσταση 5ου βήματος.....	108
Εικόνα 77: Αναπαράσταση 6ου βήματος.....	108
Εικόνα 78: Αναπαράσταση 7ου βήματος.....	108
Εικόνα 79: Αναπαράσταση συστήματος προπέλας.....	109
Εικόνα 80: Αναπαράσταση επιμέρους στοιχείων.....	109
Εικόνα 81: Ενδεικτική λίστα κύριων παραγόντων .....	110

## Περιεχόμενα πινάκων

---

Πίνακας 1: Ιεράρχηση συστημάτων που συνήθως βρίσκονται σε ένα απλό ρομπότ (ROV). 19	19
Πίνακας 2: Πυκνότητα και ειδική βαρύτητα διάφορων στοιχείων & υλικών ..... 27	27
Πίνακας 3: Ιδιότητες υλικών (μερικών μετάλλων & πλαστικών) για κατασκευή δομών υποβρύχιων οχημάτων ..... 53	53
Πίνακας 4: Δομικοί ρόλοι ορισμένων υλικών στον υποβρύχιο σχεδιασμό..... 54	54
Πίνακας 5: Συμβατότητα μεταξύ ορισμένων τύπων μετάλλων ..... 58	58
Πίνακας 6: Σύγκριση απόλυτης και μανομετρικής πίεσης ..... 60	60
Πίνακας 7: Πληροφορίες για κάνιστρα PREVCO με βιδωτά καλύμματα (TC) ..... 67	67
Πίνακας 8: Εισαχθέντα δεδομένα μηχανικής ανάλυσης ..... 95	95
Πίνακας 9: Εισαχθέντα δεδομένα θερμικής ανάλυσης ..... 95	95
Πίνακας 10: Ενδεικτικά εισαγόμενα δεδομένα ..... 111	111
Πίνακας 11: Ενδεικτικοί συντελεστές εκπομπών CO <sub>2</sub> ανά μονάδα μέτρησης..... 111	111
Πίνακας 12: Συνολική ποσότητα εκπομπής ρύπων (CO <sub>2</sub> )..... 111	111

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία, με τίτλο «**Σχεδιασμός ενός υποβρύχιου οχήματος (ROV), για την εξερεύνηση και καταγραφή ενός υποθαλάσσιου περιβάλλοντος**» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών στο Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, του Πανεπιστημίου Αιγαίου, με έδρα τη Σύρο. Εντάσσεται δε, στον τομέα των υποβρύχιων ρομπότ, η σχεδίαση των οποίων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την αποστολή, που πρέπει να εκτελέσουν. Οι σχεδιαστικές ομάδες εστιάζουν κυρίως, στην δημιουργία και κατασκευή οχημάτων για την επίτευξη της αποστολής, χωρίς να επικεντρώνονται τόσο, στο τι θα απογίνουν μετά το πέρας αυτής, στοιχείο το οποίο μεταξύ άλλων διαπραγματεύεται η παρούσα εργασία.



---

## Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή της σχεδίασης για αποσυναρμολόγηση (*design for disassembly*), με στόχο την ανάπτυξη ενός υποβρύχιου οχήματος. Η σχεδιαστική διαδικασία εφαρμόστηκε σύμφωνα με την μεθοδολογία της σπείρας (*design spiral*), η οποία ειδικεύεται για την ανάπτυξη περίπλοκων συστημάτων.

Συγκεκριμένα, έγινε μελέτη των παραμέτρων του περιβάλλοντος του νερού και παρουσιάστηκαν τα σχεδιαστικά βήματα που απαιτούνται για την σχεδίαση ενός υποβρύχιου οχήματος. Για το σκοπό αυτό, παρουσιάζονται οι αναγκαίες αναλύσεις του τελικού οχήματος και το πλάνο αποσυναρμολόγησης, αυτού.

Η σχεδιαστική διαδικασία αυτή, μπορεί να γίνει οδηγός, για την σχεδίαση σύνθετων προϊόντων, αλλά και για την δημιουργία ενός πλάνου αποσύνδεσης και αξιοποίησης τους, μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους.

## Abstract

The purpose of this thesis was to apply the design for disassembly in order to develop an underwater vehicle. The design process was implemented according to the design spiral methodology, which specializes in the development of complex systems.

Specifically, the parameters of the water environment were studied and the design steps, which required for the design of an underwater vehicle, were presented. Furthermore, were presented the necessary analysis of the final vehicle and its dismantling plan.

This design process can be used a guide for designing complex products, but also for creating a plan to disassemble and exploit them, after the end of their life cycle.

# 1. Εισαγωγή

---

## 1.1 Αντικείμενο διπλωματικής

Ο σχεδιασμός ενός υποβρύχιου οχήματος για την εξερεύνηση του βυθού και συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν α) όλες οι παράμετροι σχεδιασμού, β) τον σχεδιασμό των βασικών συστημάτων του, γ) την διάταξη αυτών, στο εσωτερικό του, δ) οι απαραίτητες αναλύσεις (αντοχής, ανάπτυξη θερμοκρασίας και θέση ισορροπίας) του επιλεγμένου οχήματος και ε) ένα πλάνο συναρμολόγησης – αποσυναρμολόγησης του, για την περίπτωση συντήρησης ή απόσυρσης του.

## 1.2 Δομή διπλωματικής

Το κεφάλαιο 1, της εισαγωγής παρουσιάζει το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας, καθώς και ορισμένες βασικές έννοιες του κλάδου της ρομποτικής (υπόκεφάλαιο 1.3), τα διάφορα είδη υποβρύχιων οχημάτων (υπόκεφάλαιο 1.4). Παράλληλα, στο υπόκεφάλαιο 1.5 καταγράφονται τα υποσυστήματα ενός απλού υποβρύχιου οχήματος (ROV), ενώ το υπόκεφάλαιο 1.6 παρουσιάζει και εξηγεί την μεθοδολογία σχεδίασης σπείρα (*design spiral*). Στο Κεφάλαιο 2, της έρευνας, εντοπίζονται και αναλύονται όλοι οι παράγοντες ενός υποβρύχιου περιβάλλοντος. Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει το γενικότερο πλαίσιο της δομής, ενός υποβρύχιου οχήματος και ό,τι αυτή περιλαμβάνει, καθώς και τα συνηθέστερα δομικά υλικά. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται και αναλύονται τα δοχεία πίεσης και τα κάνιστρα, καθώς οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν, για τον βέλτιστο σχεδιασμό τους. Το Κεφάλαιο 5 παρουσιάζει τα αρχικά στάδια της σχεδίασης ενός μικρού υποβρύχιου οχήματος (ROV). Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του υποβρύχιου οχήματος, η παρουσίαση της τελικής πρότασης, μαζί με τα τεχνικά σχέδια, την επιλογή των υλικών του και τις απαραίτητες αναλύσεις του. Το Κεφάλαιο 7 περιγράφει και παρουσιάζει τα βήματα αποσυναρμολόγησης του οχήματος και προσδιορίζει, σε ένα βαθμό, το αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα, για την παραγωγή ενός τέτοιου ρομπότ. Στο Κεφάλαιο 8 περιγράφονται τα συμπεράσματα, που προκλήθηκαν από την εφαρμογή της σχεδιαστικής διαδικασίας, για το υποβρύχιο όχημα. Τέλος, στο Κεφάλαιο 9 αναγράφονται όλες οι πηγές και βιβλιογραφικές αναφορές, που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή αυτής της εργασίας.

## 1.3 Βασικές έννοιες

### Ορισμός ρομπότ

Ρομπότ ονομάζεται οποιαδήποτε μηχανική συσκευή, που μπορεί να υποκαθιστά τον άνθρωπο σε διάφορες εργασίες (*Wikipedia*). Ένα ρομπότ μπορεί να δράσει κάτω από τον απευθείας έλεγχο ενός ανθρώπου ή αυτόνομα κάτω από τον έλεγχο ενός προγραμματισμένου υπολογιστή.

## Βαθμός Ελευθερίας (Degree Of Freedom – DOF)

Ο βαθμός ελευθερίας δηλώνει, το πόσες κινήσεις μπορεί να κάνει ένα ρομπότ στο χώρο. Κάθε ανεξάρτητα κινούμενη άρθρωση (ή τμήμα του) προσθέτει ένα βαθμό ελευθερίας στο ρομπότ.

*Ορισμός:* Ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων, που προσδιορίζουν τη θέση ενός σώματος στο χώρο, ονομάζεται βαθμός ελευθερίας. Δηλαδή, το σύνολο των ανεξαρτήτων μεταβλητών, με βάση τις οποίες περιγράφεται πλήρως η θέση των υλικών σημείων του συστήματος, αποτελεί τους βαθμούς ελευθερίας, αυτού.

Για την περιγραφή, της συγκεκριμένης θέσης ενός στερεού σώματος στο χώρο, απαιτούνται έξι μεταβλητές, τρεις για την θέση και τρεις για τον προσανατολισμό του. Άρα, σύμφωνα και με τον παραπάνω ορισμό, για να μπορεί ένα ρομπότ να κινηθεί οπουδήποτε στο χώρο, με οποιονδήποτε προσανατολισμό, πρέπει να έχει τουλάχιστον έξι βαθμούς ελευθερίας.

## Οργάνωση και Λειτουργία

Τα στοιχεία που αποτελούν ένα ρομποτικό σύστημα είναι το *μηχανικό μέρος* και ο *ελεγκτής*. Το *μηχανικό μέρος* σε ένα ρομπότ είναι ο βραχίονας. Ο βραχίονας λοιπόν, αποτελείται από:

- i. **Αρθρώσεις:** Οι αρθρώσεις είναι είτε γραμμικές που επιτρέπουν την κίνηση κατά μήκος ενός άξονα, είτε περιστροφικές που επιτρέπουν την κίνηση γύρω από τον άξονα τους.
- ii. **Κινητήρες:** Κάθε άρθρωση χρειάζεται και από ένα κινητήρα. Ο κινητήρας μπορεί να είναι ηλεκτρικός, υδραυλικός, κ.α.
- iii. **Αισθητήρες:** Για να ελέγχουμε τη θέση του ρομπότ χρειαζόμαστε πληροφορίες για την θέση και την ταχύτητα της κάθε άρθρωσης. Έτσι, χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αισθητηρίων.
- iv. **Τελικό στοιχείο δράσης:** Όλοι οι βραχίονες έχουν προσαρμοσμένο στο άκρο τους ένα μηχανικό εξάρτημα κατάλληλα σχεδιασμένο και επιλεγμένο, προκειμένου να εκτελούν την εργασία για την οποία έχουν προγραμματιστεί. Αυτό μπορεί να είναι μια αρπαγή για τη μεταφορά αντικειμένων, ένας συγκολλητής αντίστασης ή εργαλεία για διάφορες βιομηχανικές κατεργασίες, όπως λείανση, κοπή, τρύπημα, βαφή, συναρμολόγηση, κλπ.

Ο *ελεγκτής* είναι η μονάδα που δίνει την δυνατότητα του προγραμματισμού του ρομπότ και ελέγχει την κίνηση και την εκτέλεση της εργασίας του. Αυτός, αποτελείται από:

- i. **Ηλεκτρονικά μέρη:** Αυτά είναι συνήθως ένας υπολογιστής, όπου αποθηκεύεται το πρόγραμμα που θα εκτελεστεί. Τα ηλεκτρονικά επικοινωνίας, που χρησιμεύουν στην επικοινωνία του ελεγκτή, με το μηχανικό μέρος του ρομπότ και το εξωτερικό

περιβάλλον. Και οι ενισχυτές ισχύος, που ενισχύουν τα σήματα ελέγχου στο επίπεδο που απαιτείται, ώστε οι κινητήρες να κινούν τις αρθρώσεις.

- ii. Λογισμικό: Κυρίως το λογισμικό ευθύνεται για τη δημιουργία των κατάλληλων σημάτων ελέγχου, σύμφωνα με κάποιον αλγόριθμο, παίρνοντας υπόψη του το φορτίο, την ταχύτητα, την θέση του ρομπότ και άλλες μεταβλητές. Επίσης, στο λογισμικό περιλαμβάνεται και κάποιο βοηθητικό πρόγραμμα που επιτρέπει τον προγραμματισμό του ρομπότ σε μία γλώσσα υψηλού επιπέδου. Επιπλέον, φροντίζει για την παρακολούθηση της λειτουργίας του και την ενημέρωση του χρήστη.

## 1.4 Είδη υποβρύχιων οχημάτων

Τα υποβρύχια οχήματα διακρίνονται σε δυο κύριες κατηγορίες, τα επανδρωμένα οχήματα (*Manned Vehicles*) και τα μη επανδρωμένα οχήματα (*Unmanned Vehicles*). Στην πρώτη κατηγορία, τα υποβρύχια οχήματα μεταφέρουν ανθρώπινο πλήρωμα ή επιβάτες. Σε όλα αυτά τα επανδρωμένα υποβρύχια οχήματα οι ανθρώπινες ζωές βρίσκονται σε κίνδυνο, για αυτό ο σχεδιασμός και η κατασκευή τους πρέπει να είναι εξαιρετικά αξιόπιστοι. Επιπλέον, τέτοιο είδους οχήματα είναι εξοπλισμένα με εκτεταμένα συστήματα ασφαλείας, τα οποία υπόκεινται σε αυστηρούς περιοδικούς ελέγχους και τακτική συντήρηση, από ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό.

Ως συνέπεια των παραπάνω, δημιουργείται η σημαντική αύξηση του κόστους κατασκευής, λειτουργίας και διατήρησης, σε σχέση με τα μη επανδρωμένα υποβρύχια οχήματα.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα εξής:

- Υποβρύχια (Στρατού, Ερευνητικά, Τουριστικά)
- Ατμοσφαιρικές καταδυτικές στολές

Ενώ, η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα εξής:

- Τηλεκατευθυνόμενα οχήματα (*ROVs*)
- Αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (*AUVs*)
- Υβριδικά οχήματα (*Hybrid Vehicles*)

*ROVs*: τα τηλεκατευθυνόμενα οχήματα (*Remotely Operated Vehicles*) είναι ρομπότ που επιτρέπουν στον διαχειριστή τους να τα καθοδηγεί από μια ασφαλή, μη υγρή και άνετη θέση, (συνήθως πάνω από ένα πλοίο/σκάφος ή μια πλατφόρμα στη επιφάνεια του νερού).

Ο χειριστής καθοδηγεί το ρομπότ, συνήθως, επικοινωνώντας με το όχημα μέσω ενός καλωδίου ή ιμάντα (*tether or umbilical*). Το ίδιο καλώδιο επίσης, μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια

στο ρομπότ, ενώ παράλληλα επιτρέπει δεδομένα, όπως ήχο, εικόνα, βίντεο, πληροφορία πλοήγησης και αισθητήρων, να επιστρέφουν πίσω στον πλοηγό του.

Το μέγεθος τέτοιων ρομπότ μπορεί να είναι είτε μια μικρή μονάδα, που να μπορεί να μετακινηθεί εύκολα από ένα άτομο, είτε μια μεγάλη μονάδα μεγέθους ενός μικρού γκαράζ, που να ζυγίζει μερικούς τόνους. Τα μικρά, ως προς το μέγεθος οχήματα, συνήθως χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς, εκπαιδευτικούς σκοπούς ή για την επιθεώρηση/παρατήρηση δύσκολων και επικίνδυνων υγρών περιβαλλόντων, όπως είναι το εσωτερικό των αγωγών και των φραγμάτων ή το εσωτερικό, γεμάτο από νερό, ενός πυρηνικού αντιδραστήρα, (βλ. Εικόνα 1).



**Εικόνα 1: Ενδεικτικό περιβάλλον χρήσης ενός τηλεκατευθυνόμενου οχήματος (ROV)**

Τα ρομπότ αυτά, κατηγοριοποιούνται σε τρεις υποκατηγορίες:

- Συνδεδεμένα ελεύθερης κολύμβησης (*Tethered free-swimming ROVs*)
- Κάτω ανίχνευσης (*Bottom-crawling ROVs*)
- Διαρθρωτικά εξαρτημένα (*Structurally reliant ROVs*)

Τα συνδεδεμένα ελεύθερης κολύμβησης (*Tethered free-swimming ROVs*), περιλαμβάνουν την πλειοψηφία των τηλεκατευθυνόμενων υποβρύχιων οχημάτων, (βλ. Εικόνα 2). Βρίσκονται σε μια ευρύ ποικιλία μεγεθών και δυνατοτήτων κατάδυσης, αλλά τα περισσότερα μοιράζονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ Είναι εξοπλισμένα με τουλάχιστον μια κάμερα, ώστε ο χειριστής να μπορεί να βλέπει που βρίσκεται το ρομπότ και προς τα που πηγαίνει.
- ✓ Είναι αρκετά ευκίνητα, με δυνατότητα κίνησης προς τα πάνω (ανάδυση), προς τα κάτω (κατάδυση), προς τα αριστερά, προς τα δεξιά, προς τα εμπρός και προς τα πίσω.

- ✓ Παρόλο που μερικά λειτουργούν μέσω μιας εσωτερικής μπαταρίας. Η πλειοψηφία αυτών, λειτουργεί μέσω ενός καλωδίου/ιμάντα (*tether/umbilical*).
- ✓ Τα περισσότερα συνδεδεμένα ρομπότ ελεύθερης κολύμβησης έχουν προσαρμοσμένο βάρος, ώστε ίσα-ίσα να επιπλέουν. Για την κατάδυση, χρησιμοποιούν προωθητές (*thrusters*).
- ✓ Εκτός από τα μικρά, σε μέγεθος οχήματα, υπάρχουν και τα βαριά και περίπλοκα, που απαιτούν μια κονσόλα ελέγχου (να βρίσκεται στην επιφάνεια), μια γεννήτρια για την λειτουργία και έναν γερανό για την ανάκτηση του ρομπότ από το υγρό περιβάλλον.



**Εικόνα 2: Ενδεικτικά συνδεδεμένα ελεύθερης κολύμβησης ρομπότ**

Τα κάτω ανίχνευσης (*Bottom crawling ROVs*), είναι σχεδιασμένα να κινούνται στον πάτο ή στο εσωτερικό αγωγών, χρησιμοποιώντας ερπύστριες, πόδια ή βεντούζες, (βλ. Εικόνα 3) Και, κάνοντας χρήση κάμερας και διάφορων αισθητήρων, να ανιχνεύουν πιθανές διαβρώσεις ή ζημιές στο εσωτερικό σωλήνων, που βρίσκονται σε δύσκολο και επικίνδυνο περιβάλλον.

Τα περισσότερα ρομπότ, μεγάλου μεγέθους αυτής της υποκατηγορίας, χρησιμοποιούνται για εμπορική ή επαγγελματική χρήση, κυρίως, για την μεταφορά και τοποθέτηση μεγάλων καλωδίων, είτε στο πάτο της θάλασσας, είτε στην στεριά (ανώμαλης επιφάνειας).



**Εικόνα 3: Ενδεικτικά κάτω ανίχνευσης ρομπότ**

Τέλος, τα διαρθρωτικά εξαρτημένα (*Structurally reliant ROVs*), είναι συνδεδεμένα σε διάφορους τύπους υποβρύχιων κατασκευών, όπως σε πυλώνες που υποστηρίζουν μια εξέδρα άντλησης πετρελαίου, (βλ. Εικόνα 4). Χρησιμοποιούνται κυρίως, για την καθαριότητα

ή και την επιθεώρηση των υποβρύχιων δομών. Τα περισσότερα δεν διαθέτουν προωθητές, αλλά κινούνται με τροχαλίες, καλώδια ή διάφορους υδραυλικούς μηχανισμούς<sup>1</sup>.



**Εικόνα 4: Ενδεικτικό διαθρωτικό εξάρτημα ρομπότ**

AUVs: τα αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (*Autonomous Underwater Vehicles*) είναι πλήρως αυτόνομα και κατά συνέπεια δεν έχουν την ανάγκη καλωδίου ή ιμάντα, (βλ. Εικόνα 5). Για τις ανάγκες τροφοδοσίας - ενέργειας, χρησιμοποιούνται ειδικές μπαταρίες, οι οποίες όμως θέτουν και περιορισμούς, στη λειτουργία των οχημάτων.

Είναι προγραμματισμένα να εκτελούν συγκεκριμένες και προκαθορισμένες αποστολές. Οι αισθητήρες που περιλαμβάνονται στο όχημα είναι συνδεδεμένοι με ένα υπολογιστή, στον οποίο στέλνονται τα δεδομένα πλοήγησης του ρομπότ, όπως το βάθος, την ταχύτητα, την κατεύθυνση και τις πιθανές τοποθεσίες εμποδίων. Κατά την αποστολή τους, μπορεί να αναδύονται στην επιφάνεια, περιοδικά, ώστε να ανακτούν ραδιοεπικοινωνία με το πλοίο, τον δορυφόρο και γενικά την βάση, που δίνει αναφορά.

Παράλληλα, μπορούν να επιστρέφουν στον υποβρύχιο σταθμό για την επαναφόρτιση τους ή την ανταλλαγή δεδομένων. Έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε πολύ απομονωμένα περιβάλλοντα, όπως κάτω από μια επιφάνεια πάγου.

Από την άλλη, AUVs δεν μπορούν να αναμεταδώσουν ζωντανές εικόνες ή βίντεο, εξαιτίας της συχνής και μεγάλης αναμετάδοσης δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ επίσης δεν μπορούν εύκολα να δεχθούν περίπλοκες εντολές, καθώς βρίσκονται σε κατάδυση. Συνήθως, τα συναντάμε σε σχήμα τορπίλης (βλ. Εικόνα 5).

---

<sup>1</sup> Μερικοί ειδικοί, δεν συμπεριλαμβάνουν αυτήν την υποκατηγορία ως ROV, επειδή δεν είναι ελεύθερα να κινηθούν στο νερό ή δεν κινούνται γύρω από κάποια αυτόνομη κατασκευή.



**Εικόνα 5: Ενδεικτικά αυτόνομα υποβρύχια οχήματα**

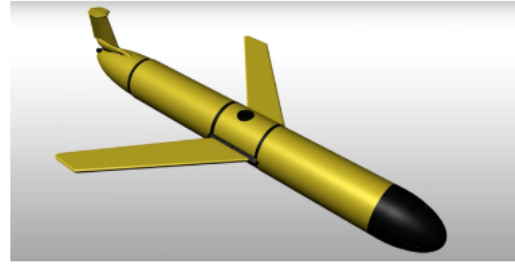
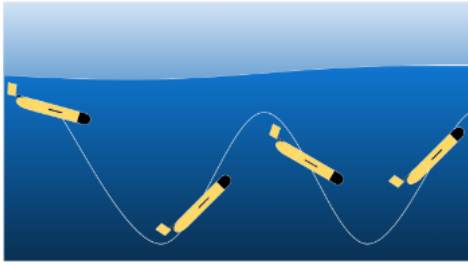
Τέλος, τα AUVs διαθέτουν και μια υποκατηγορία αυτόνομων οχημάτων που ονομάζονται ανεμόπτερα (*Gliders*). Αυτά τα υποβρύχια ρομπότ, αποτελούν μια επαναστατική τεχνολογία για την επιστήμη της ωκεανογραφίας.

Ένα τυπικό τέτοιο όχημα, μοιάζει με μια μικρή τορπίλη έχοντας δυο μικρά φτερά και μια ουρά από καουτσούκ. Το ξεχωριστό, σε αυτά τα ρομπότ είναι ότι δεν διαθέτουν προπέλα ή κάποιο άλλο είδος προωθητή. Όταν ξεκινήσει το ανεμόπτερο είναι “βαρύτερο” από το νερό και βυθίζεται, έπειτα κινείται αργά προς τα εμπρός, όπως ένα ανεμόπτερο (είδος αεροπλάνου) που κινείται προς τα εμπρός, καθώς αιωρείται στον αέρα. Με αυτό τον τρόπο τα ανεμόπτερα (*Glider AUV*) μπορούν να καλύψουν μεγάλες οριζόντιες αποστάσεις, χωρίς να χρησιμοποιούν είδος κινητήρα, για να κινηθούν, (βλ. Εικόνα 6).

Όταν χρειαστεί να αναδυθεί, υπάρχει ένας εσωτερικό μοτέρ το οποίο ανοίγει σιγά-σιγά κινώντας ένα εσωτερικό έμβολο, το οποίο με την σειρά του αποβάλλει το νερό που υπάρχει στην εσωτερική καμπίνα του οχήματος. Έτσι, το ρομπότ μειώνει αποτελεσματικά το βάρος του και καταλήγει να επιπλέει. Η αντίθετη διαδικασία του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την είσοδο του νερού και κατά συνέπεια την κατάδυση του ρομπότ.

Η συνεχής διαδικασία εισόδου – εξόδου νερού από την καμπίνα, δίνει τη δυνατότητα στο όχημα να κινείται με έναν ανορθόδοξο τρόπο (πάνω – κάτω). Μόλις, αναδυθεί μεταδίδει την τοποθεσία του και ένα ειδικό πλήρωμα πηγαίνει και ανακτά το ρομπότ. Εν το μεταξύ, όλα τα δεδομένα της αποστολής μεταδίδονται στον δορυφόρο, που επικοινωνεί το ρομπότ, ώστε να μπορούν να ανακτηθούν από την ομάδα έρευνας, σε περίπτωση που δεν μπορέσει να ανακτηθεί το ίδιο το ρομπότ.

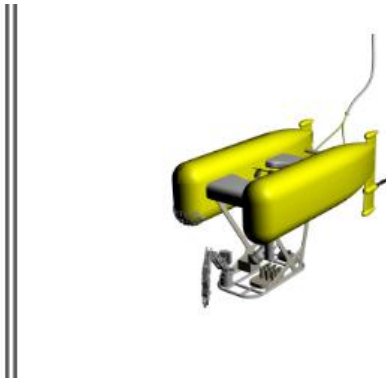
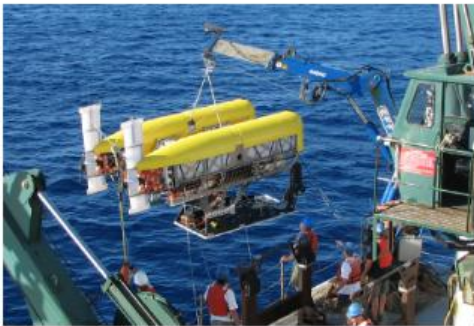




**Εικόνα 6: Η κίνηση ενός ανεμόπτερου (Glider AUV) & ενδεικτικό σχήμα ρομπότ**

Τα υβριδικά υποβρύχια οχήματα (*Hybrid underwater vehicles ROVs*), είναι το τελευταίο είδος ρομπότ, της δεύτερης κατηγορίας, (βλ. Εικόνα 7). Αυτά, συνδυάζουν δυο ή περισσότερα χαρακτηριστικά.

Για παράδειγμα, ορισμένα οχήματα μπορούν να αντλήσουν ενέργεια, είτε από έναν βενζινοκινητήρα, είτε από μια ηλεκτρική μπαταρία, προκειμένου να κινηθούν. Στην περίπτωση των μη επανδρωμένων υποβρύχιων οχημάτων, αναφερόμαστε στα ρομπότ που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των ROVs και των AUVs με διάφορους τρόπους, ώστε να προσφέρουν το καλύτερο από τις δύο κατηγορίες. Αυτά συνήθως, ονομάζονται υβριδικά τηλεκατευθυνόμενα οχήματα (*Hybrid Remotely Operated Vehicles – HROVs*).



**Εικόνα 7: Το υβριδικό τηλεκατευθυνόμενο όχημα Nereus**

Παράλληλα, υπάρχουν αρκετές διαφορετικές ερμηνείες για το τι σημαίνει ο όρος “υβριδικό” στον υποβρύχιο κόσμο. Ένα παράδειγμα είναι το όχημα – ρομπότ, που μπορεί να εναλλαχθεί από ένα ROV σε ένα AUV. Δηλαδή, μπορεί το ρομπότ να αποτελεί ένα AUV, αλλά να δίνει τη δυνατότητα της απευθείας επικοινωνίας – ελέγχου από τον χειριστή, μέσω ενός ευέλικτου, οπτικών ινών, καλώδιο.

Μία άλλη ερμηνεία του όρου υβριδικού, αναφέρετε στα ROVs, AUVs και σε άλλες υποβρύχies συσκευές ή ρομπότ, όπου όλα αυτά αποτελούν κομμάτι ενός μεγαλύτερου συστήματος και λειτουργούν συνεργατικά και συγχρόνως μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα αυτού είναι το

υβριδικό AUV/ROV σύστημα κολυμβητή (*Swimmer*), της εταιρείας Cybernetix. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί ένα AUV για να μεταφέρει ένα ROV από μια πλατφόρμα πετρελαίου σε έναν υποβρύχιο σταθμό, όπου και πρέπει να επιτελέσει την προγραμματισμένη εργασία του, σε συνεργασία με τον χειριστή του.

## 1.5 Υποσυστήματα ενός υποβρύχιου οχήματος

Γενικά, ένα υποβρύχιο όχημα μπορεί διαθέτει χιλιάδες εξαρτήματα, που να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με περίπλοκους τρόπους. Είναι λογικό λοιπόν, ένας ανθρώπινος νους να μην μπορεί να σκεφτεί, αποτελεσματικά, για όλα τα μέρη ενός τέτοιου συστήματος, ταυτόχρονα.

Έτσι, είναι σημαντικό δοθεί βάση στην απλοποίηση και οργάνωση της πληροφορίας, όλων αυτών των μηχανημάτων, ώστε να μην παραβληθούν λεπτομέρειες, στην προσπάθεια οραματισμού του συστήματος, ως μια οντότητα. Ένας λογικός και αποτελεσματικός τρόπος επίτευξης κάτι τέτοιου είναι ο ιεραρχικός χωρισμός του συστήματος, σε υποσυστήματα.

Αρχικά, θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι ένα, οποιοδήποτε, σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο μερών (ή και διαδικασίες), που λειτουργούν μαζί (ή υπάρχουν) για να επιτελέσουν έναν σκοπό. Κατά συνέπεια, ένα υποσύστημα αποτελεί ένα σύστημα, που λειτουργεί ως ένα κομμάτι (από το σύνολο των κομματιών) μέσα σε ένα άλλο σύστημα. Συνεπώς, ένα υπέρ σύστημα αποτελείται από άλλα συστήματα και αυτά από άλλα υποσυστήματα και ου το κάθε εξής<sup>2</sup>.

Έτσι λοιπόν, κατανοώντας την έννοια του συστήματος, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν, τουλάχιστον, τρία κοινά χαρακτηριστικά σε όλα τα συστήματα:

- Μέρη
- Αλληλοεπιδράσεις μεταξύ των μερών
- Νέα χαρακτηριστικά ή λειτουργίες<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Ένα σύστημα για να λειτουργεί αποτελεσματικά, πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα υποσυστήματα του. Δεν υπάρχει σύστημα, που να λειτουργεί αποτελεσματικά, εάν δεν περιλαμβάνει όλα τα κομμάτια/μέρη του ή εάν κάποιο από αυτά δεν λειτουργεί, όπως προβλέπεται.

<sup>3</sup> Τα νέα χαρακτηριστικά ή λειτουργίες, προκύπτουν από τις παραπάνω αλληλοεπιδράσεις, μεταξύ των μερών, και δεν μπορούν να υπάρξουν χωρίς αυτές. Μπορούν να ονομαστούν και αναδυόμενες ιδιότητες (*emergent properties*).

Πίνακας 1: Ιεράρχηση συστημάτων που συνήθως βρίσκονται σε ένα απλό ρομπότ (ROV)

Σύστημα	Αναδυόμενη Ιδιότητα
Δομής/Πλαισίου	Συγκρατεί όλα τα μέρη ενός ρομπότ σε μια λειτουργική χωρική διάταξη. Μπορεί επίσης, να παρέχει κάποια προστασία από συγκρούσεις. Τέλος μπορεί, να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να μειώνει την αντίσταση του νερού.
Ισορροπίας ( <i>Ballast</i> )	Προσαρμόζει την φυσική τάση του οχήματος να επιπλέει ή να βυθίζεται.
Προώθησης	Παρέχει την δύναμη που χρειάζεται το όχημα για να κινηθεί, στο νερό.
Ενέργειας	Παρέχει την ενέργεια που χρειάζεται το όχημα για να λειτουργήσει, (το ίδιο αλλά και ο εξοπλισμός του).
Ελέγχου	Επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει τους προωθητές, τα εργαλεία, τις κάμερες, τα φώτα ή κάποιο άλλο υποσύστημα του ρομπότ.
Αισθητήρων πλοήγησης	Παρέχει στον χρήστη την πληροφορία σχετικά με την τοποθεσία και την εργασία του ρομπότ.
Φορτίου ( <i>Payload</i> )	Γενικά, αποτελεί μία αρπάγη ή κάποιο χειριστή, που μπορεί να σηκώνει αντικείμενα. Μπορεί να είναι μια ποικιλία από συστήματα ή εργαλεία, απαραίτητα για την επίτευξη της αποστολής του ρομπότ.
Καλωδίου/ιμάντα ( <i>tether/umbilical</i> )	Μεταδίδει δεδομένα και τροφοδοτεί με ενέργεια το ρομπότ.

## 1.6 Μεθοδολογία σχεδίασης

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση και επίτευξη του υπό σχεδίαση συστήματος είναι η σπείρα (*design spiral*). Η μέθοδος αυτή, μπορεί να θεωρηθεί μία από της αποτελεσματικότερες στρατηγικές για το σχεδιασμό και την ανάλυση περίπλοκων συστημάτων, όπως είναι ένα υποβρύχιο όχημα. Σε αυτή τη μέθοδο, η έρευνα και η ανάλυση κάθε συστήματος, μπορεί να αναθεωρηθεί ξανά κα ξανά, κατανοώντας, όλο και περισσότερο, τα υπό μελέτη υποσυστήματα. Δηλαδή, δίνεται η δυνατότητα της εύρεσης και έρευνας των αλληλεπιδράσεων που υπάρχουν και λειτουργούν, ανάμεσα στα συστήματα αυτά, που απαρτίζουν ένα υποβρύχιο όχημα.

Για παράδειγμα, μπορεί μια λύση για την επίτευξη μεγαλύτερης ισχύς να είναι η χρήση μεγαλύτερων προωθητών. Κάτι, που θα επηρεάσει την ισορροπία του οχήματος, αφού θα προσθέσουν μεγαλύτερο βάρος, σε αυτό. Παράλληλα, αυτή η μέθοδος λειτουργεί και σε συνδυασμό, με την ιεραρχία των συστημάτων, που αναφέρθηκε προηγουμένως<sup>4</sup>.

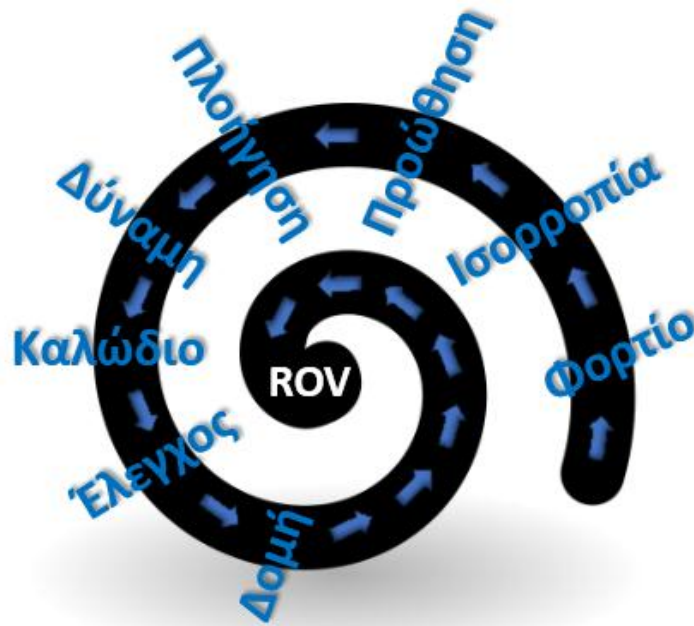
Χαρακτηριστικό, σε αυτή την μέθοδο είναι επίσης, ότι λειτουργεί σαν ένας στρόβιλος, ο οποίος στην αρχή διαθέτει ένα μεγάλο εύρος πληροφορίας, λύσεων και ιδεών. Στην συνέχεια όμως, και καθώς ο σχεδιαστής εισχωρεί στον προβληματικό χώρο, η ποικιλία αυτή, περιορίζεται.

Το αποτέλεσμα, αυτού του περιορισμού της ποικιλίας, θα είναι μια τελική πρόταση/λύση. Δηλαδή, με κάθε επιλογή ενός συστήματος, η πληροφορία για την σύνδεση του με τα υπόλοιπα συστήματα, περιορίζεται και συγκεκριμενοποιείται. Για παράδειγμα, η επιλογή χρήσης ενός προωθητή, τύπου προπέλα, ως σύστημα καθορισμού της δύναμης, περιορίζει τις διαθέσιμες επιλογές για τον έλεγχο, αυτής. Ενώ, παράλληλα συγκεκριμενοποιεί και τους τρόπους σύνδεσης της, πάνω στο όχημα.

Δηλαδή, με κάθε επιλεγμένη τεχνική λύση στο σχεδιασμό, η σπείρα κινείται και καταλήγει, να γίνεται πιο καθορισμένη, οδηγώντας σε ένα τελικό αποτέλεσμα.

---

<sup>4</sup> Η ιεραρχία είναι κρίσιμη, διότι με βάση αυτή θα αποφασίζεται σε κάθε σύγκρουση πληροφορίας/λύσης, ποια είναι σημαντικότερη για την αποτελεσματικότερη επίτευξη της αποστολής του οχήματος.



Εικόνα 8: Design spiral

Αυτό που κάνει, όμως, την μέθοδο αυτή (*design spiral*) τόσο αποτελεσματική στον σχεδιασμό περίπλοκων συστημάτων, είναι η κυκλική της φύση/χρήση. Δηλαδή, ο σχεδιαστής δεν ξεκινάει να αναλύει και να σχεδιάζει ένα σύστημα, πριν προχωρήσει στο επόμενο. Αντιθέτως, κινείται κυκλικά, επανεξετάζοντας τα συστήματα ξανά και ξανά, κατά την σχεδίαση. Κάθε στιγμή, που ολοκληρώνει έναν τέτοιο κύκλο, κατανοεί επιπρόσθετη πληροφορία, σχετικά με την εξέλιξη των συστημάτων, αυτών, στο σχεδιασμό.

Με αυτό τον τρόπο, ασφαλίζεται ένα υψηλό επίπεδο συμβατότητας μεταξύ όλων των συστημάτων του οχήματος. Δηλαδή, καθένα από τα συστήματα είναι σχεδιασμένο, έχοντας αρκετή γνώση και κατανόηση, για την ύπαρξη όλων των άλλων.

Οπότε, η μέθοδος σπείρα (*design spiral*), επιτρέπει την ανάπτυξη διαφορετικών συστημάτων, με αρκετή αναγνώριση για την ύπαρξη άλλων, ώστε η εξέλιξη του ενός, να μην εμποδίζει την εξέλιξη του άλλου<sup>5</sup>.

Ο τελικός στόχος αυτής, είναι δημιουργία ενός *concept*.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει την στοιχειώδη έρευνα του κλάδου των μη επανδρωμένων υποβρύχιων οχημάτων, επιλέγει – αναλύει την μεθοδολογία σχεδίασης και ασχολείται τόσο με την δημιουργία ενός λειτουργικού ROV, όσο και με την σχεδίαση ενός πλάνου αποσυναρμολόγησης του. Παραθέτει δε, όλα εκείνα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη γνώση, την κατανόηση και την επίτευξη του συγκεκριμένου project.

<sup>5</sup> Η μέθοδος αυτή δεν λειτουργεί αυθόρμητα. Χρειάζεται προγραμματισμό και συνεννόηση, ανάμεσα στα μέλη της ομάδας.

## 2. Έρευνα περιβάλλοντος

---

Το νερό και ο αέρας αποτελούν δυο διαφορετικές ουσίες – υποστάσεις, με διαφορετικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, εάν ένα κομμάτι ξύλο πέσει από κάποιο ύψος, το κομμάτι αυτό, θα πέσει στο έδαφος. Στην περίπτωση όμως, που το ίδιο κομμάτι ξύλου πέσει από το ίδιο ύψος στην θάλασσα, το ξύλο θα αρχίσει να επιπλέει, στην επιφάνεια του νερού.

Από το παραπάνω απλό παράδειγμα, γίνεται κατανοητό ότι οι ιδιότητες που υπάρχουν στην στεριά (αέρα), δεν ισχύουν και δεν λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο στο νερό. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα μελετηθεί το περιβάλλον της θάλασσας και οι ιδιότητες που επικρατούν σε αυτό, ώστε να σχεδιαστεί ένα όχημα που να μπορεί να λειτουργήσει κάτω από τις συνθήκες του νερού, αποτελεσματικά.

### 2.1 Οι φυσικές ιδιότητες του νερού

Οι διαφορές των ιδιοτήτων των στοιχείων αέρα και νερού, μπορούν να κατανεμηθούν στις ακόλουθες:

- Χημικές ιδιότητες, όπως είναι η αλμυρότητα
- Ηλεκτρικές ιδιότητες, όπως είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Μηχανικές ιδιότητες, όπως είναι η πυκνότητα και η πίεση
- Ακουστικές ιδιότητες
- Οπτικές ιδιότητες
- Θερμικές ιδιότητες

#### 2.1.1 Χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες νερού

Το νερό αποτελεί μια απλή, αλλά συγχρόνως μια αξιοθαύμαστη χημική ένωση. Κάθε μόριο νερού συντίθεται από ένα άτομο οξυγόνου, ομοιοπολικά συνδεδεμένο σε δυο άτομα υδρογόνου ( $H_2O$ ). Παράλληλα, ένα μόριο νερού κατέχει μια ασύμμετρη κατανομή ηλεκτρικού φορτίου, κάτι που ευθύνεται για τις ασυνήθιστες ιδιότητες του.

Ανάμεσα σε αυτές, είναι:

- Η εξαιρετική ικανότητα του να διαλύει τα άλατα.
- Τεράστια ικανότητα να του απορροφά ή να απελευθερώνει θερμότητα, χωρίς να έχει μεγάλη αλλαγή στη θερμοκρασία.
- Εξαιρετικά ασυνήθιστη ικανότητα να καταψύχεται σε μια στερεή φάση, που επιπλέει/βρίσκεται πάνω από την υγρή της φάση.

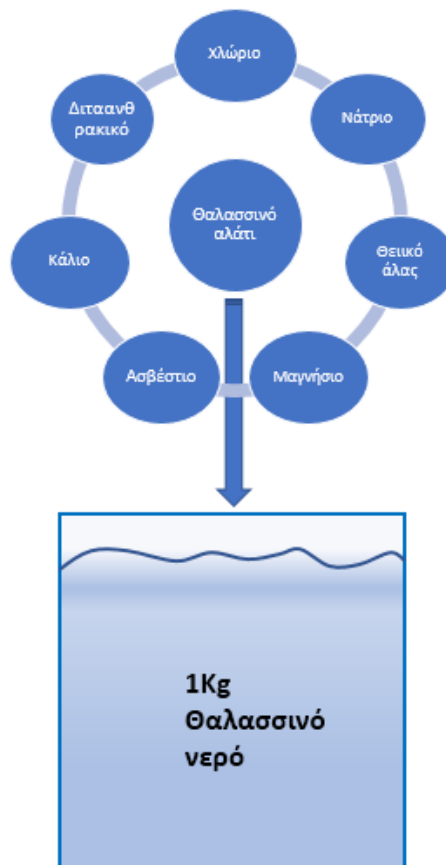
Η ικανότητα του νερού να διαλύει τα άλατα, έχει σημαντικές επιπτώσεις στον σχεδιασμό ενός υποβρύχιου οχήματος. Όταν ένα άλας διαλυθεί στο νερό, τότε το μόριο του διαχωρίζεται σε ηλεκτρικά φορτισμένα άτομα, που ονομάζονται *ιόντα*. Τα ιόντα αυτά, αυξάνουν την πυκνότητα του νερού, επειδή τείνουν να γεμίζουν το χώρο μεταξύ των μορίων του νερού, προσθέτοντας μάζα, χωρίς παράλληλα να προσθέτουν επιπλέον όγκο. Έτσι, το αλμυρό νερό είναι πιο βαρύ, από ότι το γλυκό νερό, ίσης ποσότητας. Αυτό, μπορεί να έχει ως συνέπεια, την επίπλευση ή βύθιση, του οχήματος. Τα ιόντα επίσης, αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού. Αυτή η αύξηση, άγει ηλεκτρικά ρεύματα που μπορούν να μειώσουν την διάρκεια ζωής του

ηλεκτρικού εξοπλισμού, που έρχεται σε επαφή με το νερό, εμποδίζοντας, παράλληλα, τα ραδιοκύματα και επιταχύνοντας την διάβρωση, των μετάλλων.

### 2.1.2 Αλμυρότητα

Ο όρος αλμυρότητα (salinity), χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει την συγκέντρωση του διαλυμένου αλατιού στο νερό και συχνά εκφράζεται σε ποσοστά ανά χιλιάδες (‰) κατά μάζα ή βάρος. Ο ωκεανός, κατά μέσο όρο, έχει αλμυρότητα περίπου 35‰. Με άλλα λόγια, 1.000 χιλιόγραμμα θαλασσινού νερού περιέχει περίπου 35 χιλιόγραμμα διαλυμένου αλατιού.

Παράλληλα, 35‰ (ανά χίλια) είναι το ίδιο ως 3.5% (ανά εκατό). Επίσης, η ακριβής αξία αλμυρότητας, διαφοροποιείται ανά τις τοπικές συνθήκες, που επικρατούν. Συνήθως, κυμαίνεται μεταξύ 33‰ - 37‰. Από την άλλη, το γλυκό φυσικό νερό θεωρείται ότι δεν καθόλου αλμυρότητα, δηλαδή η αξία σε άλατα είναι 0‰. Αλλά, στην πραγματικότητα η αλμυρότητα του βρίσκεται λίγο πιο χαμηλά από 1‰, για αυτό και θεωρείται ως 0‰. Διότι, η τιμή του είναι τόσο χαμηλή που δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα<sup>6</sup>.



Εικόνα 9: Θαλασσινό αλάτι

<sup>6</sup> Για τους υπολογισμούς, στους οποίους θα περιλαμβάνεται η αλμυρότητα, χρησιμοποιείται 0‰ για το γλυκό νερό και 35‰ για το θαλασσινό νερό.

Στην παραπάνω απεικόνιση (βλ. Εικόνα 9), φαίνεται ότι η αλμυρότητα του θαλασσινού νερού προέρχεται από τις μεγάλες ποσότητες χλωρίου και νατρίου, που βρίσκονται διαλυμένες, σε αυτό. Καθώς και άλλων στοιχείων, όπως είναι το θειικό άλας, το μαγνήσιο, το ασβέστιο, το κάλιο και το διττανθρακικό (*bicarbonate*). Επίσης, η αλμυρότητα αυτή, μετριέται ως ο αριθμός αλατιού σε γραμμάρια, ανά 1 κιλό νερού. Δηλαδή, σε ποσοστά ανά χιλιάδες (‰).

### 2.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υλικού (στερεού, υγρού ή αέριου), είναι η μέτρηση του κατά πόσο εύκολα το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να διαπεράσει μέσα από το υλικό, όταν εφαρμοστεί σε αυτό μια τάση. Ηλεκτρικό ρεύμα είναι απλά η ροή ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων από μια τοποθεσία σε μία άλλη. Συνήθως, αυτά τα σωματίδια που μετακινούνται είναι ηλεκτρόνια. Παρόλα αυτά, στο νερό, το ηλεκτρικό ρεύμα μεταδίδεται από ιόντα.

Τα υλικά που έχουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζονται *αγωγοί* (*conductors*). Ενώ, τα υλικά που έχουν χαμηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζονται *μονωτές* (*insulators*). Το θαλασσινό νερό είναι ένας καλός αγωγός, εξαιτίας των διαλυμένων ιόντων που περιέχει. Ενώ, το γλυκό νερό βρίσκεται κάπου στην μέση. Μία πρακτική συνέπεια του θαλασσινού νερού είναι ότι μπορεί να προκαλέσει βραχυκύκλωμα στον ηλεκτρικό εξοπλισμό, εφόσον αυτός εκτεθεί στο νερό. Και επειδή τα περισσότερα υποβρύχια ρομπότ χρησιμοποιούν ηλεκτρικά κυκλώματα για τα πάντα (από τους προωθητές, σε σήματα εικόνας, πλοήγησης και συστήματα ελέγχου), οι σχεδιαστές πρέπει να σκεφτούν τρόπους προστασίας των κυκλωμάτων αυτών, από την έκθεση τους στο νερό. Ακόμα και από υδρατμούς, που μπορεί να δημιουργηθούν στο εσωτερικό του οχήματος, κατά την εκτέλεση της αποστολής του.

### 2.1.4 Διάβρωση

Ο όρος διάβρωση (*corrosion*), απευθύνεται στην ηλεκτροχημική διαδικασία που “τρώνει” τα μέταλλα και τερματίζει τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Η σκουριά (*rust*) είναι μια γνώριμη περίπτωση διάβρωσης. Η μεταλλική διάβρωση απαιτεί την απομάκρυνση των ηλεκτρονίων από το μέταλλο. Στον αέρα, αυτό συμβαίνει πολύ αργά ή και καθόλου, επειδή ο αέρας αποτελεί έναν μονωτή. Αλλά στο νερό και ειδικά στο αλμυρό, με τα πολλά διαλυμένα ιόντα που βοηθούν στην μετακίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος μακριά από την επιφάνεια του μετάλλου, η διάβρωση μπορεί να επιτευχθεί πολύ γρήγορα και να οδηγήσει το υλικό σε αστοχία. Ο βαθμός διάβρωσης μπορεί να αυξηθεί, σε περίπτωση που υπάρχει ενεργεί ηλεκτρική τάση από την μπαταρία ή την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, διότι βοηθά στην μεταφορά των ηλεκτρονίων, από το ένα μέρος στο άλλο.

Η διάβρωση είναι γενικά, ανεπιθύμητη. Και αυτό διότι, το εσωτερικό των υποβρύχιων ρομπότ είναι συνήθως κατασκευασμένο από ένα είδος μεταλλικού υλικού<sup>7</sup>. Για αυτό και η συντήρηση τέτοιων οχημάτων κρίνεται πολύ σημαντική, για την επέκταση της διάρκειας ζωής τους, (βλ. **υποκεφάλαιο 3.7 Έλεγχος διάβρωσης**).

---

<sup>7</sup> Κυρίως, για τα μεσαίας και μεγάλης κλίμακας υποβρυχίων οχημάτων, που δρουν σε βαθιά νερά.



### 2.1.5 Ραδιοκύματα και επιπτώσεις στο νερό

Τα ραδιοκύματα αποτελούν μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Μεταδίδονται εύκολα και σχεδόν στιγμιαία, μέσω του αέρα και του κενού χώρου. Χρησιμοποιούνται για πολλές μορφές μεταφοράς ασύρματης πληροφορίας, όπως είναι το ράδιο, μετάδοση τηλεόρασης, κινητά τηλέφωνα, ενδοεπικοινωνία, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών, κ.α.

Ωστόσο, κάτω από το νερό η ενέργεια των ραδιοκυμάτων απορροφάτε γρήγορα από τα μόρια του νερού και τα διαλυμένα ιόντα, με αποτέλεσμα να αποδυναμώνεται ή να ασθενεί το σήμα μετάδοσης. Σε αυτή την περίπτωση, δεν μπορεί να γίνει χρήση των τυπικών, χαμηλού κόστους συστημάτων μετάδοσης, διότι δεν θα μπορούν να διαπεράσουν το θαλασσίνο νερό, ώστε να γίνεται ο χειρισμός του οχήματος.

Από την άλλη, υπάρχουν ορισμένα ράδιο-χειριζόμενα (radio-controlled) μοντέλα υποβρυχίων, τα οποία έχουν αξιολογηθεί ως επιτυχημένα, σε αυτή την πειραματική μέθοδο ελέγχου. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το PURL I, το οποίο είναι κατασκευασμένο από το Πανεπιστήμιο *Simon Fraser*, αλλά αυτό μπορεί να λειτουργεί μόνο σε γλυκό νερό. Επίσης, πολλά από αυτά τα μοντέλα, πρέπει να μένουν κοντά στην επιφάνεια, ώστε να γίνεται επιτυχημένα ο έλεγχος. Τα μοντέλα υποβρυχίων αυτά, για παράδειγμα, τυπικά χάνουν επαφή με την επιφάνεια ελέγχου, εάν τα υποβρύχια καταδύονται σε βάθος μεγαλύτερο του 1.5 μέτρου, σε γλυκό νερό. Μοντέρνα υποβρύχια του στρατού μπορούν να λάβουν κωδικοποιημένες εντολές από πολύ χαμηλές συχνότητες (*Very Low Frequency – VLF*) και εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (*Extremely Low Frequency – ELF*) ραδιοκυμάτων, ακόμα και στο αλμυρό/θαλασσίνο νερό. Παράλληλα όμως, χρειάζονται μεγάλες και εξειδικευμένες αντένες και επιπλέον εξοπλισμός για την αποστολή της μετάδοσης. Ταυτόχρονα όμως, το υποβρύχιο θα πρέπει να αναδυθεί προς την επιφάνεια, ώστε να παραλάβει το σήμα. Χρειάζονται αρκετά λεπτά, ώστε να στείλουμε μια μικρή πρόταση και σχετικά άσκοπο να στείλουμε μια πιο περίπλοκη πληροφορία, όπως είναι ήχοι ή εικόνες.

### 2.1.6 Πυκνότητα και ειδική βαρύτητα

Η πυκνότητα, στον τομέα των υποβρυχίων οχημάτων, κρίνεται πιο χρήσιμη και σημαντική από ότι το βάρος. Η πυκνότητα<sup>8</sup> ανεξαρτήτως, υλικού (ακόμα και του νερού), μπορεί να καθοριστεί παίρνοντας δείγμα από το υλικό και διαιρώντας το με ένα δείγμα μάζας και όγκου.

Για παράδειγμα, το γλυκό νερό έχει πυκνότητα  $1.000 \text{ Kg/m}^3$  (στους  $4^\circ\text{C}$ ), αυτό σημαίνει ότι ένα κυβικό μέτρο νερού έχει μάζα ίση με 1.000 χιλιόγραμμα (βλ. Εικόνα 10).

Εάν, ένα αντικείμενο είναι κατασκευασμένο από δύο ή περισσότερα υλικά ή έχει χώρους γεμάτους από αέρα, νερό, καύσιμο ή άλλο υλικό. Τότε, ο μέσος όρος πυκνότητας του αντικειμένου, προκύπτει από τον συνυπολογισμό της πυκνότητας του κάθε υλικού που εμπεριέχεται, σε αυτό.

Από την άλλη, η ειδική βαρύτητα (*specific gravity*), είναι η πιο κοινή εναλλακτική επιλογή για την έκφραση της πυκνότητας, ενός αντικειμένου ή υλικού. Είναι πρακτικά χρήσιμη, για όσους

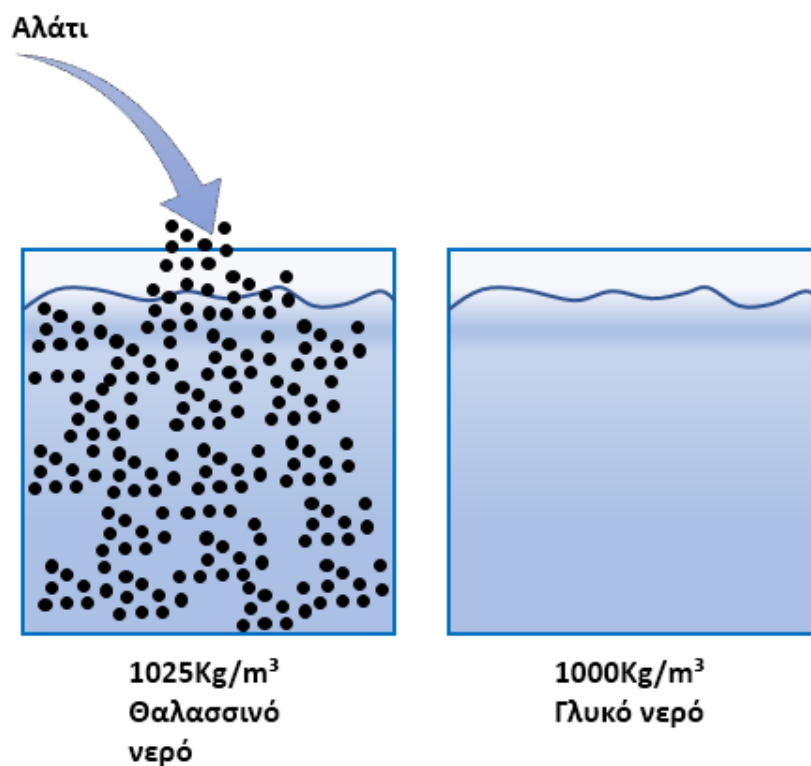
---

<sup>8</sup> Η πυκνότητα μετριέται σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό εκατοστό ( $\text{Kg/m}^3$ ).

θέλουν να γνωρίζουν για την βύθιση ή επίπλευση, ενός σώματος. Η εξίσωση έκφρασης της ειδικής βαρύτητας<sup>9</sup> (*specific gravity* – SG), είναι η εξής:

$$SG_{\text{υλικού}} = \frac{\text{πυκνότητα υλικού}}{\text{πυκνότητα νερού}} \quad (1)$$

Επιπλέον, η ειδική βαρύτητα (*specific gravity*), είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για να καθοριστεί, εάν ένα αντικείμενο ή υλικό, θα επιπλεύσει ή θα βυθιστεί. Εάν, ένα αντικείμενο έχει ειδική βαρύτητα (*specific gravity*) μικρότερη από αυτή του νερού, τότε το αντικείμενο θα επιπλεύσει, εάν έχει μεγαλύτερη θα βυθιστεί (βλ. Πίνακα 2 & παράδειγμα για βύθιση ή επίπλευση).



Εικόνα 10: Πυκνότητα νερού

<sup>9</sup> Δεν υπάρχουν μονάδες μέτρησης στην ειδική βαρύτητα (*specific gravity*), διότι η πυκνότητα εμφανίζεται στον αριθμητή και στον παρονομαστή, οπότε οι μονάδες διώχνονται.

Πίνακας 2: Πυκνότητα και ειδική βαρύτητα διάφορων στοιχείων & υλικών

Στοιχείο-υλικό	Πυκνότητα (Kg/m <sup>3</sup> )	Ειδική βαρύτητα
Αέρας	1.3	0.0013
Ξύλο (τροπικού δέντρου)	170	0.17
Ξύλο (βαλανιδιά)	950	0.95
Πετρελαϊκό έλαιο	880	0.88
Γλυκό νερό	1.000	1
Αλμυρό νερό (μέσος όρος)	1.025	1,025
Πέτρα (γρανίτης)	2.750	2.74
Ατσάλι (μέσος όρος κραμάτων του)	7.800	7.8
Μόλυβδος	11.300	11.3
Χρυσός	19.300	19.3
Λευκόχρυσος	21.500	21.5

Παράδειγμα για βύθιση ή επίπλευση:

Έστω ένα αντικείμενο με μάζα  $m = 36 \text{ gr}$  και όγκο  $v = 3 \text{ ml}$ . Με δεδομένο, ότι η πυκνότητα νερού  $\rho_{\text{νερού}} = 1 \text{ gr/ml}$ .

Πρώτα, γίνεται ο υπολογισμός της πυκνότητας του αντικειμένου.

$$\rho_{\text{αντ.}} = \frac{m}{v} = \frac{36 \text{ gr}}{3 \text{ ml}} = 12 \text{ gr/ml}$$

Έπειτα, γίνεται ο υπολογισμός της ειδικής βαρύτητας, σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση (1).

$$SG_{\text{υλικού}} = \frac{\rho_{\text{αντ.}}}{\rho_{\text{νερού}}} = \frac{12 \text{ gr/ml}}{1 \text{ gr/ml}} = 12$$

Άρα, το επιλεγμένο αντικείμενο έχει πυκνότητα  $12 \text{ gr/ml}$  και ειδική βαρύτητα  $12$ . Και επειδή, η ειδική βαρύτητα του είναι μεγαλύτερη, από αυτή του νερού ( $12 \text{ gr/ml} > 1 \text{ gr/ml}$ ), το αντικείμενο θα βυθιστεί.

### 2.1.7 Υδροστατική πίεση

Η πίεση εμφανίζεται σε κάθε αντικείμενο που βυθίζεται, σε οποιοδήποτε ρευστό. Η πίεση αυτή, προκαλείται από το βάρος του ρευστού, που βρίσκεται πάνω από το αντικείμενο, πιέζοντας το προς τα κάτω. Αυτή, η εμφανιζόμενη πίεση στο νερό ονομάζεται *υδροστατική πίεση*.

Όσο πιο βαθιά βυθίζεται ένα αντικείμενο, τόσο πιο μεγάλη είναι η πίεση που του ασκείται. Για αυτό και η πυκνότητα του νερού είναι περίπου 800 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αέρα, (βλ. Πίνακα 2). Δηλαδή, η πίεση αυξάνεται 800 φορές γρηγορότερα στο αντικείμενο, όταν βρίσκεται στο νερό, από ότι όταν βρίσκεται στον αέρα<sup>10</sup>. Η πίεση του αέρα, που ασκείται πάνω στα σώματα ονομάζεται *ατμοσφαιρική πίεση* και ισούται περίπου με 100 κίλοπασκάλ ή 15 ατμόσφαιρες (*atm*). Η πιο κοινή μονάδα μέτρησης της πίεσης είναι οι σε ατμόσφαιρες (*atm*)<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Όταν, η σύγκριση γίνεται στο ίδιο επίπεδο, (υψόμετρο και βάθους).

<sup>11</sup> Η υδροστατική πίεση αυξάνεται κατά 1 ατμόσφαιρα, ανά δέκα μέτρα επιπλέον βάθους. Για παράδειγμα, σε 60 μέτρα βάθος, η πίεση έχει αυξηθεί κατά 6 ατμόσφαιρες.

Για τον σχεδιασμό υποβρύχιων οχημάτων, η πιο σημαντική συνέπεια των αλλαγών υδροστατικής πίεσης, είναι οι μηχανικές δυνάμεις που σχετίζονται με τις εναλλαγές της πίεσης μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών βυθιζόμενων δοχείων.

Για παράδειγμα, το κύτος ενός υποβρυχίου, έχει υψηλή πίεση, που πιέζει προς τα μέσα, από εξωτερικά και σχετικά χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση (συνήθως 1 ατμόσφαιρα), που πιέζει προς τα έξω, από το εσωτερικό. Αυτό προκαλεί μια ανισορροπία στην πίεση, η οποία προκαλεί μια δύναμη προς το εσωτερικό του κύτους του υποβρυχίου. Επειδή, η πίεση του νερού αυξάνεται γρήγορα με την αύξηση του βάθους, αυτές οι εναλλαγές πιέσεων και σχετιζόμενων δυνάμεων μπορούν να γίνουν τεράστιες, καθώς το υποβρύχιο καταδύεται και μπορούν να διαλύσουν το κύτος, εάν το υποβρύχιο καταδυθεί σε υπερβολικό βάθος.

### 2.1.8 Πλευστότητα

Ο όρος πλευστότητα (*buoyancy*) έχει δύο διαφορετικές έννοιες, όταν περιγράφει την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός αντικειμένου και ενός ρευστού:

- Από την μία, η πλευστότητα είναι η προς τα πάνω δύναμη που ασκείται από το υγρό στο βυθισμένο αντικείμενο.
- Από την άλλη, η πλευστότητα είναι η συνολική τάση του αντικειμένου που επιπλέει στο υγρό και εξαρτάται από την πρώτη έννοια της πλευστότητας και από το βάρος του αντικειμένου.

Σε αυτή την διπλωματική, θα αναφερόμαστε στην πρώτη ερμηνεία της πλευστότητας ως “*δύναμη πλευστότητας*” και στην δεύτερη έννοια ως “*πλευστότητα*”.

Γενικά, η πλευστότητα μπορεί να χαρακτηριστεί ως θετική (εάν το όχημα επιπλέει), αρνητική (εάν το όχημα βυθίζεται) ή ουδέτερη (εάν το όχημα ισορροπεί σε κάποιο βάθος). Παράλληλα, από την δύναμη που αναφέρεται στο βάρος του οχήματος, προκύπτει και ένας άλλος όρος. Ο όρος αυτός ονομάζεται *αποτελεσματικό βάρος*<sup>12</sup> (*effective weight*) και είναι αντίθετος της πλευστότητας. Έτσι λοιπόν, όπως και η πλευστότητα, έτσι και το βάρος αυτό, μπορεί να διακριθεί σε θετικό, αρνητικό ή ουδέτερο:

- Θετικό, εάν το όχημα βυθίζεται.
- Αρνητικό, εάν το όχημα επιπλέει.
- Ουδέτερο, εάν το όχημα ισορροπεί σε ένα σταθερό βάθος.

Από τα παραπάνω και με βάση την αρχή του Αρχιμήδη<sup>13</sup>, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Εάν, ένα όχημα<sup>14</sup> ζυγίζει λιγότερο από το βάρος του νερού που εκτοπίζει, τότε το όχημα μετατοπίζεται προς τα πάνω. Δηλαδή, η δύναμη πλευστότητας (*buoyant force*) θα είναι μεγαλύτερη από το βάρος του οχήματος, με αποτέλεσμα αυτό, να επιπλέει, (όχημα με θετική πλευστότητα).
- Εάν, ένα όχημα ζυγίζει περισσότερο από το βάρος του νερού που εκτοπίζει, τότε το όχημα μετατοπίζεται προς τα κάτω. Δηλαδή, το βάρος του οχήματος υπερσχύει της

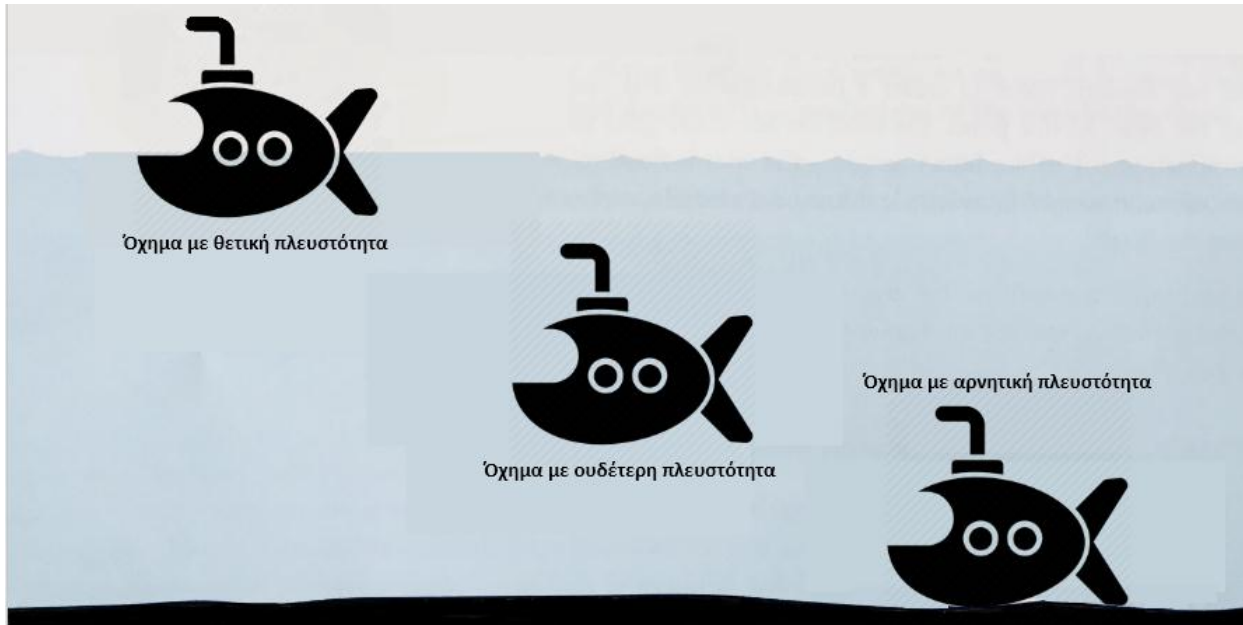
<sup>12</sup> Το αποτελεσματικό βάρος (*effective weight*) μπορεί να συναντηθεί και με άλλες ονομασίες όπως, υγρό βάρος (*wet weight*), βυθισμένο βάρος (*submerged weight*) και βάρος στο νερό (*in water weight*).

<sup>13</sup> Λέει το εξής: «*Το μέγεθος της δύναμης πλευστότητας που ενεργεί σε ένα αντικείμενο, είναι ίσο με το βάρος του υγρού που μετατοπίζεται από αυτό.*»

<sup>14</sup> Για ένα υποβρύχιο όχημα, ο όγκος είναι ο συνολικός όγκος του και μπορεί να υπολογιστεί ανάλογα με τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά.

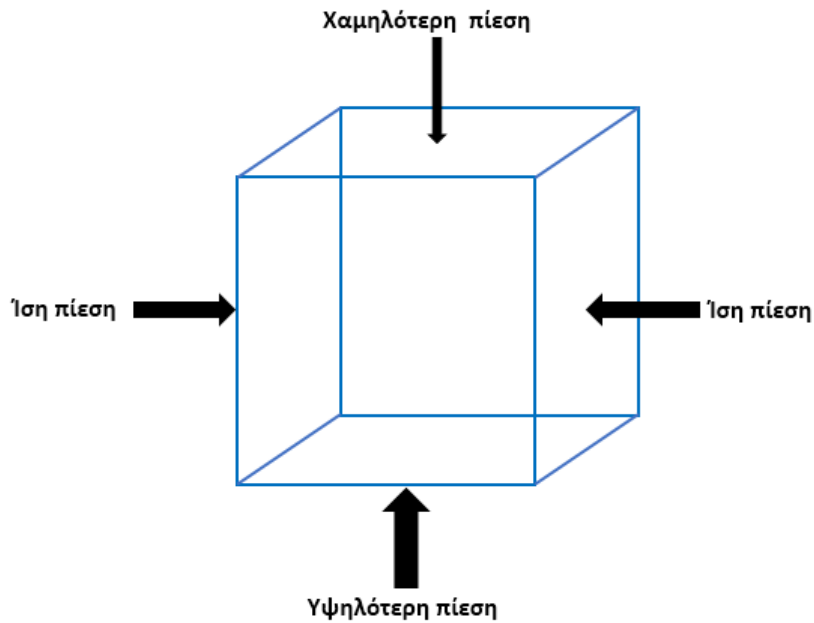
δύναμης πλευστότητας του οχήματος, με αποτέλεσμα αυτό, να βυθίζεται, (όχημα με αρνητική πλευστότητα).

- Εάν, ένα όχημα ζυγίζει ακριβώς το ίδιο με το βάρος του νερού που εκτοπίζει, τότε το όχημα μετατοπίζεται σε ένα συγκεκριμένο βάθος. Δηλαδή, το όχημα δεν επιπλέει και δεν βυθίζεται, αλλά ισορροπεί, (όχημα με ουδέτερη πλευστότητα).



**Εικόνα 11: Αναπαράσταση ειδών πλευστότητας**

Από την άλλη, όπως αναφέρθηκε, η πίεση αυξάνεται πάντα με την αύξηση του βάθους. Μια σημαντική συνέπεια αυτού του φαινομένου, είναι ότι η πίεση που πιέζει το βυθιζόμενο αντικείμενο να αναδυθεί είναι πάντα μεγαλύτερη από την αντίστοιχη πίεση, που πιέζει το αντικείμενο να καταδυθεί. Παράλληλα, οι πιέσεις που δημιουργούνται στις πλάγιες πλευρές, ενός αντικειμένου, είναι ίσες και η μια εξουδετερώνει την άλλη (βλ. Εικόνα 12). Το καθαρό αποτέλεσμα, αυτής της συνέπειας, είναι ότι κάποιο μέρος ή όλο το βάρος ενός αντικειμένου, που υποστηρίζεται από το ρευστό, είναι βυθισμένο σε αυτό.



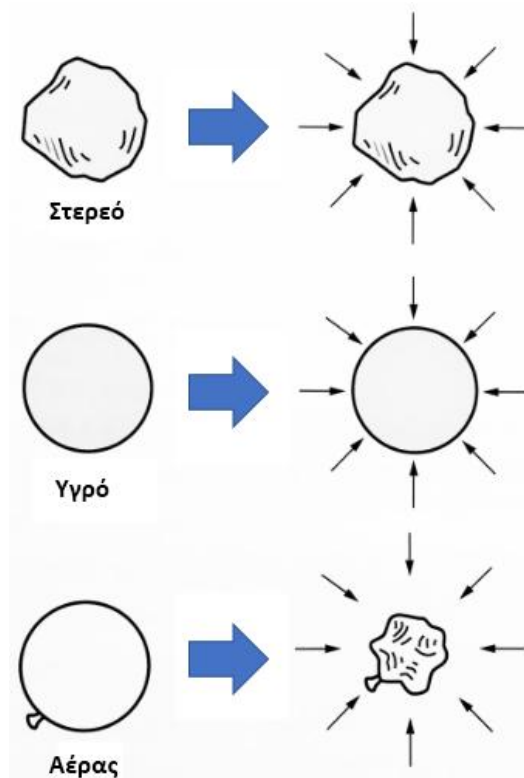
Εικόνα 12: Η δύναμη πλευστότητας προκαλείται από την υψηλότερη πίεση

Συνήθως, στην σχεδίαση μικρών ROV το επιθυμητό είναι τα οχήματα να επιπλέουν, δηλαδή να έχουν θετική πλευστότητα<sup>15</sup>. Διότι, σε περίπτωση που υποστεί κάποια βλάβη, για παράδειγμα στο σύστημα προώθησης του, ενώ βρίσκεται σε κατάδυση, να μπορεί εύκολα να αναδυθεί στην επιφάνεια, για να ανακτηθεί από τον χειριστή του. Επίσης, είναι πιο εύκολο να εφαρμοστούν, στο όχημα, τυχόν αλλαγές (π.χ. στο φορτίο του), καθώς αυτό επιπλέει. Ενώ, είναι και πιο εύκολο να του προστεθεί βάρος, από το να του αυξηθεί η ιδιότητα της επίπλευσης του.

### 2.1.9 Συμπιεστικότητα

Γενικά, τα αέρια έχουν μεγαλύτερη συμπιεστικότητα (*compressibility*) από τα υγρά. Αυτό αποτελεί μια σημαντική διαφορά, που θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν, κατά το σχεδιασμό του υποβρύχιου οχήματος.

<sup>15</sup> Η πιθανότητα, για τον σχεδιασμό ενός οχήματος, με ουδέτερη πλευστότητα είναι πολύ μικρή. Ωστόσο, μπορεί να προσεγγιστεί αρκετά. Εξαρτάται από το τι θέλει να πετύχει ο σχεδιαστής ή ομάδα σχεδίασης.



Εικόνα 13: Σύγκριση συμπιεστότητας

Υπάρχουν δυο μέρη, όπου αυτή η διαφορά μπορεί να εμφανιστεί. Πρώτα, τα αέρια που είναι εκτεθειμένα στην πίεση του νερού και περιβάλλουν ένα όχημα, θα συρρικνώσουν τον όγκο του οχήματος, καθώς αυτό βυθίζεται όλο και πιο βαθιά. Και παράλληλα, θα το επεκτείνουν καθώς αυτό αναδύεται. Στην δεύτερη περίπτωση, κοίλοι θάλαμοι (π.χ. ηλεκτρικά κάνιστρα), μπορούν να γεμιστούν με ρευστά, αντί για αέρια, ώστε να βοηθήσουν στην υποστήριξη έναντι των θλιπτικών υδροστατικών πιέσεων, που παράγονται καθώς το όχημα βυθίζεται.

### 2.1.10 Ιξώδες

Ο όρος αυτός αναφέρεται, στο πόσο παχύρευστο είναι ένα υγρό ή ένα αέριο και πιο συγκεκριμένα αναφέρεται ως “δυναμικό ιξώδες” (“*dynamic viscosity*”). Το μέλι, για παράδειγμα, αποτελεί ένα υγρό υψηλού ιξώδες.

Το δυναμικό ιξώδες των υγρών, τείνει να εξαρτάται σημαντικά από την θερμοκρασία. Όσο πιο ψυχρή η θερμοκρασία, τόσο πιο μεγάλο θα είναι και το επίπεδο ιξώδες του υγρού. Σε ένα τυπικό περιβάλλον, όπου επικρατεί θερμοκρασία δωματίου, το νερό έχει ιξώδες περίπου 50 φορές μεγαλύτερο από αυτό του αέρα. Αυτό, μπορεί να επηρεάσει την κινητικότητα του υποβρυχίου οχήματος και μπορεί να έχει και επιπτώσεις στην υποβρύχια ορατότητα<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Αφήνοντας τα σωματίδια του νερού να αναστέλλονται πιο εύκολα, από ότι στον αέρα.

### 2.1.11 Οπισθέλκουσα

Όταν ένα υποβρύχιο όχημα (ή οποιοδήποτε αντικείμενο) κινηθεί μέσα στο νερό, το ρευστό ασκεί μια δύναμη, η οποία προσπαθεί να αντισταθεί στην κίνηση του αντικειμένου. Τεχνικά, ο όρος "ρευστό", περιλαμβάνει και αέρια και υγρά. Άρα, αυτό συνεπάγεται ότι το όχημα κινείται μέσα σε αέρα και υγρό. Η αντίσταση στην κίνηση ονομάζεται *οπισθέλκουσα* (*drag*) και προκύπτει από δυο πηγές:

- Την συμπίεση
- Το ιξώδες

Όταν ένα αντικείμενο κινείται μέσα σε ρευστό, τότε εμφανίζονται και οι δυο πηγές οπισθέλκουσας δύναμης, αλλά μια συνήθως υπερισχύει. Για μεγαλύτερα αντικείμενα, που κινούνται πιο γρήγορα, όπως είναι ένα υποβρύχιο όχημα, αυτή που υπερισχύει είναι η συμπίεση και επηρεάζει απευθείας την κίνηση του.

Η συμπίεση αυτή, προκαλείται από την αδράνεια του ρευστού, όπου εμποδίζει (ή κάνει δύσκολη), την επιτάχυνση του οχήματος στο νερό. Η αδράνεια του ρευστού επίσης, μειώνει την ικανότητα του ρευστού να ρέει γρήγορα πίσω στο χώρο, από όπου περνάει το όχημα. Μαζί, αυτά τα δυο φαινόμενα, δημιουργούν μια δύναμη που σπρώχνει προς τα εμπρός και τραβά προς τα πίσω, το όχημα, αντισταθμίζοντας έτσι την κίνηση του.

Το νερό είναι περίπου 800 φορές πυκνότερο από τον αέρα, οπότε η συμπίεση αποτελεί βασικό παράγοντα, με μεγάλες συνέπειες για το σχεδιασμό ενός υποβρύχιου οχήματος.

Ακολουθούν ορισμένα ζητήματα, που προκαλούνται από την οπισθέλκουσα κίνηση, τα οποία πρέπει να αναλογιστούν:

- Για να κινηθεί ένα όχημα μέσα στο νερό, χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, από ότι να το κινείται στον αέρα.
- Οι μέγιστες πιθανές ταχύτητες, είναι πολύ λιγότερες στο νερό, από ότι στον αέρα.
- Τα οχήματα που κινούνται στο νερό, πρέπει να σταματούν πιο συχνά, από ότι όταν κινούνται στον αέρα.

Η δεύτερη πηγή οπισθέλκουσας (μέσω ιξώδες), προκαλείται από την τριβή των μορίων του νερού, ολισθαίνοντας το ένα από το άλλο, με αποτέλεσμα να ολισθαίνουν στην επιφάνεια του αντικειμένου, καθώς αυτό κινείται στο ρευστό. Αυτό το είδος συρτότητας, απευθύνεται σε μικρά αντικείμενα, που κινούνται αργά, όπως είναι μικροσκοπικά αντικείμενα ή οι μονοκύτταροι οργανισμοί.

Μπορεί να μην αποτελεί τόσο σημαντικό παράγοντα, όσο η συμπίεση, ωστόσο, μπορεί να βοηθήσει το νερό, συγκρατώντας μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων. Κάτι που μπορεί να επηρεάσει την ορατότητα του οχήματος, επηρεάζοντας ταυτόχρονα το σύστημα πλοήγησης.



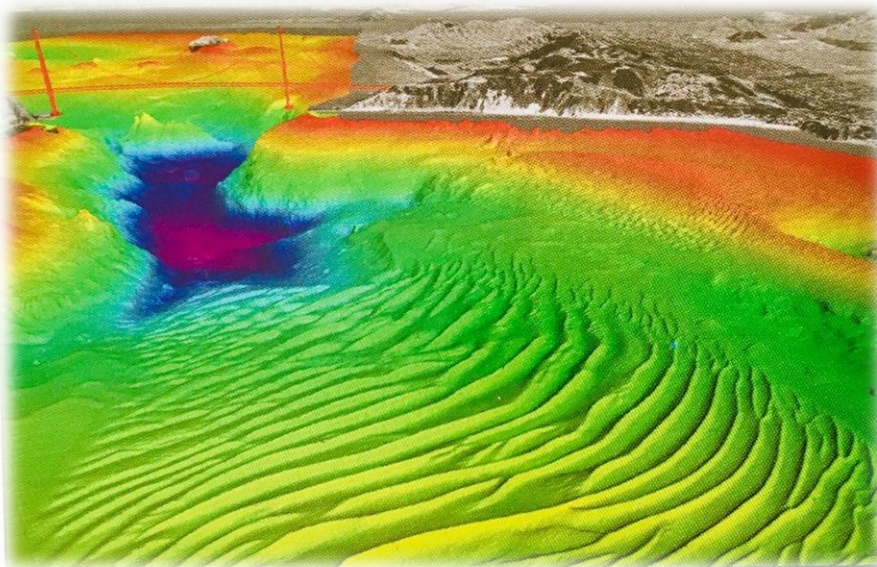
## 2.2 Ακουστικές ιδιότητες του νερού

Όπως έχει διαπιστωθεί, το νερό διαδίδει τον ήχο αρκετά αποτελεσματικά και αυτό το γεγονός το εκμεταλλεύεται πλήρως ο τομέας επιχειρήσεων των υποβρύχιων οχημάτων. Ο ήχος παρέχει ένα αποτελεσματικό μέσο επικοινωνίας πληροφορίας και ακουστικής οπτικοποίησης, όταν τα ραδιοκύματα ή οι κάμερες δεν λειτουργούν. Σημαντικό, μέσα στις χρήσεις του υποβρύχιου ήχου, είναι και συσκευή που αποκαλείται “σόναρ” (“sonar”).

Ένα απλό παράδειγμα, χρήσης σόναρ μπορεί να βρεθεί σε μια συσκευή μέτρησης της ηχώ, δηλαδή σε ένα *echosounder* (ή αλλιώς υψόμετρο ή βαθύμετρο), που χρησιμοποιούν τα ROVs και τα AUVs για να μετρήσουν την απόσταση τους από τον πάτο της θάλασσας.

Αυτές οι συσκευές μεταδίδουν ένα παλμό ήχου, κατευθυνόμενο προς τα κάτω, δηλαδή προς το υποθαλάσσιο έδαφος. Αφού σταθεί ο παλμός, το υψόμετρο χρονόμετρά την επιστροφή της ηχώ από τον πάτο, αλλά και τον χρόνο που έκανε να φτάσει ο παλμός, σε αυτόν. Έπειτα πολλαπλασιάζει τον χρόνο αυτό, με την ταχύτητα του ήχου<sup>17</sup> στο νερό, ώστε να υπολογίσει την απόσταση προς τον πάτο. Τέλος, διαιρεί την απόσταση διά δυο, ώστε να προκύψει η απόσταση της μιας διαδρομής<sup>18</sup>.

Άλλες συσκευές σόναρ, όπως το σόναρ σάρωσης τομέα (*sector scanning sonar*) και το σόναρ πολλαπλής δέσμης (*multibeam sonar*), χρησιμοποιούν την παραπάνω βασική ιδέα, αλλά συγκρατούν την διαδρομή και την κατεύθυνση και των δυο αποστάσεων του υποβρύχιου αντικειμένου. Αυτή η πληροφορία (που βασίζεται στον ήχο), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαμόρφωση του υποβρύχιου εδάφους. Στο νερό, ένα σόναρ μπορεί να “βλέπει” μακρύτερα από ότι μια κάμερα και να λειτουργεί σε βάθη όπου δεν φτάνει το φως. Οπότε, η τεχνολογία ενός σόναρ κρίνεται αρκετά πολύτιμη για ένα υποβρύχιο όχημα.



**Εικόνα 14: Γιγάντια υποβρύχια κύματα άμμου γέφυρας του Σαν Φρανσίσκο (γεωλογική έρευνα υποβρύχιας χαρτογράφησης του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας)**

<sup>17</sup> Είναι περίπου ίση με 1.500 m/s.

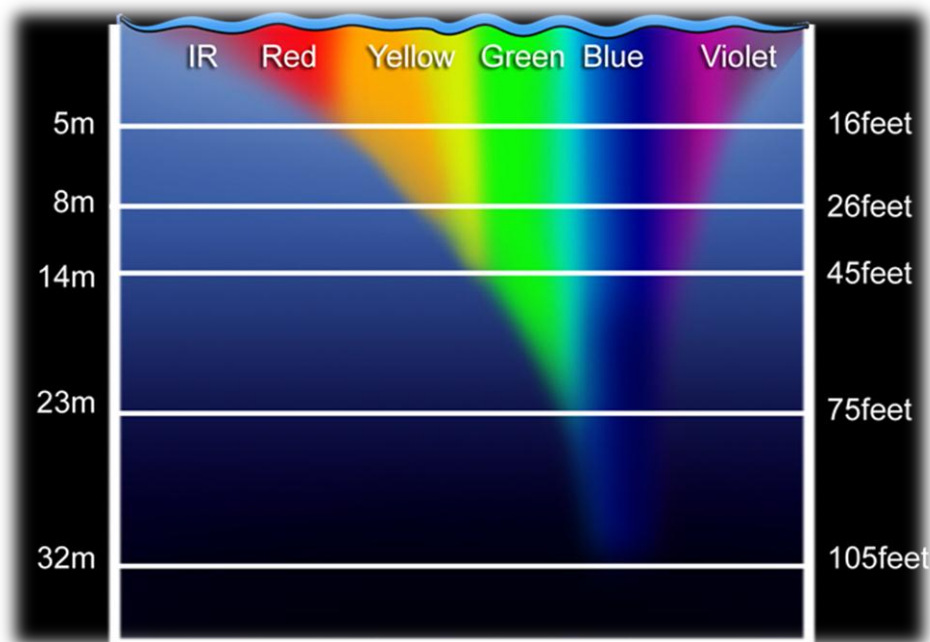
<sup>18</sup> Όταν ο ήχος στέλνεται προς το βυθό.

## 2.3 Οπτικές ιδιότητες του νερού

### 2.3.1 Απορροφητικότητα

Όταν το φως λάμπει μέσα στο νερό, κάποια από την ενέργεια του φωτός απορροφάτε από τα μόρια του νερού. Αυτή η απορρόφηση συμβαίνει ακόμα και **στα** απολύτως καθαρά νερά. Όσο πιο μακριά ταξιδεύει το φως μέσα στο νερό, τόσο πιο μεγάλη ποσότητα φωτός απορροφάτε. Στα 3 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του νερού, το φαινόμενο δεν μπορεί να διαπιστωθεί, όμως στα 300 μέτρα μπορούμε να δούμε το αποτέλεσμα, της απορρόφησης, επειδή επικρατεί η σκοτεινή απόχρωση.

Το ενδιαφέρον στο φαινόμενο της απορρόφησης του νερού είναι ότι τα διάφορα χρώματα, απορροφούνται σε διαφορετικές κλίμακες (βλ. Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Διείσδυση φωτός ανάλογα με το βάθος

Καθώς, το φως εισχωρεί σε όλο και μεγαλύτερο βάθος, μπορεί να διακριθεί το επικρατέστερο χρώμα του φωτός, έως ότου φτάσει στο βάθος, από το οποίο και έπειτα το φως εξασθενεί, λόγω αυτής της απορρόφησης.

### 2.3.2 Θολότητα και Οπισθοσκέδαση

Το περισσότερο νερό, συνήθως περιέχει πλανγκτόν ή άλλα υλικά, τα οποία του δίνουν μια νεφελώδης όψη. Η *θολότητα* (*turbidity*) είναι ο τεχνικός όρος για την συννεφιασμένη απόχρωση του νερού, που προκαλείται από σωματίδια. Ενώ, εξαιτίας της πυκνότητας (*density*) και της ποσότητας ιξώδες (*viscosity*), το νερό έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα, από τον αέρα.

Για παράδειγμα, εάν τοποθετηθεί μια πρέζα αλεύρι σε δυο δοχεία, όπου το ένα είναι γεμισμένο με νερό και το άλλο με αέρα. Από το ανακάτεμα των δύο δοχείων, διαπιστώνεται ότι στο δοχείο αέρα το αλεύρι θα βρεθεί πολύ γρήγορα στον πάτο του. Ενώ, στο δοχείο του νερού το αλεύρι θα αναστέλλεται για αρκετή ώρα προτού κατασταλάξει.

Τα υποβρύχια σκάφη, που λειτουργούν σε σκοτεινά και θολά νερά, πρέπει να διαθέτουν δυνατό φωτισμό, για να φωτίζουν τον βυθό. Εάν όμως, ο φωτισμός είναι τοποθετημένος κοντά στην κάμερα, τότε το φως θα αντανakλάται πίσω από τα αναστελλόμενα σωματίδια και πίσω στον φακό της κάμερας. Αυτό το φαινόμενο, ονομάζεται *οππισθοσκέδαση (backscatter)*. Με αποτέλεσμα οι τραβηγμένες εικόνες να είναι αρκετά φωτεινές. Από την άλλη, υπάρχουν άλλες τεχνολογίες, όπως υπέρυθρες κάμερες και σόναρ εικόνας, τα οποία χρησιμοποιούν ηχητικά κύματα, αντί για φως, για να πλοηγούνται.

Η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί στο υπό σχεδίαση όχημα, πρέπει να ανταποκρίνεται στις συνθήκες του περιβάλλοντος του. Εάν, δεν γίνεται αυτό, τότε υπάρχει κίνδυνος ο χρήστης να δημιουργήσει ζημιές στο όχημα, επειδή η τεχνολογία δεν του παρέχει την απαραίτητη πληροφορία (δηλαδή εικόνα), ώστε να ανταπεξέλθει στις δυσκολίες που θα του παρέχει το περιβάλλον<sup>19</sup>.

### 2.3.3 Διάθλαση

Άλλη μια οπτική διαφορά ανάμεσα στο νερό και τον αέρα, που αξίζει να αναφερθεί, είναι το φαινόμενο της διάθλασης. Το φως ταξιδεύει με διαφορετικές ταχύτητες μέσα σε διαφορετικά διαφανή υλικά (π.χ. αέρα, νερό, γυαλί ή πλαστικό). Η ταχύτητα του φωτός μέσα στο υλικό σχετίζεται με τον δείκτη διάθλασης του υλικού. Όταν οι ακτίνες του φωτός περνούν ανάμεσα σε δυο υλικά με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης, τότε οι ακτίνες κάμπτονται. Αυτή η "κάμψη" ονομάζεται *διάθλαση*.

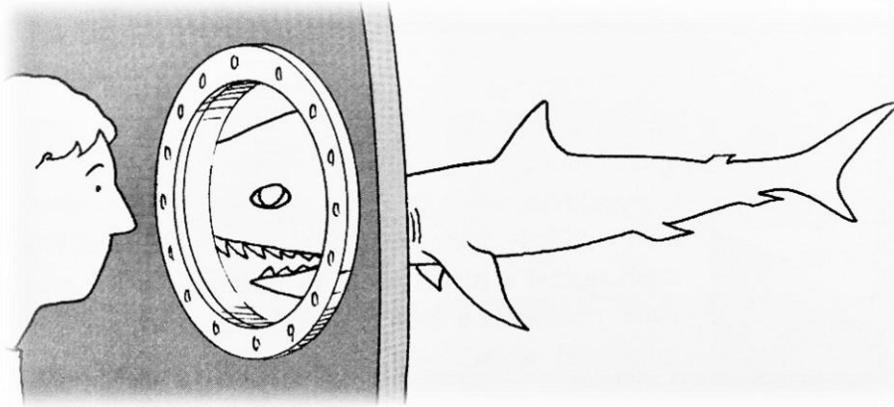
Οι κάμερες και οι διόπτρες εξαρτώνται από την διάθλαση, ώστε να μπορέσουν να διαμορφώσουν καθαρές εικόνες. Ωστόσο, επειδή το σχήμα των φακών αυτών, είναι βασισμένο στην διεπαφή αέρα και γυαλιού, οι ίδιοι φακοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν μέσα στο νερό. Για αυτό και κάτω από το νερό, η ορατότητα είναι κάπως θολή<sup>20</sup>.

Η διάθλαση επίσης, έχει μεγάλη οπτική επίπτωση στα υποβρύχια οχήματα. Μία συνέπεια διάθλασης είναι ότι οι ακτίνες φωτός κάμπτονται, με αποτέλεσμα, ο παρατηρητής να αντικρίζει ένα στενότερο οπτικό πεδίο, όπως όταν κοιτάει μέσα από έναν τηλεφακό. Αυτό το φαινόμενο, κάνει τα υποβρύχια αντικείμενα να φαίνονται μεγαλύτερα και πιο κοντά, από ότι είναι στην πραγματικότητα και ονομάζεται *αντανάκλαση* (βλ. Εικόνα 16).

---

<sup>19</sup> Για αυτό είναι σημαντική, η κατανόηση του περιβάλλοντος, στο οποίο θα κινείται το όχημα. Όστε να σχεδιαστεί, για να παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία και τεχνολογίες, στον χρήστη, με σκοπό αυτός να μπορέσει να ανταπεξέλθει στους πιθανούς κινδύνους - δυσκολίες.

<sup>20</sup> Οι μάσκες ή τα γυαλιά κολύμβησης, παγιδεύουν τον αέρα μπροστά από τους φακούς των ματιών, με αποτέλεσμα η όραση να μην επηρεάζεται, τόσο από την θολότητα.



Εικόνα 16: Αποτέλεσμα αντανάκλασης

## 2.4 Θερμικές ιδιότητες του νερού

Το νερό έχει ορισμένες ασυνήθιστες θερμικές ιδιότητες, που μπορούν να επηρεάσουν τον σχεδιασμό ενός υποβρύχιου οχήματος. Αυτές, περιλαμβάνουν την μεγάλη θερμική χωρητικότητα και την θερμική αγωγιμότητα.

### 2.4.1 Θερμική χωρητικότητα

Το νερό διαθέτει ασυνήθιστα υψηλή θερμική χωρητικότητα (*thermal capacity*). Κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να απορροφήσει ή να απελευθερώσει πολύ μεγάλη ποσότητα θερμότητας, χωρίς μεγάλες αλλαγές στην θερμοκρασία του. Αυτή η χωρητικότητα, επιτρέπει στον ωκεανό να σταθεροποιεί τις θερμοκρασίες του πλανήτη Γη και να βοηθά να διατηρεί την θερμοκρασία αυτού, σε πλαίσια συμβατά για την ανάπτυξη ζωής. Σημαίνει επίσης, ότι η θερμοκρασία ορισμένων κομματιών των ωκεανών δεν αλλάζουν πολύ, στο πέρασμα του χρόνου. Ωστόσο, το νερό έχει διαφορετικές θερμοκρασίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και μέρη και αυτό μπορεί να έχει επιπλέον επιπτώσεις στον σχεδιασμό.

Για παράδειγμα, η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει την πυκνότητα του. Τα θερμότερα νερά είναι λιγότερο πυκνά και περισσότερο ισχυρά<sup>21</sup>, από ότι τα ψυχρότερα<sup>22</sup>. Αυτό προκαλεί ορισμένες παρτίδες του ωκεανού να βυθίζονται, ενώ άλλες να ανυψώνονται και αυτό επηρεάζει καθοριστικά την κατεύθυνση των ρευμάτων των ωκεανών. Η θερμοκρασία επίσης, επηρεάζει τις ισχυρές δυνάμεις που ασκούνται κατά την κατάδυση των οχημάτων. Τέλος, επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες μερικών πλαστικών και άλλων κατασκευαστικών υλικών.

Για παράδειγμα, ένας σωλήνας κατασκευασμένος από πλαστικό PVC είναι εξαιρετικός για εφαρμογές σε θερμά νερά, αλλά μπορεί να γίνει πολύ εύθραυστος για χρήση σε ψυχρά νερά.

<sup>21</sup> Αναπτύσσουν μεγαλύτερες δυνάμεις πλευστότητας (buoyant forces).

<sup>22</sup> Εξαιρούνται τα νερά που βρίσκονται στους  $-4^{\circ}\text{C}$  και χαμηλότερα. Διότι, τότε παγώνουν.

## 2.4.2 Θερμική αγωγιμότητα

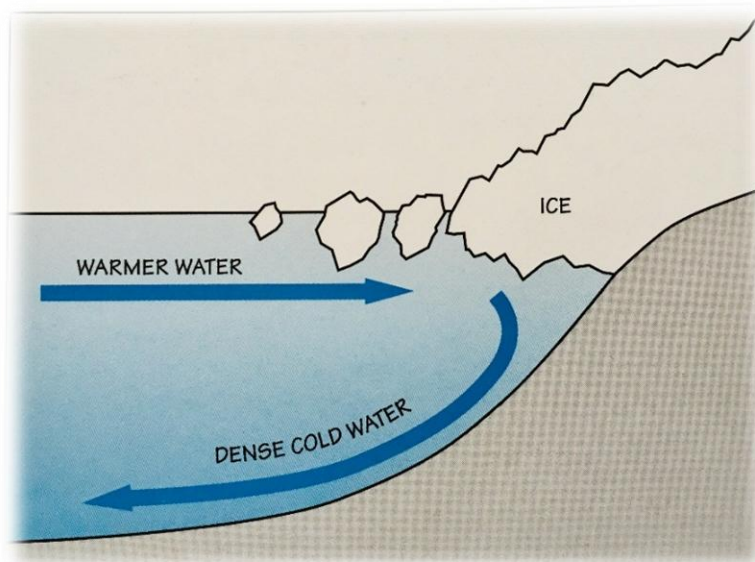
Το νερό έχει επίσης πολύ υψηλή θερμική αγωγιμότητα (*thermal conductivity*), από ότι ο αέρας. Αυτό σημαίνει ότι το κρύο νερό μπορεί να απορροφά θερμότητα από ένα θερμό αντικείμενο, πολύ πιο γρήγορα, από τον κρύο αέρα. Παρομοίως, το θερμό νερό μπορεί να παρέχει θερμότητα σε ένα κρύο αντικείμενο, πολύ πιο γρήγορα, από ότι ο θερμός αέρας. Εξαιτίας αυτής, το κέλυφος ενός οχήματος έρχεται στην ίδια θερμοκρασία με αυτή του νερού που το περιβάλλει.

Τα οχήματα υψηλών επιδόσεων, μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή ιδιότητα προς όφελος τους, αφήνοντας το νερό να λειτουργεί ως ένα φυσικός θερμαντής, οδηγώντας μακριά την περίσσια θερμότητα, προτού προκαλέσει προβλήματα στο όχημα. Δυστυχώς, αυτό όμως μπορεί να προκαλέσει άλλα προβλήματα.

Για παράδειγμα, η θύρα μιας κάμερας μπορεί να ψυχθεί στον βαθμό που της παρέχει το νερό, συμπυκνώνοντας το εσωτερικό της, με αποτέλεσμα να καταστρέψει την προβολή της κάμερας.

## 2.5 Κίνηση του νερού

Όπως και ο αέρας, έτσι και το νερό είναι ένας φυσικός κόσμος που βρίσκεται σε συνεχή κίνηση. Αυτή η κίνηση μπορεί να είναι προφανής σε ορισμένες περιπτώσεις, σε άλλες όμως, όχι και τόσο. Ένα παράδειγμα, προφανούς κίνησης του νερού είναι τα κύματα, ενώ ένα παράδειγμα όχι και τόσο προφανούς κίνησης είναι η κατάσταση μιας ήρεμης λίμνης<sup>23</sup>.

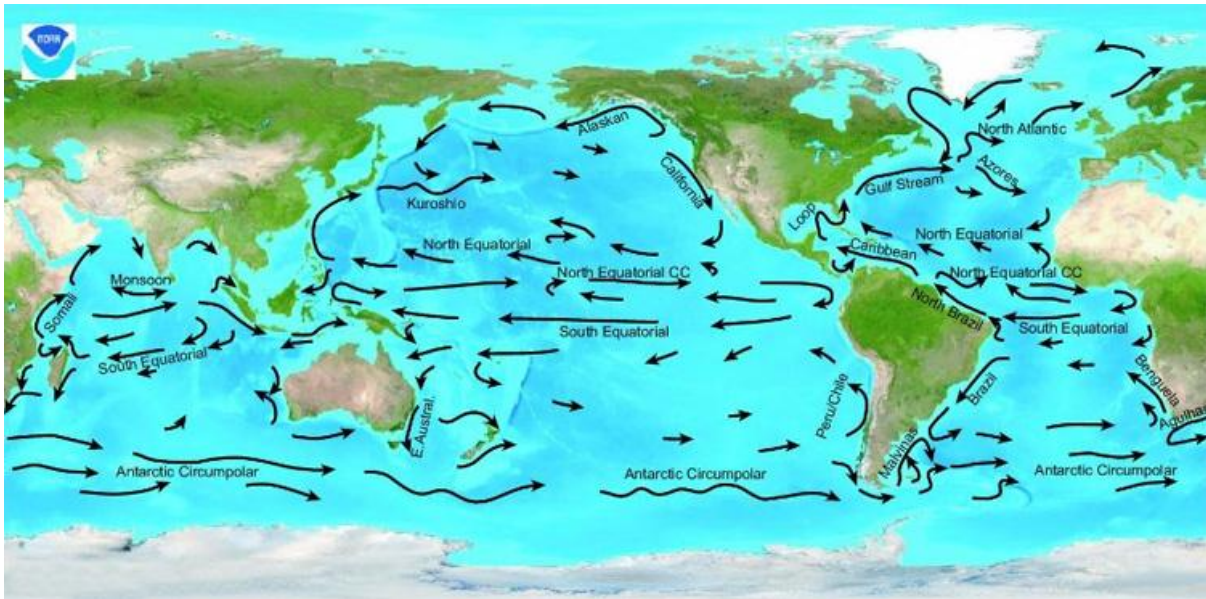


Εικόνα 17: Η θερμική κίνηση και τα μεγάλα υποβρύχια ρεύματα

<sup>23</sup> Στο παράδειγμα της λίμνης υπάρχει κίνηση του νερού, όμως αυτή δεν είναι προφανής στο ανθρώπινο μάτι, επειδή γίνεται σε έναν πολύ αργό ρυθμό.

## 2.5.1 Ρεύματα

Τα ρεύματα (*currents*) αποτελούν ροές κίνησης νερού, από μια τοποθεσία σε μία άλλη. Η διάρκεια τους μπορεί να είναι από μερικά λεπτά έως μερικά χιλιάδες χρόνια, αναλόγως την περιοχή στην οποία βρίσκονται και το φαινόμενο που τα προκαλεί. Μπορεί να προκαλούνται από την βαρύτητα, από τον αέρα ή από μια περίπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ αέρα, θερμοκρασίας, αλμυρότητας, βαρύτητας, τοπογραφίας και την περιστροφή της Γης.



Εικόνα 18: Παγκόσμια κυκλοφορία ρευμάτων (NOAA)

Υπάρχουν πολλοί τύποι ρευμάτων. Κάποιοι από αυτούς είναι οι εξής:

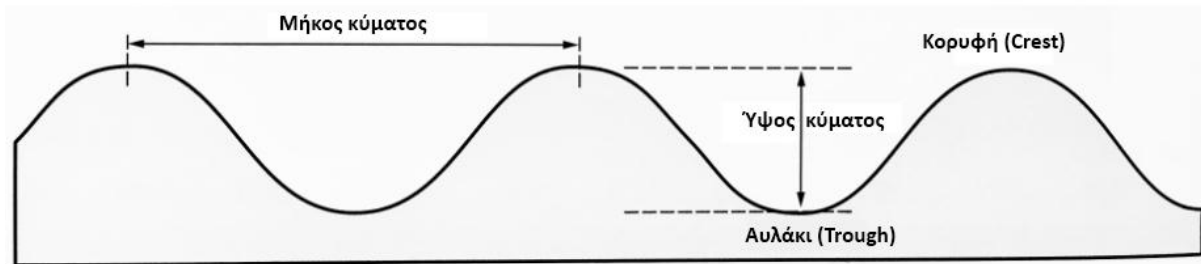
- Μεγάλα ρεύματα (*longshore currents*) που ρέουν παράλληλα από την στεριά. Συχνά είναι μέρος ενός μεγαλύτερου ωκεάνιου συστήματος ρευμάτων.
- Παλίρροια ή δυνατά ρεύματα επιστροφής (*rip tides*). Δυνατά ρεύματα που ρέουν κοντά στην στεριά. Προκαλείται από την διάσπαση δυνατών κυμάτων, τα οποία παγιδεύουν το νερό κοντά στις ακτογραμμές.
- Σε ορισμένα μέρη, η λάσπη (*slit*) ή κάποιο άλλο υλικό που αναμειγνύεται με το νερό, μπορεί να προκαλέσει την αύξηση της πυκνότητας του νερού, με αποτέλεσμα τη γρήγορη καταβύθιση του νερού, αυτού. Αυτά ονομάζονται *ρεύματα θολότητας* (*turbidity currents*) και μπορεί να είναι αρκετά βίαια και ισχυρά<sup>24</sup>.

## 2.5.2 Παλίρροιες

Οι παλίρροιες (*tides*) είναι αλλαγές στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας, που προκαλείται από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της βαρυτικής έλξης, του ήλιου, του φεγγαριού, της μάζας της θάλασσας, της περιστροφής της Γης και την υποβρύχια τοπογραφία.

<sup>24</sup> Εμφανίζονται κυρίως, σε υποβρύχια φαράγγια.

Τυπικά, η παλίρροια αυξάνει το επίπεδο της θάλασσας. Υπάρχουν, δύο είδη παλίρροιας, η υψηλή και η χαμηλή παλίρροια, ανάλογα με την φάση του φεγγαριού, την εποχή και την περιοχή. Τέλος, η παλίρροια τείνει να είναι μικρότερη κοντά στον ισημερινό και υψηλότερη σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη.



Εικόνα 19: Μετρώντας το ύψος και το μήκος των κυμάτων

### 2.5.3 Κύματα

Τα κύματα (*waves*) αποτελούν άλλη μια μορφή κίνησης του νερού. Τα κύματα παράγονται όταν ο αέρας φυσά πάνω από την επιφάνεια του νερού. Ο αέρας πιέζει το νερό σε μικρές διακυμάνσεις (*ripples*) και σταδιακά αυτές αυξάνουν το μέγεθος τους. Όσο πιο γρήγορα και μακρύτερα φυσά ο άνεμος, τόσο πιο μεγάλα γίνονται τα κύματα.

Σε καταιγίδες, που προκαλούνται στους ωκεανούς, τα κύματα μπορούν να φτάσουν και τα 15 μέτρα. Τα κύματα που ξεπερνούν τα 15 μέτρα, ονομάζονται “τέρατα” (“*freaks*”). Μακριά από τέτοιες καταιγίδες, τα κύματα διαδίδονται με μία ομαλή, κυματιστή μορφή, που είναι γνωστή ως φουσκωτά κύματα (*swell waves*).



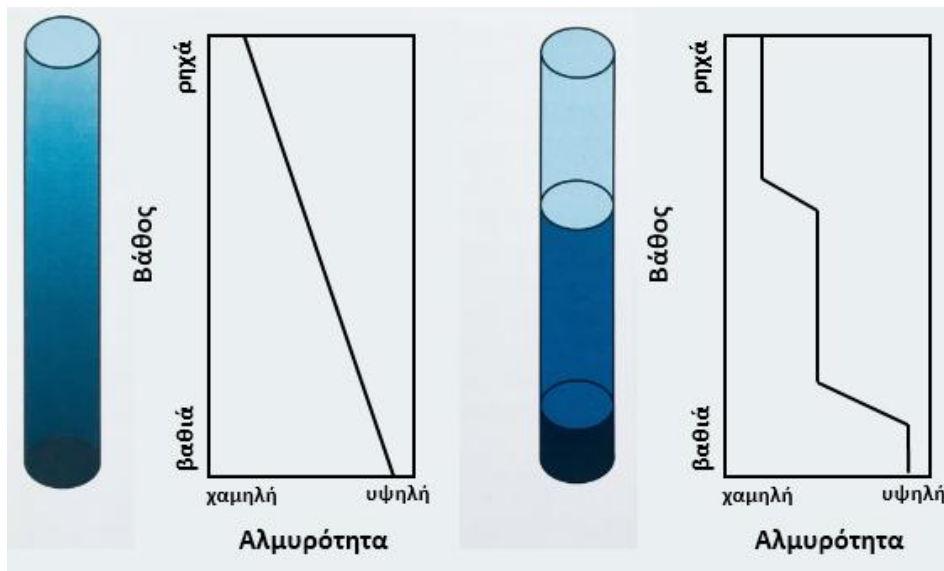
Εικόνα 20: Σχηματισμός κυμάτων

Από την άλλη, υπάρχουν και τα τσουνάμι (*tsunamis*), όπου αποτελούν μεγάλα, επικίνδυνα κύματα ή σειρά κυμάτων, που προκαλούνται από σεισμούς ή την ολίσθηση του εδάφους. Ωστόσο, δεν θα τα αναλύσουμε περεταίρω, διότι αποτελούν ένα σπάνιο φαινόμενο και το υπό σχεδιαζόμενο όχημα δεν θα λειτουργεί σε σεισμογενής περιοχές.

Σε ρηχές περιοχές τα φουσκωτά κύματα (*swell waves*), στην επιφάνεια του νερού, μεταμορφώνονται σε μεγάλα και απότομα κύματα (*surge waves*). Τέτοιου είδους κύματα, μπορούν να παρασύρουν τα υποβρύχια οχήματα από την πορεία τους ή ακόμα και να τους προκαλέσουν μεγάλες υλικές ζημιές.

## 2.6 Πρότυπο στήλης νερού

Η θερμοκρασία, η αλμυρότητα και άλλες ιδιότητες του νερού, συνήθως, διαφέρουν ανάλογα με το βάθος. Για να βοηθηθούν οι επιστήμονες να μελετήσουν και να κατανοήσουν αυτήν την ποικιλία, έχουν δημιουργήσει ένα πρότυπο που βοηθά στην απεικόνιση και την περιγραφή του τρόπου, με τον οποίο οι διάφορες ιδιότητες του νερού αλλάζουν, ανάλογα με το βάθος. Αυτό ονομάζεται *στήλη νερού* (*water column*).



Εικόνα 21: Ενδεικτικό πρότυπο αλλαγής αλμυρότητας μέσα στο νερό

Στην παραπάνω εικόνα (βλ. Εικόνα 21), απεικονίζεται ένα παράδειγμα δυο πιθανών μοντέλων, για την κατανομή της συγκέντρωσης του αλατιού, ανάλογα με το βάθος.

Στην πρώτη περίπτωση, η αλμυρότητα αυξάνεται γραμμικά, καθώς αυξάνεται το βάθος. Στην δεύτερη περίπτωση, η αύξηση δεν γίνεται γραμμικά, αλλά με ξαφνικές μετατοπίσεις. Αυτό γίνεται, διότι οι εναλλαγές του βάθους στην δεύτερη στήλη του νερού, δεν είναι ομαλή, αλλά απότομη. Για παράδειγμα, από τα ρηχά μετατοπίζεται απευθείας σε ένα βάθος 10 μέτρων, από εκεί σε ένα βάθος 100 μέτρων, και έπειτα σε ένα βάθος 1000 μέτρων.

Αυτό που πρέπει να συγκρατηθεί, από την παραπάνω αναπαράσταση (βλ. Εικόνα 21), είναι ότι σε ρηχά νερά η αλμυρότητα είναι χαμηλή, ενώ σε βαθιά νερά η αλμυρότητα είναι υψηλή.

Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως (βλ. **υποκεφάλαιο 2.4 Οπτικές Ιδιότητες νερού**), το φως είναι μια από τις ιδιότητες, που μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος. Παράλληλα, οι υπόλοιπες ιδιότητες που αλλάζουν, ανάλογα με το βάθος, είναι η θερμοκρασία, η αλμυρότητα και η πυκνότητα.

Όσον αφορά την θερμοκρασία. Το νερό προς την επιφάνεια τείνει να είναι πιο θερμό, από το νερό, που βρίσκεται πιο βαθιά, επειδή το φως του ήλιου θερμαίνει το στρώμα της επιφάνειάς του. Στον ωκεανό, το εύρος της θερμοκρασίας κυμαίνεται στους 30°C στα τροπικά νερά και 1.8°C στις πολικές περιοχές. Ο αέρας και τα κύματα όμως, μπορούν να περιπλέξουν τα πράγματα, ανακατεύοντας τις στρώσεις της θερμής επιφάνειας, με τα ψυχρότερα στρώματα που βρίσκονται από κάτω. Το πάχος και η θερμοκρασία του κάθε αναμιγμένου στρώματος



της επιφάνειας, διαφέρει συνήθως από την ένταση του ηλιακού φωτός, την ταχύτητα του αέρα και την εποχή.

Όσο για την αλμυρότητα, το αλμυρό νερό είναι πιο πυκνό από το γλυκό νερό. Υψηλή αλμυρότητα εμφανίζεται στην επιφάνεια της θάλασσας, όπου ο ήλιος και ο άνεμος προκαλούν υψηλή εξάτμιση, συγκεντρώνοντας τα άλατα. Ενώ, γενικά κοντά στους πόλους και τον ισημερινό, το γλυκό νερό, που προέρχεται από τις βροχές και το λιώσιμο των πάγων αραιώνει τα άλατα, πιο γρήγορα από το φαινόμενο της εξάτμισης, που τα συγκεντρώνει.

## 2.7 Υποβρύχια ζωή

Ο συνολικός όγκος του ωκεανού παρέχει 300 φορές περισσότερο χώρο για ζωή, από ό, τι τα χερσαία και υγρά περιβάλλοντα μαζί. Κάθε κυβικό εκατοστό της θάλασσας υποστηρίζει ζωή. Ένας σημαντικός λόγος για την κατασκευή και πλοήγηση υποβρύχιων οχημάτων είναι για την εξερεύνηση, την παρατήρηση και την μελέτη αυτής της ξεχωριστής βιοποικιλότητας (*biodiversity*).

Οχήματα που παραμένουν στο νερό, ακόμα και μερικές μέρες, συνήθως καλύπτονται από φύκια, στρείδια, σφουγγάρια ή και άλλους οργανισμούς. Αυτή, η βιοσυσσώρευση (*biofouling*) είναι δύσκολο να προληφθεί και μπορεί να αυξήσει την οπισθέλκουσα δύναμη (*drag*) του οχήματος. Μπορεί να μπλοκάρει κινούμενα κομμάτια αυτού ή και να κάνει δυσνόητη την εικόνα, που μεταδίδεται από την κάμερα.

Ωστόσο, υπάρχουν στρώματα χρωμάτων (*coatings*), που εμποδίζουν την ανάπτυξη τέτοιων οργανισμών στο κέλυφος του οχήματος, μειώνοντας το πρόβλημα. Παράλληλα, υπάρχουν αντίστοιχες στρώσεις χρωμάτων, που χρησιμοποιούνται στις οπτικές επιφάνειες (των καμερών ή των περισκοπίων) και αποτρέπουν την επέκταση της βιοσυσσώρευσης, σε αυτά.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί, σε περίπτωση που το υποβρύχιο όχημα έρθει αντιμέτωπο με κάποιο υποθαλάσσιο ζώο, (π.χ. καρχαρίας, χταπόδι). Διότι, σε πολλές από αυτές τις καταστάσεις το όχημα μπορεί να υποστεί ζημιές, μέσα από την αλληλεπίδραση του, με αυτά.

### 3. Δομή και Υλικά

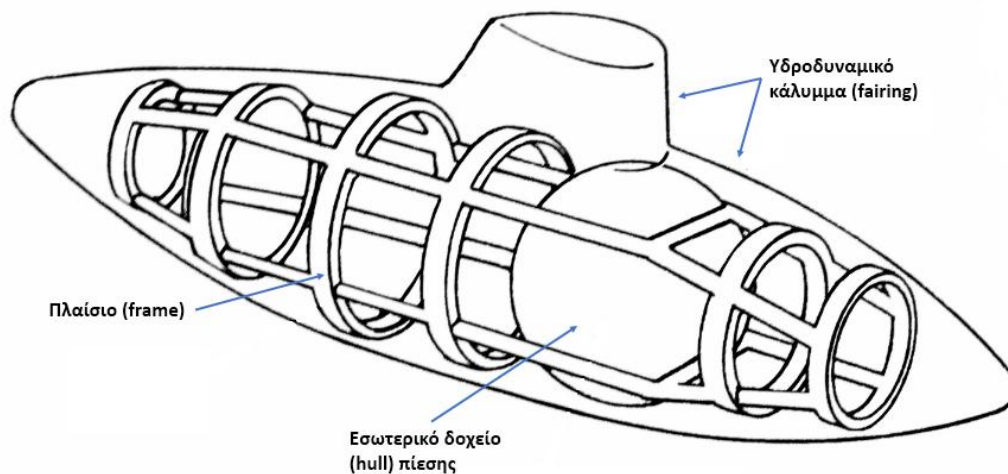
Σε αυτό το κεφάλαιο, πρωταρχικός στόχος, δεν είναι η διαμόρφωση μιας τελικής φόρμας, αλλά η κατανόηση της σημασίας της δομής, ενός υποβρύχιου οχήματος. Επιπλέον στόχος, είναι να σημειωθούν δομικά ζητήματα, επιλογές και περιορισμοί, που μπορεί να επηρεάσουν τον σχεδιασμό της τελικής φόρμας του οχήματος. Ερευνώνται παράλληλα, διάφοροι τύποι δομών, μεγεθών και πιθανών υλικών, όχι μόνο για την δομή, αλλά και για τα υπόλοιπα υποσυστήματα του οχήματος (π.χ. το κέλυφος).

Αρχικά λοιπόν, η δομή ενός υποβρύχιου οχήματος προσδίδει στο σύστημα τις εξής κρίσιμες λειτουργίες:

- Παρέχει φυσική υποστήριξη, σημεία προσάρτησης και μηχανική προστασία για όλα τα μέρη του οχήματος (π.χ. κάμερες, προωθητές, κ.α.).
- Παρέχει προστασία σε συγκεκριμένα υποσυστήματα, όπως είναι τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και σε τυχόν επιβάτες, από το νερό και την υδροστατική πίεση.
- Καθορίζει την ολική φόρμα του ρομπότ, επηρεάζοντας την εκτέλεση της αποστολής του και την εμφάνιση του.

#### 3.1 Επισκόπηση δομής

Η δομή ενός υποβρύχιου οχήματος είναι χωρισμένη, εννοιολογικά, σε τρία λειτουργικά υποσυστήματα. Καθένα από αυτά παρουσιάζει και έναν διαφορετικό ρόλο.



Εικόνα 22: Δομικά υποσυστήματα

1. Το πλαίσιο (*frame*) αποτελεί τον σκελετό του οχήματος. Συνήθως, είναι κατασκευασμένο από διασυνδεδεμένες δοκούς ή πλάκες. Συχνά, το πλαίσιο επεκτείνεται γύρω από ευαίσθητα μέρη του οχήματος, ώστε να τα προστατεύει από χτυπήματα.
2. Το κύτος πίεσης (*pressure hull*) και τα μικρότερα δοχεία πίεσης (*pressure canisters or pressure housings*), είναι δυνατά, άκαμπτα, υδατοστεγή δοχεία και συνήθως περιέχουν αέρα, σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Ένα μεγάλο υποβρύχιο μπορεί να διαθέτει ένα

μεγάλο κύτος, ώστε να περικλείει/περιβάλλει ολόκληρο το πλήρωμα και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Αντίθετα, ένα μικρότερο υποβρύχιο όχημα μπορεί να διαθέτει πολλά μικρά δοχεία πίεσης, τα οποία να περιβάλλουν διαφορετικά υποσυστήματα (αισθητήρες, κάμερες, φώτα, μοτέρ, κ.α.). Σχεδόν όλα τα δοχεία πίεσης αυτά, έχουν σφαιρικό ή κυλινδρικό σχήμα, επειδή τέτοιου είδους γεωμετρίες είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στην πίεση.

3. Το υδροδυναμικό κάλυμμα (*fairing*) είναι το κέλυφος, που καλύπτει τα πάντα. Δίνει στο όχημα μια πιο λεία, αεροδυναμική και στρογγυλόμορφη φόρμα, χωρίς ατέλειες. Το αεροδυναμικό κάλυμμα βοηθά το όχημα να γλιστρά πιο εύκολα μέσα στο νερό, βελτιστοποιώντας την ταχύτητα και την ενεργειακή απόδοση. Τα καλύμματα αυτά, χρησιμοποιούνται σε οχήματα, που θα πρέπει να ταξιδεύουν γρήγορα ή μακριά, αλλά συνήθως δεν χρησιμοποιούνται στα ROVs ή σε άλλα οχήματα που κινούνται αργά και καλύπτουν σχετικά μικρές αποστάσεις, ανά αποστολή.

Σε πολλά οχήματα, αυτά τα τρία λειτουργικά υποσυστήματα είναι φυσικά διακριτές μονάδες και είναι συχνά κατασκευασμένες από διαφορετικό υλικό. Για παράδειγμα, ένα υποβρύχιο όχημα μπορεί να διαθέτει ένα αλουμινένιο πλαίσιο, μια ακρυλική σφαίρα για δοχείο πίεσης και ένα υδροδυναμικό κάλυμμα κατασκευασμένο από ίνες γυαλιού ή υαλοβάμβακα (*fiberglass*).

Σε άλλα οχήματα, αυτές οι μονάδες μπορεί να συνδυασμένες σε μια δομική μονάδα. Για παράδειγμα, σε ένα υποβρύχιο του στρατού, ένα μεγάλο στρογγυλόμορφο δοχείο πίεσης, κατασκευασμένο από ατσάλι ή τιτάνιο, καλύπτει όλες τις τρεις παραπάνω λειτουργίες.

Στα ROVs, που τυπικά δεν υπάρχει υδροδυναμικό κάλυμμα (*fairing*), είναι κοινό να έχουμε μια μορφή δοχείου (*box*), κατασκευασμένη από ατσάλι, αλουμίνιο ή πλαστικό, ως πλαίσιο υποστήριξης, μιας συλλογής κανίστρων και του εξοπλισμού. Στα AUVs συχνά, παρουσιάζονται με ένα πλαστικό ή υαλοβάμβακερό (*fiberglass*) αεροδυναμικό κάλυμμα και ένα λεπτό και καλλίγραμμο κάνιστρο, επειδή βασίζονται σε μια αυτόνομη μπαταρία (που εμπεριέχεται σε κάποιο μέρος τους) και πρέπει να είναι αρκετά αποτελεσματικά.

### 3.2 Δομικά κριτήρια απόδοσης

Σε ένα βασικό επίπεδο, ο πρωταρχικός ρόλος μιας δομής, ενός οχήματος, είναι να διαχειρίζεται όλες τις μηχανικές δυνάμεις, που θα δέχεται το όχημα, κατά την διάρκεια της αποστολής του ή γενικότερα του κύκλου ζωής του.

Για να γίνεται αυτό, το τμήμα του πλαισίου θα πρέπει να πληροί τις εξής απαιτήσεις:

- Θα πρέπει να υποστηρίζει το βάρος ολόκληρου του ρομπότ και όλων των υποσυστημάτων του, μέσα και έξω από το νερό.
- Θα πρέπει να αντέχει και να διανέμει, αποτελεσματικά, τις δυνάμεις που συγκεντρώνει σε συγκεκριμένα σημεία του.
- Θα πρέπει να αντέχει υδροδυναμικά φορτία, που δημιουργούνται από τα ρεύματα, τα κύματα και την προώθηση του οχήματος, χωρίς ζημιές και χωρίς να επηρεάζει την λειτουργία των συστημάτων.
- Θα πρέπει να είναι σε θέση να συγκρατεί και με ασφάλεια την κάμερα, τους αισθητήρες, τους προωθητές και τα άλλα υποσυστήματα του, ώστε να λειτουργούν, να προστατεύονται και να είναι άμεσα διαθέσιμα, ώστε να μπορούν να υποστούν μικρές προσαρμογές, διορθώσεις και συντήρηση.
- Θα πρέπει να υποστηρίζει οποιαδήποτε δύναμη, που προκαλείται από τα εργαλεία ή άλλων φορτίων. Αλλά και επίσης, οποιαδήποτε δύναμη μεταφέρεται σε αυτό (στο

πλαίσιο δηλαδή), από τα διάφορα εργαλεία, καθώς αυτά λειτουργούν (πιέζονται, περιστρέφονται, κλπ.).

- Θα πρέπει να προστατεύει το όχημα από συγκρούσεις, με σκληρά αντικείμενα, όπως πέτρες, αλλά και από αναπόφευκτες διαταραχές, ειδικά σε δυσμενείς συνθήκες.

Τα κάνιστρα της δομής θα πρέπει να πληρούν τα εξής:

- Θα πρέπει να αντιστέκονται στην σύνθλιψη, από την υδροστατική πίεση, που θα παράγεται σε μεγάλα βάθη.
- Θα πρέπει να διατηρούν υδατοστεγή σφραγίδες (*seals*) κατά των δυνάμεων της υδροστατικής πίεσης και εάν είναι απαραίτητο να παρέχουν πρόσβαση στο εσωτερικό τους, για συντήρηση.
- Θα πρέπει να επιτρέπουν την πρόσβαση σε καλώδια και σωλήνες, ενώ αυτά θα παραμένουν υδατοστεγή.
- Θα πρέπει να παρέχουν τρόπους ασφαλής τοποθέτησης στο πλαίσιο.

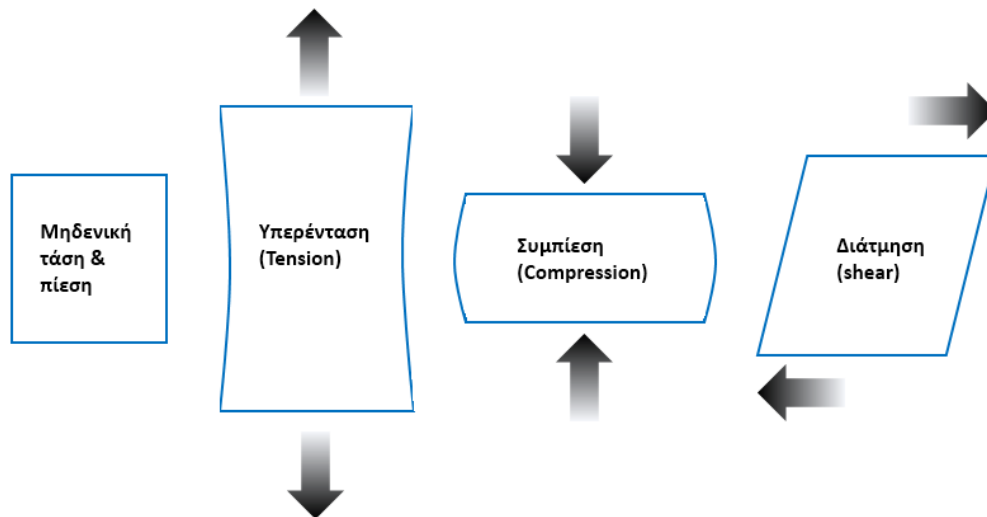
Το υδροδυναμικό κάλυμμα της δομής θα πρέπει να πληροί τα εξής:

- Θα πρέπει να παρέχει μια ομοιόμορφη φόρμα, που να μειώνει τις δυνάμεις οπισθέλκουσας (*drag forces*), να αντιστέκονται στην κίνηση του οχήματος μέσα στο νερό.
- Χρειάζεται να έχει λεία επιφάνεια. Όστε να μειώνει ή εξουδετερώνει τις δυνάμεις που μπορεί να παγιδέψουν το όχημα. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μικρά οχήματα, χαμηλής ιπποδύναμης, ώστε να μπορούν, εύκολα, να απεγκλωβιστούν από οπουδήποτε.

Είναι κρίσιμο, πριν το σχεδιασμό της δομής του οχήματος, να αναγνωρίζονται επαρκώς όλες μηχανικές δυνάμεις, που μπορεί να αναπτυχθούν σε κάθε σημείο αυτής. Οι ανάγκες της δομής εξαρτώνται, σημαντικά, από την αποστολή του οχήματος και το περιβάλλον λειτουργίας του.

### 3.3 Δύναμη, ακαμψία, βάρος & δομικές φόρμες

Η δύναμη και η ακαμψία αποτελούν τις πιο κρίσιμες πτυχές της μηχανικής επίδοσης, μιας δομής. Ο όρος δύναμη μιας δομής, αφορά την μέτρηση των μέγιστων φορτίων που μπορεί να αντέξει η δομή, προτού αποτύχει ή υποστεί κάποια άλλη μόνιμη ζημιά. Ο όρος ακαμψία μιας δομής αφορά, την μέτρηση της μέγιστης δύναμης που χρειάζεται για να λυγίσει ή παραμορφώσει την δομή, κατά κάποιο συγκεκριμένο ποσό/ποσοστό.



**Εικόνα 23: Τάση & πίεση**

Είναι πολύ πιθανό μια δομή να είναι δυνατή, αλλά όχι και άκαμπτη ή το αντίστροφο. Η δομή ενός υποβρύχιου ρομπότ, συνήθως, χρειάζεται να είναι και δυνατή και άκαμπτη, συγχρόνως. Στα περισσότερα υποβρύχια οχήματα, η δομή αποτελείται από πολλά ξεχωριστά μέρη, τα οποία έχουν ενωθεί με κάποιο τρόπο.

Έτσι λοιπόν, η δύναμη και η ακαμψία της συνολικής δομής εξαρτάται από τουλάχιστον τρία στοιχεία:

1. Την δύναμη και την ακαμψία του κάθε κομματιού. Αυτό, εξαρτάται από την φόρμα και το μέγεθος του κάθε κομματιού, καθώς και από τον τύπο του υλικού, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο.
2. Πώς αυτά τα κομμάτια έχουν διαμορφωθεί σε τρίγωνα, τετράγωνα, ορθογώνια ή σε κάποια άλλη μορφή, στην δομή.
3. Πως αυτά τα κομμάτια έχουν ενωθεί μεταξύ τους (με συγκόλληση, με κάποιο είδος κόλλας, με βίδες, κλπ.).

Το βάρος αποτελεί έναν ακόμα σημαντικό παράγοντα για την αποτελεσματική μηχανική επίδοση, μιας δομής. Λιγότερο βάρος είναι συνήθως καλύτερο, από ότι περισσότερο βάρος. Από αυτόν τον παράγοντα θα εξαρτηθεί και ο τρόπος με τον οποίο το υποβρύχιο όχημα θα εισχωρείτε στο προς εξερεύνηση θαλάσσιο περιβάλλον. Παράλληλα, μπορεί να επηρεάσει και το κόστος του προϊόντος.

Για παράδειγμα, ένα ελαφρύ και μικρότερο όχημα, που μπορεί να τοποθετηθεί στο περιβάλλον του από το χρήστη, χωρίς κάποια επιπλέον δυσκολία, είναι συνήθως πιο φθηνό, μιας και απαιτεί λιγότερο υλικό για να κατασκευαστεί.

Ωστόσο, η πραγματική πρόκληση είναι το πώς, θα δημιουργηθεί ένα τέτοιο υποβρύχιο όχημα, με χαμηλό κέντρο βάρους, χωρίς να προστεθεί επιπλέον βάρος. Υπάρχουν τρία πράγματα που μπορούν να εφαρμοστούν, για να μειωθεί το βάρος του οχήματος, χωρίς να αποδυναμωθεί η δομή του:

1. Να μειωθεί το συνολικό μέγεθος του, όσον το δυνατόν περισσότερο.
2. Να αξιοποιηθούν οι ουσίες που προσφέρουν υψηλή δύναμη και ακαμψία, λόγω της μεγάλης πυκνότητάς τους.

3. Να αξιοποιηθούν τα σχήματα δομών που προσφέρουν υψηλή δύναμη και ακαμψία, λόγο της κατανομής του βάρους τους.

Η πρώτη προσέγγιση (μείωση συνολικού μεγέθους), δεν επιζητείται τυχαία για την μείωση του βάρους, αλλά επιλέγεται κυρίως για δυο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι μικρότερα οχήματα μετατοπίζουν λιγότερο νερό, οπότε είναι λιγότερο έντονη η εκκίνηση (*launch*) τους και επομένως χρειάζονται λιγότερο βάρος για να βυθιστούν, αλλά συγχρόνως απαιτούν περισσότερη ισχύ. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι μεγάλες δομές οχημάτων είναι πολύ βαριές και χρειάζονται επιπλέον υποστηρικτικά πλαίσια, για να την συγκρατήσουν.

Έτσι ένα συμπέρασμα που προκύπτει, από τα παραπάνω, είναι ότι μικρότερα οχήματα χρησιμοποιούν τα δομικά υλικά πιο αποτελεσματικά. Και, επιπλέον:

- ✓ Παρουσιάζουν λιγότερη αντίσταση κατά την κίνηση τους στο νερό.
- ✓ Παρουσιάζουν αυξημένη ικανότητα για την επίτευξη μανουβρών.
- ✓ Παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα εξερεύνησης μικρών χώρων (π.χ. το εσωτερικό ενός ναυαγίου).

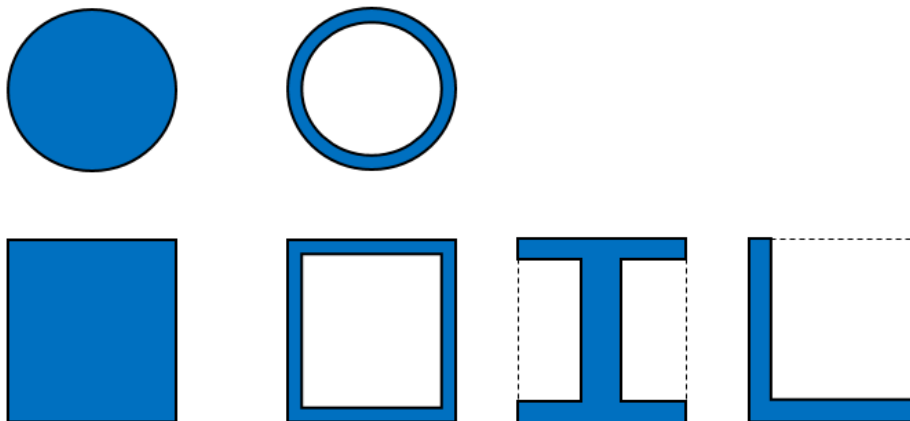
Ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του μεγέθους, ενός οχήματος, είναι η ελαχιστοποίηση του χώρου, που περισεύει, στο εσωτερικό των δοχείων πίεσης.

Η δεύτερη προσέγγιση (εκμετάλλευση ουσιών με μεγάλη πυκνότητα), αναφέρεται σε υλικά, όπως είναι τα μέταλλα, τα οποία έχουν υψηλή αναλογία δύναμης και ακαμψίας προς βάρος, σε σύγκριση με άλλα υλικά. Ωστόσο, τα μέταλλα αποτελούν βαριά υλικά, ενώ τα πλαστικά δεν είναι τόσο βαριά όσο τα μέταλλα, αλλά δεν παρέχουν την ίδια δύναμη και ακαμψία με αυτά. Ωστόσο, μπορούν να αποτελέσουν μια καλή εναλλακτική.

Ενώ, η τρίτη προσέγγιση αναφέρεται στις καλές και αποτελεσματικές φόρμες. Αυτές, μπορούν να παρέχουν υψηλά επίπεδα δύναμης και ακαμψίας, με το λιγότερο δυνατόν ποσοστό υλικού και βάρους.

Οι κύλινδροι και οι σφαίρες είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές φόρμες, για την αντίσταση στην υδροστατική πίεση. Τα σχήματα αυτά, χρησιμοποιούνται συχνά, για τα κάνιστρα και το κύτος, πολλών υποβρύχιων οχημάτων, (βλ. **κεφάλαιο 4. Δοχεία πίεσης και κάνιστρα**).

Τα πλαίσια είναι συνήθως, κατασκευασμένα από την ένωση ίσιων δοκαριών ή ράβδων. Η επιλογή ενός αποτελεσματικού πλαισίου, είναι η επιλογή μιας αποτελεσματικής σύνδεσης ίσιων ράβδων ή δοκαριών, με αποτελεσματικές δομικές ιδιότητες.



Εικόνα 24: Δυνατοί & ελαφριοί δοκοί

Παρόλο που, το πιο απλό σχήμα ενός δοκαριού είναι, συνήθως, ένα συμπαγές ορθογώνιο ή μια συμπαγής κυκλική διατομή, δεν είναι συνήθως και το καλύτερο σχήμα για ένα πλαίσιο. Αποδεικνύεται ότι η περισσότερη δύναμη και ακαμψία, παρέχεται από το υλικό κοντά στην εξωτερική επιφάνεια, διότι αυτό είναι το τμήμα του δοκαριού που τεντώνεται ή συμπιέζεται περισσότερο, όταν κάτι πρόκειται να επιχειρήσει να λυγίσει το δοκάρι. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να μειωθεί το υλικό που βρίσκεται στο κέντρο του δοκαριού (μειώνοντας παράλληλα και το βάρος του), χωρίς να μειωθεί η δύναμη και η ακαμψία του. Ένας κοίλος σωλήνας, για παράδειγμα, είναι περίπου όσο άκαμπτος είναι και ένας συμπαγής σωλήνας, ίδιας διατομής, αλλά διαφορετικού βάρους<sup>25</sup>.

Όταν έρθει η ώρα της σύνδεσης των δοκών, για τον σχηματισμό του πλαισίου, θα πρέπει να αποφασιστεί ο τρόπος σύνδεσης και ο καθορισμός των δοκών. Η ένωση με συγκόλληση μπορεί προσφέρει δυνατές, άκαμπτες ενώσεις, μεταξύ των δοκών, ωστόσο εφόσον γίνει η συγκόλληση, δεν μπορούν να μετατοπιστούν ή να αλλαχθούν οι δοκοί. Η σύνδεση με βίδες από την άλλη, δεν συγκρατεί στον ίδιο βαθμό, αλλά μπορεί να ασφαλίσει αποτελεσματικά, ενώ παράλληλα, οι βίδες είναι πιο εύκολο να αφαιρεθούν για να γίνει κάποια αλλαγή στο πλαίσιο.

Για το βέλτιστο σχήμα του υδροδυναμικού καλύμματος (*fairing*), θα πρέπει να ερευνηθεί το σχήμα των ψαριών, που σπαταλούν πολύ χρόνο κολυμπώντας μέσα στο υδάτινο περιβάλλον τους. Και μέσα από το πέρασμα των χρόνων και την διαδικασία της εξέλιξης, τα σώματα τους έχουν διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να βοηθούν την ανάπτυξη ταχύτητας και την αποδοτικότητα ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχει μεγάλη ποικιλία στις λεπτομέρειες, ανά είδος. Σχεδόν όμως, όλα τα ψάρια έχουν, περίπου, την μορφή μιας σταγόνας (βλ. Εικόνα 25).



**Εικόνα 25: Σχήμα ψαριών**

Έχουν επίσης, αρκετά λεία επιφάνεια, που είναι στρογγυλεμένη μπροστά, αλλά είναι και κωνική σε ένα σημείο ή λεπτή προς τα πίσω. Αυτή η κωνικότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική, επειδή καθώς το νερό διαχωρίζεται και ρέει γύρω από τις απέναντι πλευρές του ψαριού, το κωνικό πίσω άκρο το επαναφέρει απαλά πίσω, ελαχιστοποιώντας την αναταραχή που δημιουργείται, λόγω της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας, του.

---

<sup>25</sup> Το μήκος και το πάχος ενός δοκαριού, έχουν μεγάλη επιρροή στις μηχανικές του ιδιότητες.

### 3.4 Συμβατότητα με το υποθαλάσσιο περιβάλλον

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η δομή θα πρέπει να διατηρεί την δύναμη και την ακαμψία της και μέσα στο νερό. Τα περισσότερα μέρη μιας δομής ενός υποβρύχιου οχήματος θα έρχονται σε απευθείας επαφή με το νερό, για μεγάλες και συχνές περιόδους. Έτσι, υλικά που διαλύονται γρήγορα και γίνονται ευαίσθητα, κατά την επαφή τους με το νερό, δεν είναι κατάλληλα.

Αυτό συμβαίνει, επειδή το νερό επιταχύνει έναν αριθμό χημικών αντιδράσεων, που αποδυναμώνουν ορισμένα ιδανικά δομικά υλικά, όπως είναι τα μέταλλα, (βλ. **υποκεφάλαιο 2.1.4 Διάβρωση**).

Ένας ακόμη λόγος, που τα υλικά δεν λειτουργούν όπως λειτουργούν στην στεριά, είναι επειδή το βιολογικό περιβάλλον είναι διαφορετικό. Υπάρχουν μικροοργανισμοί, που φθείρουν τα υλικά και εν τέλει τα καταστρέφουν. Σημαντικό επίσης, είναι αποφυγή υλικών που μπορεί να απελευθερώσουν χημικές τοξίνες και να απειλήσουν την υποβρύχια χλωρίδα και πανίδα.

Έτσι λοιπόν, κατά το σχεδιασμό της δομής θα πρέπει να επιλεγθούν υλικά που να είναι συμβατά με το υποβρύχιο περιβάλλον, τόσο σε χημικό, όσο και σε βιολογικό επίπεδο.

### 3.5 Δομικά υλικά

Επιπρόσθετα, με την επιλογή του μεγέθους και τη μορφή του κάθε κομματιού της δομής, του οχήματος, θα πρέπει να επιλεγθεί και το υλικό, από το οποίο θα κατασκευαστεί, το κάθε κομμάτι της. Με το πέρασμα των χρόνων, πολλά υλικά (κυρίως μέταλλα και πλαστικά), έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την επιλογή τους, στον σχεδιασμό των υποβρύχιων δομών. Αυτά τα υλικά, έχουν κριθεί ότι μπορούν να πετύχουν την δύναμη και την ακαμψία, που απαιτείται, καθώς και την συμβατότητα που απαιτείται, από τους περιορισμούς του υδάτινου περιβάλλοντος, για την χρήση τους στις υποβρύχιες δομές των οχημάτων.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται και περιγράφονται ορισμένα πιθανά υλικά, μαζί με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους<sup>26</sup>.

#### 3.5.1 Μέταλλα

Σε σύγκριση με άλλα υλικά, τα μέταλλα είναι χημικά απλά, που μερικές φορές αποτελούνται από έναν τύπο ατόμου, ενός στοιχείου. Πιο συχνά, αποτελούνται από ένα μείγμα δυο ή περισσότερων μεταλλικών στοιχείων και μερικά είναι πιθανό να μην είναι μεταλλικά, όπως είναι ο άνθρακας (*carbon*). Αυτά τα μέταλλα ονομάζονται *κράματα* (*alloys*).

Κάθε κράμα, έχει μοναδικές ιδιότητες, που καθορίζονται από τα διάφορα χρησιμοποιημένα στοιχεία και το βαθμό ανάμειξής τους. Οι υλικές ιδιότητες πολλών κραμάτων, μπορεί να τροποποιηθούν περεταίρω, από την θέρμανση ή τον συνεχή λυγισμό και πίεση του.

Τα μέταλλα είναι δημοφιλή δομικά υλικά, για αρκετούς λόγους. Επειδή, τα περισσότερα είναι σκληρά, άκαμπτα, ανθεκτικά στη φθορά υλικά, που προσφέρουν μεγάλες αναλογίες αντοχής

---

<sup>26</sup> Η επιλογή του υλικού ή υλικών, οποιουδήποτε σχεδιαστικού πρότζεκτ, κρίνεται από τις λεπτομέρειες της αποστολής του, την δυνατότητα εύρεσης του υλικού, την δυνατότητα κατασκευής ή μέσα κατασκευής, το οικονομικό κεφάλαιο, κ.α.



ανά βάρος, αλλά επίσης μπορούν να κοπούν, να τρυπηθούν, να λυγίσουν, να συγκολληθούν, να χυτευθούν και να διαμορφωθούν σε χρήσιμα δομικά πλαίσια (π.χ. δοκοί, πλάκες, βίδες, κ.α.). Σε μεγάλα υποβρύχια οχήματα, τα μέταλλα (ιδιαίτερα τα ασάλινα κράματα) είναι τα κυρίαρχα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της δομής.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των μετάλλων, ειδικά για την υποβρύχια εργασία, είναι ότι τείνουν να είναι αρκετά ευαίσθητα στην διάβρωση. Ωστόσο όμως, ορισμένα κράματα έχουν καλή αντίσταση σε αυτή. Ενώ παράλληλα, υπάρχουν και τρόποι που μπορούν να μειώσουν την διάβρωση, σε σημείο ώστε οι ευνοϊκές ιδιότητες του μετάλλου να υπερισχύουν των μειονεκτημάτων του.

Το ασάλι (*steel*), αναφέρεται σε ένα μεγάλο γκρουπ διαφορετικών κραμάτων, στα οποία ο σίδηρος είναι το κυρίαρχο μεταλλικό στοιχείο. Πρόσθετα περιέχει άνθρακα, μαγνήσιο ή πυρίτιο. Τα διάφορα κράματα ασαλιού, διαφέρουν στην σκληρότητα, την ακαμψία, την αντίσταση στην διάβρωση και σε άλλες ιδιότητες. Αν και το ασάλι είναι πυκνό (βλ. Πίνακα 3), κάνει τα οχήματα ελαφρύτερα, διότι προσφέρει καλή αναλογία αντοχής ανά βάρος. Δηλαδή, δεν χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ασαλιού, για να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό επίπεδο αντοχής. Αυτό το πλεονέκτημα και σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος, την αφθονία, την εύκολη μηχανική κατεργασία και συγκόλληση, έχουν μετατρέψει τα κράματα ασαλιού ως την καταλληλότερη επιλογή υλικού για τα περισσότερα μεγάλα υποβρύχια οχήματα και πλοία.

Το κύριο αρνητικό του ασαλιού είναι ότι τα περισσότερα από τα κράματα του, διαβρώνονται εύκολα. Όμως, αυτά τα κράματα μπορούν να προστατευτούν από ειδικές μπογιές και άλλες μεθόδους μείωσης της διάβρωσης, (βλ. **υποκεφάλαιο 3.7 Έλεγχος της διάβρωσης**). Επιπλέον, μειονέκτημα μπορεί να αποτελέσει και το γεγονός ότι οι λεπτές ασάλινες επιφάνειες θα πρέπει να υποστούν συγκόλληση<sup>27</sup>, για να ενωθούν αποτελεσματικά. Ένα άλλο μειονέκτημα, είναι ότι τα περισσότερα κράματα από ασάλι στρεβλώνουν τα μαγνητικά πεδία και μπορούν να μαγνητίζονται. Έτσι, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να διαταράξουν το σύστημα πλοήγησης (*πυξίδα*) του οχήματος. Ωστόσο, και αυτό το θέμα μπορεί να λυθεί, χρησιμοποιώντας μια μοντέρνα, γυροσκοπική πυξίδα, η οποία δεν βασίζεται σε μαγνητικά πεδία. Αυτές οι πυξίδες, χρησιμοποιούνται σε υποβρύχια, που καταδύονται σε μεγάλα βάθη. Μία άλλη λύση, είναι να χρησιμοποιηθούν μη μαγνητικά υλικά, όπως είναι το πλαστικό ή το ανοξείδωτο ασάλι.

Το ανοξείδωτο ασάλι αποτελεί ένα ειδικό ασάλινο κράμα, στο οποίο αναμιγνύεται σίδηρος (*iron*) και χρώμιο (*chromium*). Μερικές φορές περιέχει και άλλα υλικά, ώστε να του αποδώσουν μεγαλύτερη αντίσταση στην διάβρωση. Η διαδικασία αυτή, μετατρέπει πολλά κράματα ασαλιά κατάλληλα για υποβρύχιες εφαρμογές. Ένα τέτοιο κράμα είναι το ανοξείδωτο ασάλι τύπου 316. Το υλικό αυτό, στην καθημερινότητα, συναντάτε σε υδραυλικά εξαρτήματα, ηλεκτρικά εξαρτήματα, σε βίδες κ.α. Όσον αφορά τον τομέα των υποβρύχιων οχημάτων, το ROV Phantom 350 διαθέτει ένα σωληνοειδές ανοξείδωτο πλαίσιο. Παράλληλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή μικρών κανίστρων. Αλλά, ως υλικό απαιτεί ειδικές τεχνικές συγκόλλησης.

Ένα από τα πιο στοιχειώδη μέταλλα είναι το αλουμίνιο. Τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται, κυρίως, για δοχεία πίεσης και κάνιστρα. Οι τύποι 6061 και 6063, είναι ιδιαίτερα δημοφιλής κράματα αλουμινίου, στον τομέα των υποβρύχιων ρομπότ, επειδή έχουν πολύ καλή αντίσταση στην διάβρωση, αρκετά καλή αντοχή, ενώ είναι και εύκολα διαθέσιμα. Το αλουμίνιο είναι επίσης, πιο εύκολα επεξεργάσιμο από ότι το ασάλι. Για μεσαία κλίμακας βάθη, το υλικό κατασκευής των δοχείων πίεσης κυμαίνεται ανάμεσα στο αλουμίνιο και το τιτάνιο. Συνήθως, επιλέγεται το αλουμίνιο, διότι δεν χρειάζεται κάποιο ειδικό μηχάνημα για να

<sup>27</sup> Δεν συστήνεται για την σχεδίαση ενός απλού, αειφορικού πλάνου αποσύνδεσης.

κατεργαστεί, ενώ μπορεί να υποστεί και συγκόλληση, πολύ εύκολα. Επειδή όμως, δεν είναι τόσο καλό στην αντίσταση της διάβρωσης, όσο είναι το ασάλι, θα πρέπει να υποστεί κάποια μέθοδο αντί-διάβρωσης.

Τα κράματα τιτανίου χρησιμοποιούνται σε ορισμένες υποθαλάσσιες δομές, όπως και σε πλαίσια αεροσκαφών και σε άλλες εξειδικευμένες εφαρμογές, διότι έχουν υψηλή αντοχή κατά της διάβρωσης, υψηλή αναλογία δύναμης ανά βάρος και υψηλή αντοχή κατά της θραύσης. Χρησιμοποιούνται, κυρίως, για την κατασκευή δοχείων πίεσης (*pressure hulls*), μεγάλων υποβρυχίων, συνήθως πυρηνικών. Από την άλλη, αποτελεί ένα πολύ ακριβό υλικό. Μπορεί τα τελευταία χρόνια να έχει υποστεί μια μείωση στην τιμή του και να έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και σε μικρότερα υποβρύχια, για την κατασκευή κανίστρων, βραχιόνων και άλλων μερών. Ωστόσο, το κόστος του θα χρειαστεί να πέσει ακόμα χαμηλότερα, ώστε να αποτελέσει μια βιώσιμη επιλογή για σχεδιαστικές ομάδες με μικρά οικονομικά κεφάλαια.

Ένα ακόμα μειονέκτημα, πέραν της τιμής, είναι οι ειδικές τεχνικές συγκόλλησης που απαιτούνται για την σύνδεση του.

Τέλος, ο ορείχαλκος αποτελεί ένα κράμα μετάλλου που συνδυάζει χαλκό και ψευδάργυρο. Είναι αρκετά σκληρό και δυνατό υλικό, αλλά χρειάζεται ειδικά εργαλεία επεξεργασίας. Ενώ είναι και αρκετά επιρρεπής στην διάβρωση. Ωστόσο, υπάρχει και ο λεγόμενος “ναυτικός ορείχαλκος” (“Naval brass”), ο οποίος διαμορφώνεται, ειδικά, για υψηλή αντίσταση στην διάβρωση, ειδικά για υποθαλάσσιες εφαρμογές (βλ. Εικόνα 26).



**Εικόνα 26: Ναυτικός ορείχαλκος (Naval brass)**

### 3.5.2 Πλαστικά

Τα πλαστικά είναι οργανικά πολυμερή, που αποτελούνται από αλληλένδετες αλυσίδες μορίων άνθρακα. Τα πλαστικά, αποτελούν ένα από τα κυρίαρχα υλικά στον χώρο της δομικής κατασκευής, πολλών μικρών και φθηνών υποβρύχιων οχημάτων. Αυτό το γεγονός παρατηρείται κυρίως, επειδή α) το κόστος τους είναι πολύ χαμηλό, β) είναι εύκολα διαθέσιμα, γ) μπορούν να επεξεργαστούν με αρκετή ευκολία και δ) διαθέτουν εξαιρετική αντίσταση στην διάβρωση. Για την ακρίβεια, τα πλαστικά είναι πιο ανθεκτικά απέναντι στην διάβρωση, από ότι είναι τα μέταλλα. Ωστόσο, η συνεχής έκθεση τους στο φως του ήλιου, μπορεί να αποδυναμώσει τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Τα πολυμερή έχουν επαρκή ανθεκτικότητα για οχήματα, που λειτουργούν σε, θεωρητικά, ρηχά νερά (μεταξύ 100 και 200 μέτρων βάθους). Παρόλα αυτά, δεν αποτελούν ιδανική λύση για μεγάλα υποβρύχια οχήματα, που δέχονται πολύ υψηλές δυνάμεις. Θα πρέπει να επισημανθεί επίσης, ότι τα πλαστικά μπορεί να είναι αδιάβροχα, ωστόσο μπορούν να απορροφήσουν μικρές ποσότητες νερού, όταν βυθιστούν και μπορεί να διογκωθούν, αρκετά, ώστε να προκαλέσουν προβλήματα, σε κρίσιμα σημεία<sup>28</sup> του οχήματος.

Το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας την διαδικασία του πολυμερισμού, η οποία συνδυάζει χλωριούχο βινύλιο (*vinyl chloride*) μαζί με άλλα χημικά, για την παραγωγή πλαστικού. Αυτός ο τύπος πλαστικού, είναι αρκετά δημοφιλής ως υλικό, για την χρήση του σε μικρά ROV και AUV, που δεν λειτουργούν σε βαθιά νερά. Όπως και όλα τα πλαστικά, έτσι και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), είναι φθινό, εύκολα διαθέσιμο και μπορεί να επεξεργαστεί εύκολα, χωρίς κάποιο ειδικό εξοπλισμό ή μηχανήμα. Ωστόσο, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, κατά την συγκόλληση, διότι έχει χαμηλό σημείο τήξης και λιώνει εύκολα και γρήγορα. Παράλληλα, δεν θεωρείται κατάλληλο για την χρήση του σε ρομπότ, που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες. Διότι, γίνεται εύθραυστο.

Το ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρολίου (ABS) είναι ένα αρκετά σκληρό και ισχυρό, κατά της κρούσεις, πλαστικό. Είναι ισχυρότερο από το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, μια σωλήνα από ABS, έχει συνήθως φυσαλίδες αναμιγμένες μέσα στο πλαστικό. Και αυτό, να μεν μπορεί να κάνει την σωλήνα πιο ελαφριά, αλλά η αφρώδης εσωτερική υφή μπορεί να δυσκολέψει στην απόδοση μιας λείας επιφάνειας.

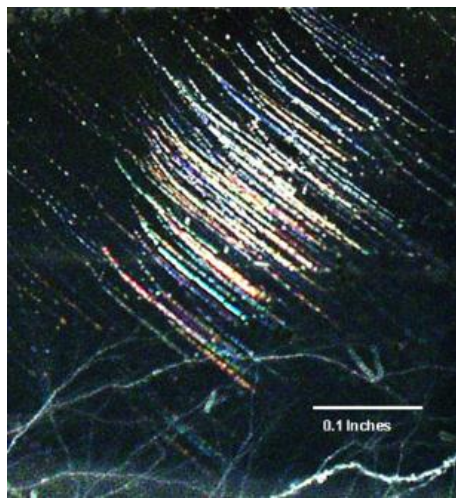
Το πολυανθρακικό (*polycarbonate*) αποτελεί ένα σκληρό και ισχυρό, στις συγκρούσεις, πλαστικό. Μπορεί να διαμορφωθεί σε περίπλοκα σχήματα/φόρμες και συχνά χρησιμοποιείται για το χώρο αποθήκευσης της κάμερας, του ρομπότ. Στο εμπόριο είναι πιο γνωστό με την ονομασία Lexan®.

Το πλαστικό ακετάλη, παρουσιάζεται συχνά σε μαύρη, γκρίζα ή αδιαφανής (*opaque white*) απόχρωση. Είναι σκληρή και ισχυρή σε συγκρούσεις. Χρησιμοποιείται κυρίως, για ρουλεμάν ή γρανάζια χαμηλής τριβής ή άλλα μηχανικά μέρη, σε περιβάλλοντα όπου τα παρόμοια μεταλλικά εξαρτήματα, μπορούν να σκουριάσουν. Στα υποβρύχια οχήματα, συνήθως χρησιμοποιείται για το περίβλημα/κάλυμμα οργάνων και την δημιουργία δοχείων πίεσης/κάνιστρα και κάψουλες. Παράλληλα, έχει χαμηλή απορρόφηση υγρασίας, έτσι δεν απορροφά νερό, κατά την επαφή με αυτό. Στο εμπόριο είναι πιο γνωστή υπό την ονομασία Delrin®.

Το ακρυλικό είναι ένα μεθακρυλικό πολυμερές και έχει εξαιρετική αντίσταση στην διάβρωση, ενώ μπορεί και αυτό να επεξεργαστεί με αρκετή ευκολία. Πωλείται σε διάφορα σχήματα, ακόμα και ασυνήθιστα. Μία ξεχωριστή και χρήσιμη ιδιότητα ενός ακρυλικού πλαστικού είναι ότι

<sup>28</sup> Κρίσιμα, λόγω σχεδίασης ή τοποθέτησης.

μπορεί να κατασκευαστούν οπτικά καθαρά και λεία παράθυρα. Έτσι λοιπόν, συχνά χρησιμοποιείται για θύρες προβολής καμερών. Επίσης, ορισμένα κάνιστρα μπορούν να κατασκευαστούν από ακρυλικό πλαστικό, διότι είναι αρκετά καλό στην αντίσταση ομοιόμορφων φορτίων συμπίεσης, που παράγονται λόγω της υδροστατικής πίεσης. Ωστόσο, δεν είναι κατάλληλο για ανυψωτικά φορτία ή σοβαρές συγκρούσεις. Για αυτό και συνήθως, χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλαισίων. Στο εμπόριο είναι πιο γνωστό υπό την ονομασία Plexiglas®. Ένα σημαντικό μειονέκτημα, είναι ότι μπορεί να γρατζουνιστεί με ευκολία. Μπορεί να αναπτύξει μικρές ρωγμές στο πέρασμα του χρόνου, που ονομάζονται υπό την αγγλική ορολογία “crazing”. Αυτή η διαδικασία (*crazing*), επιταχύνεται από επαναλαμβανόμενους κύκλους φόρτισης του υλικού και από τις αλλαγές στην θερμοκρασία του<sup>29</sup>.



**Εικόνα 27: Απεικόνιση ενός σταδίου της διαδικασίας crazing**

---

<sup>29</sup> Ουσιαστικά το “crazing” είναι η διαδικασία ανάπτυξης μικρών ρωγμών, οι οποίες στην συνέχεια σχηματίζουν μεγαλύτερες ρωγμές και οδηγούν το υλικό σε αστοχία.

**Πίνακας 3: Ιδιότητες υλικών (μερικών μετάλλων & πλαστικών) για κατασκευή δομών υποβρύχιων οχημάτων**

Υλικό	Αντοχή (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Αντίσταση διάβρωσης	Κόστος <sup>30</sup>	
					Ανά ράβδο	Ανά κιλό
Ανθρακούχος χάλυβας	500	200	7860	Κακή	17.45€	5.25€
Ανοξειδωτο ασάλι (316)	550	195	8000	Πολύ καλή	43.50€	11.35€
Αλουμίνιο (6061)	310	70	2700	Καλή	13€	10.50€
Τιτάνιο (Ti-6Al- 4v)	1000	110	4430	Εξαιρετική	435.65€	212.50€
Ναυτικός ορείχαλκος (485)	430	100	8440	Ικανοποιητική	65.35€	16.60€
Μπρούτζος (316)	450	115	8860	Καλή έως πολύ καλή	109€	26.15€
PVC (εξωθμημένο)	46	1.9	1360	Εξαιρετική	5.25€	8.70€
ABS (χυτό)	40	2.2	1050	Εξαιρετική	14.85€	30.50€
Πολυανθρακικό (εξωθμημένο)	70	2.4	1200	Εξαιρετική	23€	40.95€
Ακετάλη	60	3.1	1420	Εξαιρετική	13€	19.20€
Ακρυλικό	80	3.3	1200	Εξαιρετική	12.25€	21.80€

Πέραν των μετάλλων και των πλαστικών, και άλλοι τύποι υλικών έχουν αποδειχθεί ότι είναι χρήσιμοι, στην κατασκευή δομών, υποβρύχιων οχημάτων. Κάποια από αυτά τα υλικά είναι τα εξής:

- Γυαλί. Κύρια χρήση του σε θύρες παραθύρων, σε πλοία και υποβρύχια οχήματα. Παλαιότερα (αρχές 1960), χρησιμοποιούταν και για την δημιουργία δοχείων πίεσης, ωστόσο με την εμφάνιση του ακρυλικού πλαστικού, υποβιβάστηκε στις προτιμήσεις, για αυτό τον τομέα σχεδιασμού. Ένα κύριο μειονέκτημα, είναι η ευθραυστότητα του σε συγκρούσεις. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι το γυαλί έχει αυξημένη αντίσταση κατά της υδροστατικής πίεσης, όταν είναι διαμορφωμένο σε κάποια σφαιρική φόρμα.
- Πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (υαλοβάμβακα ή αλλιώς ανθρακονήματα ή *GRP*). Στο εμπόριο είναι πιο γνωστό υπό την ονομασία Fiberglas®. Τα λεγόμενα και σύνθετα υλικά, αποτελούνται από σωματίδια μίας ουσίας, ενσωματωμένα μέσα σε μια άλλη ουσία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την μετάδοση ή αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων, μεταξύ των ουσιών (π.χ. για αύξηση της αντοχής ή της σκληρότητας ενός υλικού). Πλέον, πολλά καθημερινά οχήματα, όπως ποδήλατα και αυτοκίνητα, χρησιμοποιούν

<sup>30</sup> Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικοί μέσοι όροι, που χρησιμοποιούνται για συγκριτικούς λόγους. Η ιδιότητα του κάθε υλικού μπορεί να αλλάζει ανάλογα με την σύνθεση του κράματος, την θερμοκρασία, την έκθεση του στο περιβάλλον και άλλους παράγοντες. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να βασιστείτε στους παραπάνω αριθμούς για την επιλογή του υλικού. Ομοίως, και για τα κόστη. Είναι ενδεικτικά και μπορούν να επηρεαστούν από την ποσότητα του υλικού και τις συνθήκες της αγοράς.

σύνθετα υλικά (όπως ανθρακονήματα), για την διαμόρφωση του δομικού τους σκελετού. Πολλές φορές, τα σύνθετα τείνουν να έχουν μεγαλύτερες αντοχές και σκληρότητα, ακόμα και από τα μέταλλα. Είναι επίσης, πολύ πιο ελαφριά, αλλά πολλά από τα χημικά, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους, είναι αρκετά τοξικά (απαιτείται ειδικός εξοπλισμός, όπως γάντια, μάσκες, κλπ.). Τέλος, τα περισσότερα, πλέον, υποβρύχια ρομπότ (ROV) χρησιμοποιούν σε κάποιο τμήμα τους κάποιο τύπο σύνθετου υλικού. Στα μικρά ROV, για παράδειγμα, μπορεί να εφαρμόζεται στο πλαίσιο (*frame*) της δομής τους ή στην δημιουργία του αεροδυναμικού καλύμματος (*fairing*) τους.

- Κεραμικά. Παρουσιάζουν αρκετές ιδιότητες, χρήσιμες, για την εφαρμογή τους σε υποθαλάσσιες δραστηριότητες. Τέτοιες είναι:
  - ✓ αντίσταση στην διάβρωση
  - ✓ αδιάβροχα
  - ✓ θερμικά αγωγιμα
  - ✓ μη μαγνητικά
  - ✓ μονωτικά ηλεκτρισμού.

Πολλές φορές μπορεί να θεωρηθούν εύθραυστα. Ωστόσο, έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κανίστρων και δοχείων πίεσης. Λόγο του ελαφριού βάρους τους και της καλής αντοχής τους στην πίεση.

- Καουτσούκ. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την κατασκευή υδατοστεγών δαχτυλιδιών (*O-rings seals*) σε κάνιστρα, καθώς και προφυλακτήρων, για εξωτερική προφύλαξη από συγκρούσεις.

**Πίνακας 4: Δομικοί ρόλοι ορισμένων υλικών στον υποβρύχιο σχεδιασμό**

Υλικά		Για πλαίσιο	Δοχεία πίεσης (μεγάλα)	Κάνιστρα (μικρά)
Μέταλλα	Ατσάλι	Ναι	Ναι	Όχι συχνά
	Ανοξείδωτο ατσάλι	Ναι	Όχι	Ναι
	Αλουμίνιο	Ναι	Ναι	Ναι
	Τιτάνιο	Ναι	Ναι	Ναι
Πλαστικά	Ακρυλικό	Όχι	Ναι	Μόνο για μικρά κάνιστρα
	PVC	Μικρά οχήματα	Όχι	Μόνο για μικρά κάνιστρα
	Ακετάλη	Μικρά οχήματα	Όχι	Μόνο για μικρά κάνιστρα
Άλλα	Γυαλί	Όχι	Πειραματικό στάδιο	Ναι
	GRP	Ναι ( <i>Fairings</i> )	Πειραματικό στάδιο	Ναι
	Κεραμικά	Όχι	Πειραματικό στάδιο	Πειραματικό στάδιο
	καουτσούκ	Για προφυλακτήρες	Για δαχτυλίδια <sup>31</sup>	Για δαχτυλίδια

<sup>31</sup> Τα δαχτυλίδια (*O-rings seals*), συγκρατούν την πίεση του νερού από διαρροή στα δοχεία πίεσης και τα κάνιστρα, (βλ. **υποκεφάλαιο 4.4 Ανοίγματα στεγανότητας**).

### 3.6 Μεταλλική διάβρωση

Σε αυτό το υποκεφάλαιο, αναλύεται η διαδικασία της μεταλλικής διάβρωσης και αναφέρονται ορισμένοι τρόποι καταπολέμησης της.

Αρχικά, διάβρωση είναι η σταδιακή επιδείνωση του μετάλλου, μέσω κάποιας χημικής δράσης. Τα αρχικά στάδια της, συχνά εμφανίζονται ως έναν ελαφρύ αποχρωματισμό στην επιφάνεια του υλικού. Στα πιο ανεπτυγμένα στάδια της διάβρωσης, πραγματοποιείται σημαντική απώλεια υλικού και αποδυνάμωση δομικών στοιχείων (βλ. Εικόνα 28).

Εικόνα από James P. Delgado



Εικόνα 28: Αποτέλεσμα διάβρωσης

Παράλληλα, η διάβρωση μπορεί να επηρεάσει και άλλους τύπους υλικών, που συνδέονται με τα μέταλλα. Η διάβρωση στο ασφάλι, είναι ιδιαίτερα ανησυχητική, κυρίως εξαιτίας της σημαντικότητας του ως δομικό υλικό, σε μεγάλες κατασκευές (π.χ. ουρανοξύστες). Σε μικρότερα υποβρύχια οχήματα, το αλουμίνιο έχει τον κυρίαρχο ρόλο, εξαιτίας της υψηλής του αντίστασης στην διάβρωση<sup>32</sup>.

Σε ένα κράμα μετάλλου, ο αριθμός των ηλεκτρονίων σε κάθε άτομο, ισούται με τον αριθμό των πρωτονίων, ώστε το άτομο να έχει ουδέτερη φόρτιση, (δηλαδή ούτε θετική, ούτε αρνητική). Η διάβρωση, συμβαίνει όταν "κάτι" απομακρύνει τα χαλαρά, συνδεδεμένα ηλεκτρόνια, φορτίζοντας θετικά τα μεταλλικά άτομα. Αυτή η διαδικασία απομάκρυνσης των ηλεκτρονίων ονομάζεται *οξειδωση (oxidation)*, διότι τα άτομα που ευθύνονται για αυτήν την απομάκρυνση, είναι συνήθως τα άτομα οξυγόνου<sup>33</sup>.

Ο βαθμός οξειδωσης σε ξηρό αέρα είναι συνήθως αργός, επειδή η στρώση της μεταλλικής οξειδωσης, που διαμορφώνεται κατά την αντίδραση, συχνά λειτουργεί σαν ένα μονωτικό φράγμα, που μπλοκάρει την επαφή του οξυγόνου με το μέταλλο. Σε πολλά μέταλλα, όπως είναι το αλουμίνιο και το ανοξειδωτο ασφάλι, αυτή η στρώση οξειδωσης σταματά την

<sup>32</sup> Κανένα μέταλλο, ούτε καν ο χρυσός, δεν είναι τελείως απρόσβλητος από την διάβρωση.

<sup>33</sup> Η σκουριά αποτελεί ένα παράδειγμα, μεταλλικής οξειδωσης.

αντίδραση της οξειδωσης, σχεδόν, μόλις αυτή ξεκινήσει. Αφήνοντας, το μέταλλο ανεπηρέαστο από την διάβρωση.

Από την άλλη, εάν βρίσκεται υπό την παρουσία νερού, τότε η κατάσταση διαφοροποιείται. Τα μεταλλικά ιόντα, που έχουν δημιουργηθεί κατά την οξειδωση, διαλύονται εύκολα και παρασύρονται μακριά. Εν τέλει, αυτό αφήνει κενά – κοιλότητες ή δημιουργεί πόρους στην επιφάνεια του μετάλλου.

Έτσι, στο νερό ο βαθμός της διάβρωσης επιταχύνεται. Ιδιαίτερα, στο θαλασσινό νερό, όπου τα διαλυμένα ιόντα του αλατιού μεταφέρουν ηλεκτρική φόρτιση, εξίσου αποτελεσματικά, διευκολύνοντας την απομάκρυνση των ηλεκτρονίων από το μέταλλο.

Επιπλέον, δυο σχετιζόμενες διαδικασίες που επισπεύδουν το βαθμό μεταλλικής διάβρωσης είναι:

- Γαλβανική διάβρωση (*galvanic corrosion*)
- Ηλεκτρολυτική διάβρωση (*electrolytic corrosion*)

### 3.6.1 Γαλβανική διάβρωση (Galvanic corrosion)

Ο βαθμός με τον οποίο ένα μέταλλο διαβρώνεται, μέσα σε νερό, μπορεί να επηρεαστεί από την επαφή με κάποιο άλλο μέταλλο. Διαφορετικά μέταλλα, έχουν διαφορετικές σχέσεις για τα ηλεκτρόνια. Εάν, δύο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή, μέσα στο νερό, το πιο αρνητικά φορτισμένο (αυτό που είναι λιγότερο πρόθυμο να παραδώσει τα ηλεκτρόνια του) θα προσπαθήσει να προσελκύσει τα ηλεκτρόνια, του λιγότερο αρνητικά φορτισμένου μετάλλου. Έτσι, τα μέταλλα που είναι πιο πολύ αρνητικά φορτισμένα, διαβρώνονται πιο αργά ή ακόμα και καθόλου. Εν το μεταξύ, τα λιγότερο αρνητικά φορτισμένα μέταλλα, διαβρώνονται πολύ πιο γρήγορα.

Αυτός ο βαθμός επιτάχυνσης της διάβρωσης, η οποία είναι αποτέλεσμα της επαφής μεταξύ ανόμοιων τύπων μετάλλου, υπό την παρουσία νερού, ονομάζεται γαλβανική διάβρωση (*galvanic corrosion*).

### 3.6.2 Ηλεκτρολυτική διάβρωση (*Electrolytic corrosion*)

Εφόσον, η διάβρωση εμπλέκει την κίνηση των ηλεκτρονίων ή την φόρτιση σωματιδίων, αποτελεί ουσιαστικά μια θεμελιώδη ηλεκτρική διαδικασία. Επομένως, μπορεί να επηρεαστεί από την τάση (*voltage*), η οποία δρα ως ηλεκτρική πίεση, προσπαθώντας να ωθήσει τα ηλεκτρικά φορτισμένα, σωματίδια, από το ένα μέρος, στο άλλο.

Στην γαλβανική διάβρωση (*galvanic corrosion*), η τάση (*του ηλεκτρικού ρεύματος*), που σπρώχνει τα φορτισμένα σωματίδια, είναι δημιούργημα των διαφορών μεταξύ των ηλεκτρονιακών σχέσεων, των ανόμοιων μετάλλων. Στην ηλεκτρολυτική διάβρωση (*electrolytic corrosion*) όμως, οι τάσεις εφοδιάζονται από μια εσωτερική πηγή δύναμης, (π.χ. μπαταρία). Οπότε, η διάβρωση μπορεί να επιτευχθεί ταχύτατα.



### 3.7 Έλεγχος της διάβρωσης

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι, με τους οποίους μπορεί να μειωθεί ή αποτραπεί μια μεταλλική διάβρωση. Όλοι τους λειτουργούν, σταματώντας ή μειώνοντας την κίνηση των ηλεκτρονίων, από τα μεταλλικά άτομα. Επίσης, η διάβρωση μπορεί να μειωθεί ή να σταματήσει, μπλοκάροντας οποιοδήποτε στάδιο αυτής.

Ο καλύτερος τρόπος για την αποφυγή μεταλλικής διάβρωσης είναι η αποφυγή της χρήσης μεταλλικών υλικών. Εάν όμως, χρειάζεται να γίνει χρήση μεταλλικών υλικών, καλύτερα να χρησιμοποιηθούν κράματα, που από την φύση τους είναι πιο ανθεκτικά στην διάβρωση, από ότι είναι άλλα<sup>34</sup>. Παράλληλα όμως, υπάρχουν παράγοντες που περιορίζουν την χρήση συγκεκριμένων υλικών (π.χ. χαμηλό χρηματικό κεφάλαιο).

Μια από τις πιο συνήθεις μεθόδους προστασίας έναντι της διάβρωσης είναι η πλήρης, επικάλυψη της επιφάνειας του μετάλλου, με ένα ηλεκτρικά μονωτικό υλικό. Αυτή η επίστρωση του νέου υλικού, δρα ως ένα φράγμα κατά του οξυγόνου, του νερού ή κάποιου άλλου διαβρωτικού χημικού. Η μπογιά (*paint*), αποτελεί το πιο κοινό παράδειγμα, ενός τέτοιου υλικού.



**Εικόνα 29: Παράδειγμα προστατευτικής μπογιάς**

Ωστόσο, ακόμα και οι μπογιές αυτές, εμφανίζουν ορισμένα λάθη, τα οποία με την σειρά τους ενθαρρύνουν την έναρξη της διάβρωσης. Τέτοια λάθη, μπορεί να είναι μικρές γρατζουνιές ή άλλες ατέλειες, που εν τέλει εκθέτουν το υλικό στην διάβρωση.

Η μέθοδος ανοδικά μεταλλικές επιφάνειες (Anodize metal surfaces), αποτελεί μια παραλλαγή της μπογιάς, αλλά η επίστρωση απλώνεται μέσω της διαδικασίας της διάβρωσης. Για παράδειγμα, το αλουμίνιο συχνά, αντιμετωπίζεται μέσω μιας προσεκτικά ελεγχόμενης ηλεκτρολυτικής διάβρωσης, η οποία αναπτύσσει ένα παχύ στρώμα οξειδίου του αργιλίου, στην επιφάνεια του υλικού. Αυτό ονομάζεται *ανοδίωση (anodization)*. Το διαμορφωμένο στρώμα αυτό, είναι αρκετά σκληρό και λειτουργεί, αποτελεσματικά, ως φράγμα κατά των γρατζουνιών και της μη ελεγχόμενης διάβρωσης.

<sup>34</sup> Ακόμα και τα κράματα που είναι ανθεκτικά στην διάβρωση, θα διαβρωθούν.

Μια άλλη παρόμοια προσέγγιση, που χρησιμοποιεί διάβρωση για να καταπολεμήσει την δημιουργία διάβρωσης, είναι η χρήση θυσιαστικών ανόδων (*sacrificial anodes*). Η διάβρωση της καθόδου (*cathode*) μειώνεται ή σταματάει, καθώς η διάβρωση της ανόδου (*anode*) επιταχύνεται.

Μερικές φορές, η αποτυχία μιας δομής μπορεί να εντοπιστεί στο μέταλλο εκείνο, που χρησιμοποιείται για την δημιουργία μιας θυσιαστικής ανόδου (*sacrificial anode*). Αυτό είναι πολύ πιθανό να συμβεί, όταν τα συνδετικά κομμάτια φτιάχνονται από έναν τύπο μετάλλου, για να συνδέσουν άλλα κομμάτια δομής, που είναι κατασκευασμένα από έναν διαφορετικό κράμα μετάλλου (σε σχέση με αυτό των συνδετικών κομματιών). Για παράδειγμα, εάν οι μεταλλικές βίδες, που συνδέουν τους δοκούς ενός πλαισίου, προσφέρουν ηλεκτρόνια, σε αυτό, τότε οι βίδες θα διαλυθούν και το πλαίσιο θα καταρρεύσει.

**Πίνακας 5: Συμβατότητα μεταξύ ορισμένων τύπων μετάλλων**

<b>Ως σύνδεσμοι</b>				
<b>Κράματα μετάλλων</b>	Αλουμίνιο	Ανθρακούχος χάλυβας	Χάλκινο πυρίτιο	Ανοξειδωτο ατσάλι 316
Αλουμίνιο	Ουδέτερη <sup>35</sup>	Συμβατή <sup>36</sup>	Μη Συμβατή <sup>37</sup>	Μη Συμβατή
Χάλυβας & χυτοσίδηρος	Μη Συμβατή	Ουδέτερη	Συμβατή	Συμβατή
Χαλκός	Μη Συμβατή	Μη Συμβατή	Συμβατή	Συμβατή
Ανοξειδωτο ατσάλι 316	Μη Συμβατή	Μη Συμβατή	Μη Συμβατή	Ουδέτερη

<sup>35</sup> “Ουδέτερη”, μπορεί να υπάρξει κάποια μικρή διάβρωση σε σημεία, όπως το κάτω μέρος του κεφαλιού της βίδας.

<sup>36</sup> “Συμβατή”, μπορεί να υπάρξει κάποια μικρή μεγέθυνση της τρύπας της βίδας., στο πέρασμα του χρόνου.

<sup>37</sup> “Μη Συμβατή”, τα μέταλλα της αριστερής στήλης θα τείνουν να είναι καθοδικά, αυξάνοντας το ηλεκτρικό δυναμικό, του μετάλλου (λόγο μεγάλης επιφάνειας κράματος).

## 4. Δοχεία πίεσης και κάνιστρα

---

Η υδροστατική πίεση αποτελεί την μεγαλύτερη απειλή (ως προς την κατασκευή του), που μπορεί να αντιμετωπίσει ένα υποβρύχιο όχημα. Η πίεση αυτή, μπορεί να αναπυχθεί οπουδήποτε μέσα στο νερό. Τα δοχεία και τα κάνιστρα πίεσης, ενός υποβρύχιου οχήματος, είναι δομές, ειδικά σχεδιασμένες, ώστε να αντέχουν, τέτοιου είδους πίεσης. Τα δοχεία αυτά, παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο, στην ασφάλιση ευαίσθητων συστημάτων (π.χ. πλήρωμα και ηλεκτρονικά συστήματα), από πιθανή πλημμύρα ή κατάρρευση του οχήματος.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθεί, περαιτέρω, το πρόβλημα της πίεσης και θα συζητηθούν πιθανές τεχνικές κατασκευής δοχείων και κάνιστρα πιέσεων. Αυτή η πληροφορία θεωρείται κρίσιμη, διότι μπορεί να καθορίσει την επιτυχία της αποστολής του ρομπότ.

### 4.1 Πίεση, ατμοσφαιρική πίεση & διαφορικό πίεσης

Γενικά, όταν ασκείται πίεση σε ένα ρευστό, αυτό τείνει να ρέει μακριά. Εάν όμως, το ρευστό είναι περιορισμένο, τότε δεν μπορεί να κινηθεί μακριά από το σημείο πίεσης, με αποτέλεσμα να πιέζεται. Στο επίπεδο της θάλασσας, η ατμοσφαιρική πίεση δημιουργείται από το βάρος της ατμόσφαιρας<sup>38</sup>.

Αξίζει να αναφερθεί επίσης, ότι θαλάσσιοι οργανισμοί (π.χ. ψάρια βυθού, χταπόδια κ.α.), με μια συγκριτικά, εύθραυστη δομή (σώμα) μπορούν και επιζούν, κάτω από ισχυρές πιέσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή, ο εσωτερικός αέρας που πιέζει προς τα έξω, είναι της ίδιας έντασης με τον εξωτερικό αέρα που πιέζει προς τα μέσα. Ως αποτέλεσμα, η δομή του σώματος, των θαλάσσιων οργανισμών, υποστηρίζεται και δεν καταρρέει.

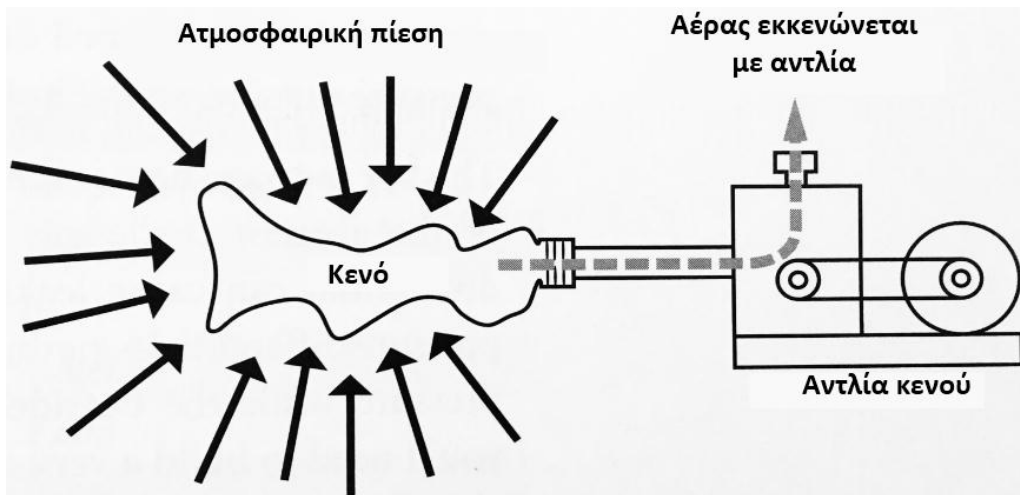
Εάν όμως, μειωθεί η εσωτερική πίεση, με κάποιο τρόπο, τότε η δομή θα καταρρεύσει προς τα μέσα<sup>39</sup> (βλ. Εικόνα 30). Αυτή η διαφορά μεταξύ πιέσεων ονομάζεται *διαφορικό πίεσης*<sup>40</sup> (*pressure differential*). Αυτή, υπάρχει και στα υποβρύχια ρομπότ. Δηλαδή, η εσωτερική τους πίεση δεν είναι αρκετή για να ισορροπήσει με την εξωτερική τους. Και για αυτό, το εσωτερικό τους πρέπει να είναι δυνατό, ώστε να μπορούν να αντέξει την εξωτερική πίεση.

---

<sup>38</sup> Μια ατμόσφαιρα ισούται με 14.7 psi.

<sup>39</sup> Επειδή η εξωτερική πίεση θα είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική.

<sup>40</sup> Τα θαλάσσια ζώα δεν χρειάζεται να διατηρήσουν κανένα διαφορικό πίεσης, μέσα στα τοιχώματα του σώματος τους.



Εικόνα 30: Αποτέλεσμα μείωσης εσωτερικής πίεσης

Οι μετρητές πίεσης, εμφανίζουν την διαφορά μεταξύ της πίεσης που μετρείται και μιας πίεσης αναφοράς. Ωστόσο, υπάρχουν δύο διαφορετικές πιέσεις αναφοράς, το κενό (*vacuum* = 0 atm) και την περιβάλλουσα πίεση (*ambient pressure* - περίπου 1atm). Οι μετρητές που χρησιμοποιούν ως πίεση αναφοράς το κενό (*vacuum*), αναφέρουν απόλυτες ενδείξεις πίεσης (*absolute pressure readings – psia*), ενώ αυτές που χρησιμοποιούν την περιβάλλουσα πίεση αναφέρουν μανομετρικές ενδείξεις πίεσης (*gauge pressure readings – psig*). Οι δύο τύποι αυτοί, διαφέρουν κατά 1atm.

$$psia = psig + 1atm$$

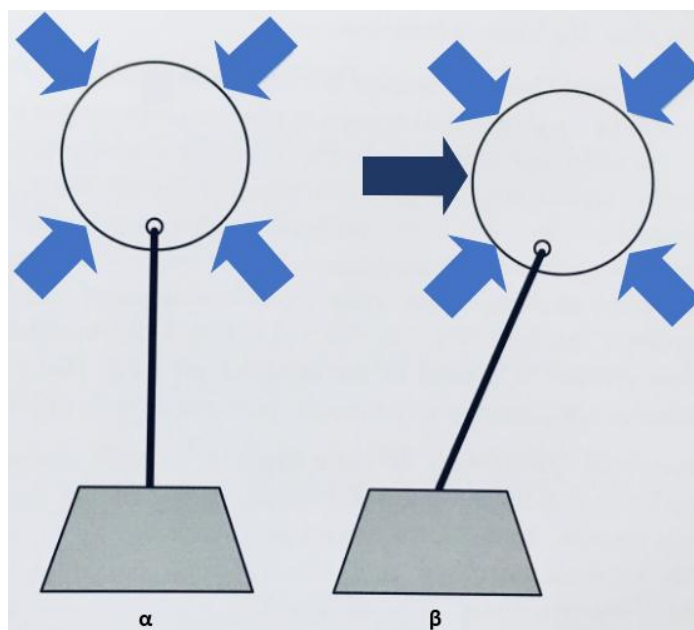
Στον υποβρύχιο σχεδιασμό ενός οχήματος, χρησιμοποιούνται και οι δυο, τύποι πίεσης. Οπότε, είναι σημαντικό να μπορούν να διαφοροποιηθούν, από την σχεδιαστική ομάδα. Με τον παρακάτω πίνακα, η διαφορά αυτών, μπορεί να κατανοηθεί πιο εύκολα.

Πίνακας 6: Σύγκριση απόλυτης και μανομετρικής πίεσης

	Ένδειξη πίεσης	
	Απόλυτη	Μανομετρική
Κενό (π.χ. απώτερο διάστημα)	0	-1 atm
Επίπεδο θάλασσας	1 atm	0
10 μέτρα κάτω από την θάλασσα	2 atm	1 atm
20 μέτρα κάτω από την θάλασσα	3 atm	2 atm
30 μέτρα κάτω από την θάλασσα	4 atm	3 atm

#### 4.1.1 Υπολογισμός υδροστατικής πίεσης κάτω από το νερό

Τα υποβρύχια οχήματα μπορεί να συναντήσουν δυο πηγές υδροστατικής πίεσης. Η υδροστατική πίεση ονομάζεται η πίεση που μπορεί να υπάρξει, ακόμα και σε μια στατική κατάσταση, όπου το νερό δεν κινείται. Σε αντίθεση, με την *υδροδυναμική πίεση (hydrodynamic pressure)*, που σχετίζεται με την κίνηση του νερού.



Εικόνα 31: Πηγές υδροστατικής πίεσης

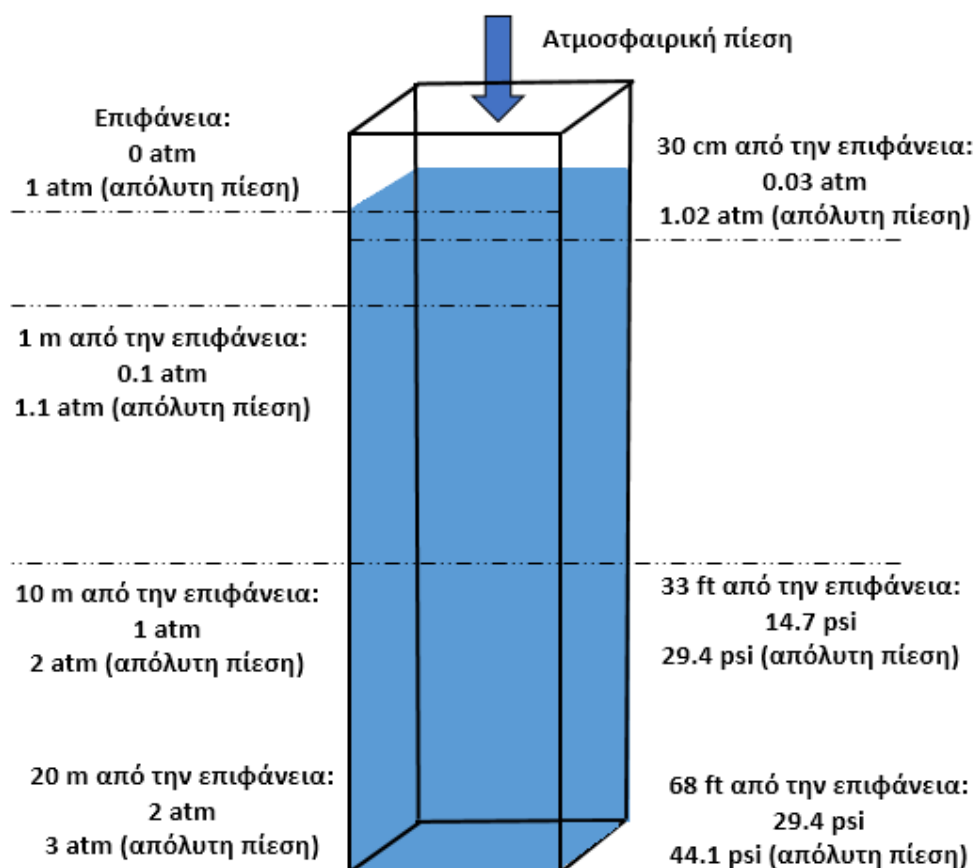
Στην παραπάνω απεικόνιση (βλ. Εικόνα 31), στην πρώτη κατάσταση (α - ήρεμη), η υδροστατική πίεση ασκείται σε όλα τα σημεία, ενός βυθισμένου αντικειμένου, χωρίς να υπάρχει υδροδυναμική πίεση. Στην δεύτερη κατάσταση (β), η υδροστατική πίεση συνεχίζει να ασκείται σε όλα τα σημεία του αντικειμένου, αλλά επιπλέον υπάρχει και μια δυναμική πίεση (βλ. σκούρο μπλε βέλος)<sup>41</sup>. Για τα περισσότερα υποβρύχια οχήματα, που λειτουργούν σε μέτριες ταχύτητες, η υδροστατική πίεση είναι μεγαλύτερη της υδροδυναμικής πίεσης και αποτελεί τον μεγαλύτερο κίνδυνο, για την επιβίωση του ρομπότ. Για αυτό, ο πρωταρχικός ρόλος, των δοχείων πίεσης και κανίστρων, είναι να μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτή την επικείμενη απειλή (υδροστατική πίεση).

Για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό, των δοχείων πίεσης και κανίστρων, είναι σημαντικό να μπορεί να εκτιμηθεί η υδροστατική πίεση σε διαφορετικά βάθη. Μια καλή αρχή, αποτελεί η παρακάτω σχέση των δύο υγρών σωμάτων<sup>42</sup>:

- Στα γλυκά νερά, η πίεση αυξάνεται κατά  $1 atm$  κάθε  $10.3632 μέτρα$ , (κάθε 34 πόδια).
- Στην θάλασσα, η πίεση αυξάνεται κατά  $1 atm$  κάθε  $10.0584 μέτρα$ , (κάθε 33 πόδια).

<sup>41</sup> Οι αναπτυσσόμενες υδροδυναμικές πιέσεις μπορούν να εμποδίζουν την ομαλή κίνηση του οχήματος και να δυσκολέψουν τον χειρισμό του.

<sup>42</sup> Οι παρακάτω σχέσεις είναι αρκετά ακριβές, για τον τυπικό σχεδιασμό υποβρύχιων οχημάτων.



Εικόνα 32: Η πίεση ανάλογα με το βάθος

Επίσης, επειδή το νερό είναι ένα ασυμπίεστο υγρό, ισάριθμες αλλαγές στο βάθος θα εμφανίσει ισάριθμες αλλαγές στην πίεση, ανεξαρτήτως του βάθους. Αυτό το δεδομένο, κάνει τον υπολογισμό της υποβρύχιας πίεσης, πιο εύκολη, από ότι τον υπολογισμό της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Για παράδειγμα, η απόλυτη πίεση (A) σε βάθος 150 ποδιών (45.72 μέτρων), σε αλμυρό νερό, βρίσκεται ως εξής:

$$(1 \text{ atm}/33 \text{ πόδια}) = (M \text{ atm}/150 \text{ πόδια})$$

Λύνοντας ως προς M (μανομετρική πίεση), προκύπτει:

$$M = 150 \text{ πόδια} * (1 \text{ atm}/33 \text{ πόδια}) = 4.55 \text{ atm}$$

Για την μετατροπή της μανομετρικής πίεσης σε απόλυτη, προστίθεται μια ατμόσφαιρα:

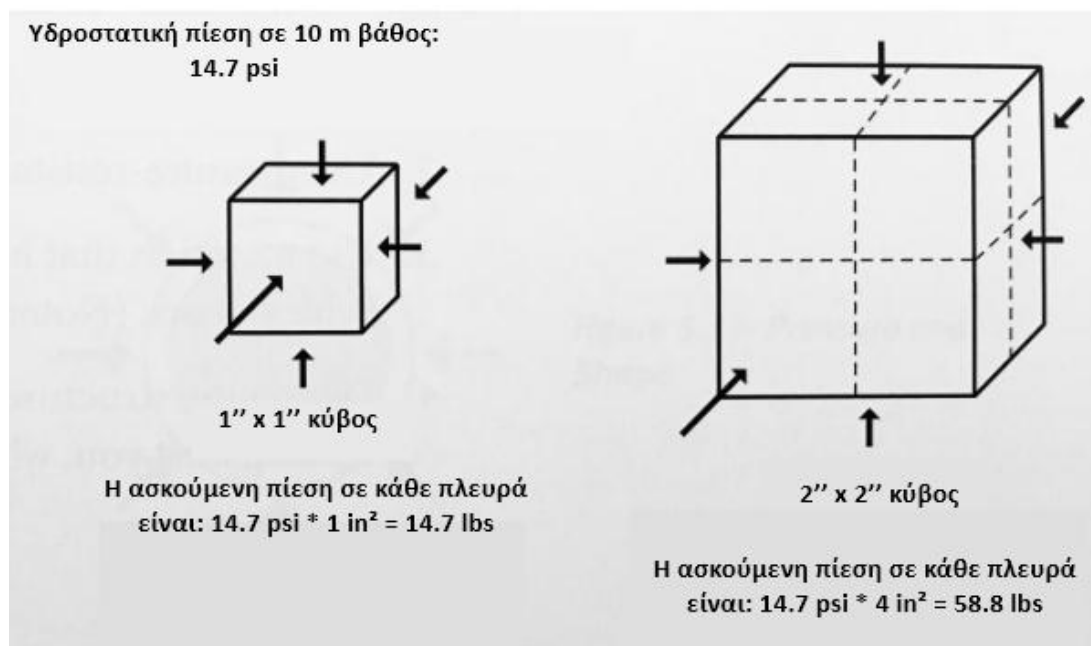
$$A = M + 1 \text{ atm} = 4.55 \text{ atm} + 1 \text{ atm} = 5.55 \text{ atm}$$

#### 4.1.2 Σχετιζόμενες πιέσεις σε υποβρύχια αντικείμενα

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι δυνάμεις των διαφορετικών πιέσεων είναι η αιτία, που προκαλεί ζημιές σε μια υποβρύχια δομή. Μια δύναμη είναι ένα φυσικό σπρώξιμο ή τράβηγμα. Οποτεδήποτε, μια επιφάνεια, χωρίζεται σε δυο περιοχές διαφορετικής πίεσης. Αυτή η επιφάνεια υπόκειται σε μια δύναμη, που προσπαθεί να την σπρώξει, σε μια περιοχή μικρότερης πίεσης (βλ. Εικόνα 33).

Αυτό μεταφρασμένο, σε μαθηματικά, σημαίνει ότι η δύναμη της επιφάνειας πρέπει να υποστηρίζει ισοδύναμα, την διαφορά πίεσης από την μια περιοχή στην άλλη, επί την περιοχή της επιφάνειας, αυτής:

$$\text{Δύναμη} = \text{Διαφορικό πίεσης} * \text{Επιφάνεια}$$



Εικόνα 33: Δύναμη & επιφάνειες

## 4.2 Βασικές αρχές για το σχεδιασμό δοχείων πίεσης

Για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών δοχείων πίεσης, θα πρέπει να γίνει ενασχόληση με τις παρακάτω αρχές:

- Σμίκρυνση των δοχείων πίεσης και κανίστρων, για την μείωση επιφανειακής περιοχής.
- Χρησιμοποίηση ανθεκτικών φορμών/σχημάτων πίεσης.
- Χρήση υλικών υψηλής δύναμης ανά βάρος, για την μείωση της μάζας του οχήματος.
- Αποδοτικός σχεδιασμός δομής, για τις αναπτυσσόμενες πιέσεις.

### 4.2.1 Μέγεθος

Για την μείωση των ασκούμενων δυνάμεων, μπορούν να εφαρμοστούν τα εξής:

- Μείωση του διαφορικού πίεσης, στην οποία εκτίθεται το κύτος/ο σκελετός (*hull*).
- Μείωση της επιφάνειας του κύτος/σκελετού (*hull*).

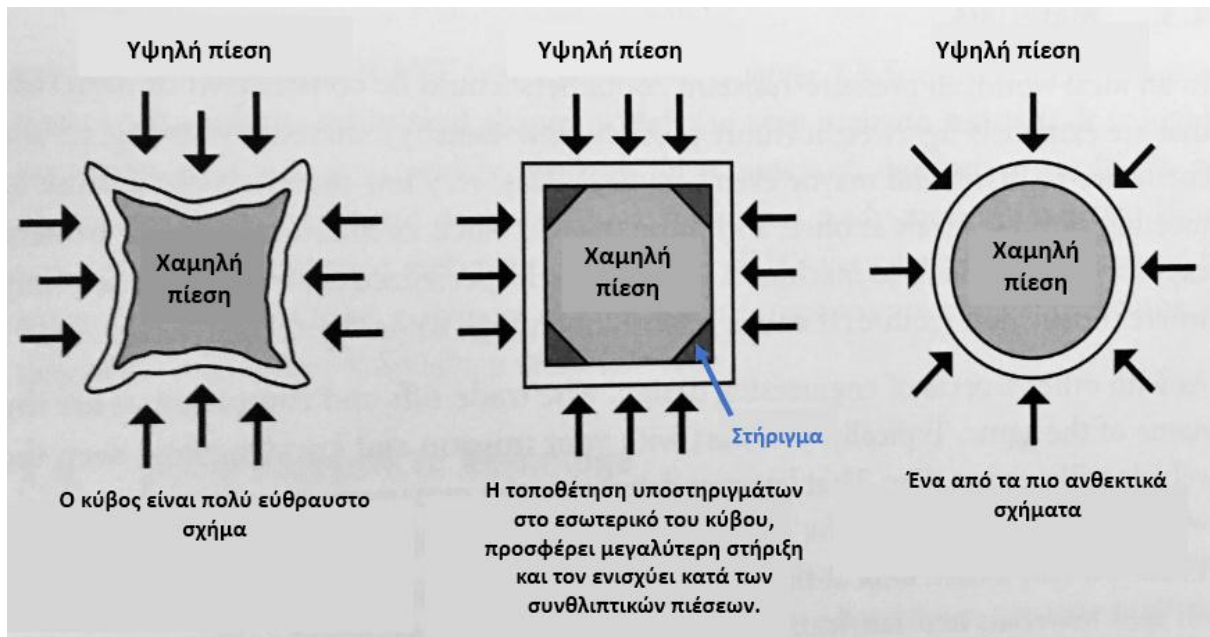
### 4.2.2 Φόρμα

Τα περισσότερα σχήματα, υποβρύχιων οχημάτων αλλά και κανίστρων, χαρακτηρίζονται από σφαίρες, κυλίνδρους ή κάποιο συνδυασμό των δύο γεωμετρικών σχημάτων, αυτών. Η επιλογή των σχημάτων αυτών, έχει να κάνει με την εξαιρετική αντίσταση στην πίεση, που τα διακατέχει, σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Η σφαίρα είναι η πιο αποτελεσματική στην πίεση. Η επιφάνειά της είναι καμπυλωτή προς τα έξω, οπότε κάθε προσπάθεια για την ισοπέδωση ενός τμήματος της, προκαλεί μια προς τα έξω πίεση της γειτονικής περιοχής της. Αυτό κάνει την σφαίρα αυτό-προστατευόμενη/αυτό-υποστηριζόμενη. Και ως αποτέλεσμα, την κάνει εξαιρετικά ανθεκτική, ακόμα και σε πολύ μεγάλες πιέσεις.

Από την άλλη, ο κύβος αποτελεί ένα πολύ εύθραυστο σχήμα, για οποιαδήποτε υποβρύχια αποστολή. Διότι, οι πλευρές του δεν ενισχύουν η μια την άλλη, όπως στην σφαίρα. Μπορούν όμως, να ενισχυθούν, χρησιμοποιώντας στηρίγματα, στα κατάλληλα εσωτερικά σημεία. Με αυτά, προσδίδεται η ιδιότητα της σφαίρας, δηλαδή της δημιουργίας μιας δύναμης προς τα έξω, από τις γειτονικές περιοχές, σε περίπτωση που του ασκηθεί κάποια πίεση. Χωρίς ωστόσο, να γίνεται όσο ανθεκτικός, όσο μια σφαίρα (βλ. Εικόνα 34).



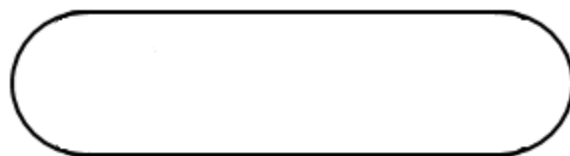


Εικόνα 34: Πίεση & σχήματα

Ο κύλινδρος από την άλλη, είναι και αυτός αυτό-υποστηριζόμενος, λόγω της καμπυλότητας του. Χρειάζεται ωστόσο, να ενισχυθεί κάπως, (π.χ. με την ενίσχυση του πάχους του), ώστε να μπορεί να αντέξει την πίεση, που δέχεται μια σφαίρα, ίδιας διαμέτρου, στο ίδιο βάθος.

Παρόλα αυτά, ο κύλινδρος είναι πολύ πιο εύκολα κατασκευάσιμος από ότι είναι μια σφαίρα. Ενώ παράλληλα, επιτρέπει μεγαλύτερη αποδοτικότητα χρήσης του εσωτερικού του χώρου, σε σχέση με την σφαίρα. Για αυτούς τους λόγους, μερικά υποβρύχια οχήματα διαμορφώνονται μέσα από έναν συνδυασμό των δυο γεωμετρικών σχημάτων (σφαίρας & κυλίνδρου). Όστε, να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα και των δυο.

Για τα υλικά ισχύει ότι έχει αναφερθεί και παραπάνω (βλ. **κεφάλαιο 3. Δομή και υλικά**).



Εικόνα 35: Ο κύλινδρος με δυο ημισφαίρια αυξάνει τον εσωτερικό χώρο και την αντίσταση του στην πίεση

## 4.3 Κάνιστρα

Αρχικά, το μέγεθος ενός κάνιστρου καθορίζεται από το σύστημα, που θα τοποθετηθεί μέσα του. Ο αριθμός, επίσης, αυτών καθορίζεται από την απόφαση να τοποθετηθούν όλα τα υποσυστήματα, του οχήματος, σε ένα κάνιστρο ή σε διάφορα δοχεία πίεσης. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να τοποθετηθούν όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα σε ένα κάνιστρο.

Προτού, αποφασιστεί η χρήση ενός μεγάλου κάνιστρου ή χρήση πολλών μικρών, θα πρέπει να εξεταστούν ορισμένες πτυχές, της κάθε εναλλακτικής.

Ένα κάνιστρο έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μπορεί να περιέχει όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα και την μπαταρία, μειώνοντας τον αριθμό των εξωτερικών ηλεκτρονικών συνδέσμων, που θα χρειαστεί.
- Απλοποιεί την δομή και κατασκευή. Διότι θα απαιτεί λιγότερο περίπλοκο πλαίσιο και υποστηρίγματα.
- Συχνά είναι αποτελεσματικό από πλευράς κόστους.
- Μπορεί να έχει λιγότερη οπισθέλκουσα δύναμη (*drag*), από ότι τα πολλά κάνιστρα. Επιπλέον, μπορεί να παρέχει καλύτερη αποδοτικότητα της ενέργειας.
- Μπορεί να είναι ευκολότερο στην συντήρηση.

Η τοποθέτηση πολλών κάνιστρων, από την άλλη, έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μπορεί να παρέχει μεγαλύτερη ευκινησία στην τοποθέτηση των εσωτερικών στοιχείων του ρομπότ.
- Παρουσιάζουν περισσότερες επιλογές κατανομής του βάρους, σε διάφορες τοποθεσίες μέσα στο πλαίσιο.
- Εάν προκύψει κάποιο πρόβλημα ή διαρροή σε ένα κάνιστρο, μπορεί να μην επηρεάσει τα άλλα.
- Για τα οχήματα, που έχουν πάνω τους την πηγή ενέργειας (π.χ. μπαταρία), αυτό το κάνιστρο μπορεί να σχεδιαστεί για εύκολη πρόσβαση, σε περίπτωση αλλαγής.

Ανεξάρτητα, από τον αριθμό των κάνιστρων που θα επιλεγθούν, θα πρέπει να υποστηριχθούν και με στηρίγματα (*brackets*).

Η επιλογή του αριθμού και του μεγέθους των κάνιστρων, εξαρτάται επίσης, από το βάρος και τις διαστάσεις, των συστημάτων, που θα βρίσκονται μέσα σε αυτό. Η όποια επιλογή, θα έχει επιπτώσεις στην δομή του οχήματος, στην φόρμα, στα υλικά, στα στηρίγματα και στην τοποθεσία των προωθητών. Επίσης, αποστολές σε μεγάλα βάθη θα απαιτούν κάνιστρα με ειδικές βαλβίδες απελευθέρωσης πίεσης, για την εξισορρόπηση της, μέσα σε αυτά.

### 4.3.1 Κάνιστρα και εναλλακτικές

Υπάρχουν ορισμένοι τύποι δοχείων πίεσης, που είναι χρήσιμοι για μικρά ROV. Τα κυλινδρικά κάνιστρα, είναι σχεδιασμένα να αντέχουν μεγάλες υδροστατικές πιέσεις, ενώ μπορούν να αποτρέψουν και χαμηλότερες εσωτερικές πιέσεις, που μπορεί να δημιουργηθούν, μέσα τους. Μπορούν να κατασκευαστούν από αλουμίνιο, ασάλι, τιτάνιο, κεραμικά ή πλαστικά, ενώ υπάρχουν και σε διάφορα μεγέθη και βαθμούς αντίστασης πίεσης. Το κόστος δεν θεωρείται χαμηλό για την αγορά ή δημιουργία ενός τέτοιου κάνιστρου. Αντιθέτως, μπορεί να αποτελέσει ένα από τα πιο ακριβά κομμάτια, του ρομπότ, ειδικά εάν είναι με γυαλισμένο θόλο (*polished dome*), για να αντέχει σε μεγαλύτερα βάθη.

Φυσικά, υπάρχουν και φθηνότερες εναλλακτικές. Τέτοια, είναι τα PRENCO, που αντέχουν μέχρι 100 μέτρα βάθος, ενώ βγαίνουν σε σπάνταρ μεγέθη. Είναι κατασκευασμένα από πλαστικό και διαθέτουν πλατιά, διαφανή, ακριλικά καπάκια/καλύμματα και στα δυο άκρα του. Αυτά, τα καλύμματα, μπορεί να είναι βιδωτά (Threaded Collar – TC), με βίδες (Through Bolted – TB), με ράβδο πίεσης (Stress Rod – SR), με βιδωτό σωλήνα (Threaded Tube – TD), με σφικτήρα (Clamp Block – CB), κ.α.

Πίνακας 7: Πληροφορίες για κάνιστρα PRENCO με βιδωτά καλύμματα (TC)

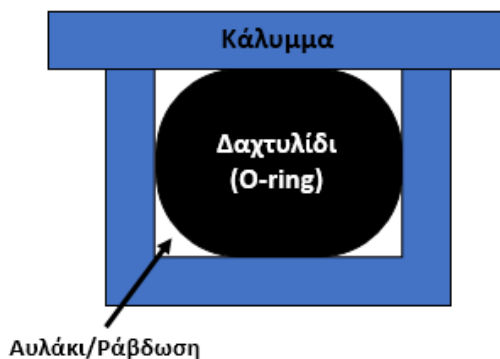
Αριθμός Μοντέλου	Βάθος (m)	Υλικό	Εσωτερική διάμετρος (cm)	Εσωτερικό μήκος (cm)	Εξωτερική διάμετρος (cm)	Εξωτερικό μήκος (cm)	Βάρος στην ατμόσφαιρα (kg)	Βάρος στο νερό (kg)
P2013-5-TC	130	Πλαστικό	5.207	12.7	9.398	19.939	1.14	0
P3.5011-7.9-TC	110	Πλαστικό	8.89	20.066	12.827	27.178	1.19	-1.36
P4.501SS-8.6-TC	100	Πλαστικό	11.43	21.844	15.875	30.734	2.9	-2.26
P6.501SS-7.7-TC	100	Πλαστικό	16.51	19.558	22.225	31.496	5.21	-5.44

#### 4.4 Ανοίγματα στεγανότητας

Αποτελούν μια απάντηση, στο ερώτημα, “πως θα κρατηθεί το νερό εκτός, των δοχείων πίεσης και θα επιτρέπεται η είσοδος καλωδίων σε αυτά, ταυτόχρονα ;”. Με άλλα λόγια, πως θα κρατηθούν αδιάβροχα και υδατοστεγή τα κάνιστρα, που έχουν εισόδους για καλώδια ;

##### 4.4.1 Δαχτυλίδια

Ένα δαχτυλίδι (*O-ring*), είναι κατασκευασμένο από καουτσούκ ή κάποιο άλλο ελαστικό υλικό (βλ. Εικόνα 36). Αυτά τοποθετούνται σε διαμορφωμένες ραβδώσεις, μεταξύ των επιφανειών για την δημιουργία υδατοστεγών σφραγισμάτων (βλ. Εικόνα 37).

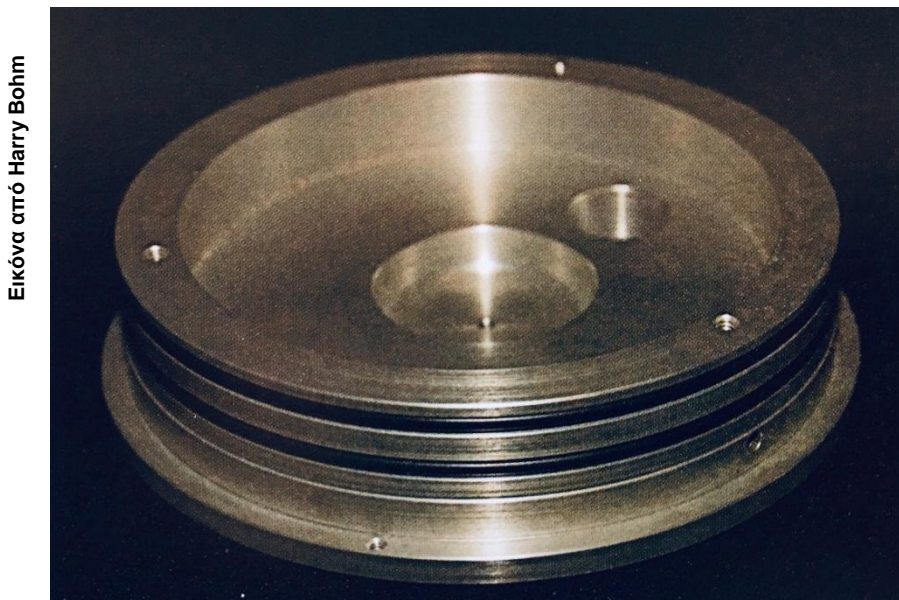


Εικόνα 36: Τοποθέτηση δαχτυλιδιού (όψη σε τομή)

Εάν χρησιμοποιηθούν, όπως πρέπει, μπορούν να διατηρηθούν σφραγισμένα, ακόμα και κάτω από μεγάλες πιέσεις. Αποτελούν κρίσιμα κομμάτια, των καταπακτών, των δοχείων πίεσης, κ.α. Διότι, είναι αποδεδειγμένο ότι κατά 90% - 95% μπορούν να διατηρήσουν υδατοστεγή τα υποσυστήματα, που εμπεριέχονται στα κάνιστρα, ενός οχήματος.

Συχνά, χρησιμοποιούνται ως στατικά σφραγίσματα (*static seals*), στα οποία σφραγίζουν επιφάνειες που δεν κινούνται μεταξύ τους, κατά την λειτουργία τους. Μπορούν επίσης, να χρησιμοποιηθούν ως δυναμικά σφραγίσματα (*dynamic seals*), μεταξύ κινούμενων κομματιών, όπως είναι ένας περιστροφικός άξονας, ένας άξονας κινητήρα ή ένα πιστόνι. Τέλος, υπάρχουν και άλλοι τύποι δαχτυλιδιών (*O-ring*), όπως είναι τα σφραγίσματα σε μορφή κυπέλλου (*cup seals*), τα οποία θεωρούνται καλύτερα για την χρήση μεταξύ κινούμενων μερών.

Ωστόσο, για λειτουργήσουν σωστά, θα πρέπει να υπάρχει μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις των επιφανειών, στις οποίες θα τοποθετηθούν.



Εικόνα 37: Δαχτυλίδια (O-rings) τοποθετημένα στις εσοχές του καλύμματος (endcap)

#### 4.4.2 Διεισδυτές

Είναι υπεύθυνοι για την είσοδο καλωδίων, στα κάνιστρα. Αυτά τα ανοίγματα είναι μπλοκαρισμένα με θύρες και διεισδυτές (*penetrators*), ανάλογα με την λειτουργία και το μέγεθος τους. Αυτοί, επιφέρουν και ορισμένες προκλήσεις.

Πρώτα από όλα, ανοίγοντας μια τρύπα ή διαμπερή οπή σε ένα κάνιστρο, αυτόματα, αποδυναμώνεται η δομή. Έτσι, ανάλογα με την το υλικό και το μέγεθος της οπής, η επιφάνεια, στην οποία βρίσκεται, θα πρέπει να ενισχυθεί με κάποιο τρόπο. Για τα δοχεία πίεσης, το άνοιγμα, συνήθως, ενισχύεται με ένα παχύ τμήμα που ονομάζεται *εξέχων όγκος* (*boss*). Τέλος, αυτά τα ανοίγματα θα πρέπει να είναι εύκολα στο άνοιγμα και στο κλείσιμο τους.

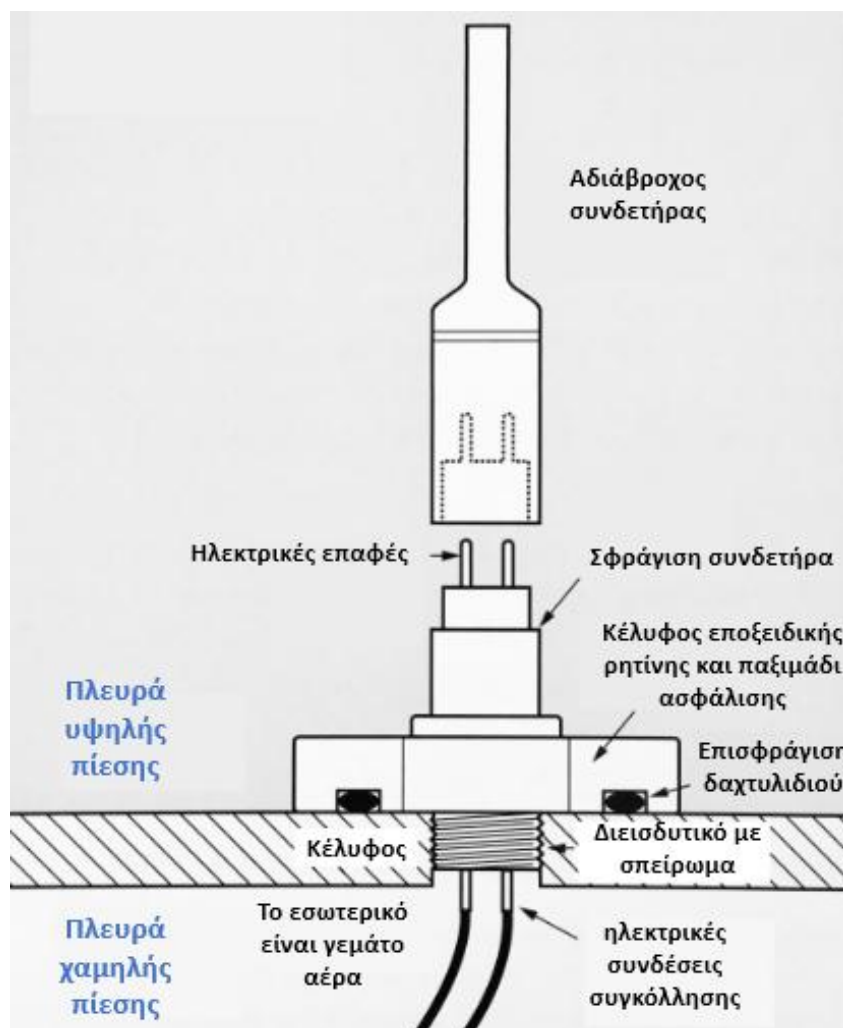
Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τον εξέχων όγκο (*boss*), είναι ένα κυκλικό παχύ κομμάτι πλάκας, συν κολημένο γύρω από την περιοχή της οπής. Για μεγαλύτερες οπές, σε καταπακτές ή θύρες/παράθυρα, αυτός ονομάζεται *εξέχων γύρος* ή *κολάρο* (*flange*).

#### 4.4.3 Διαχωριστικό-διεισδυτικό διαφράγμα

Αποτελεί έναν ναυτικό όρο, για τα χωρίσματα ή τους τοίχους, που χωρίζουν τα διαμερίσματα/ τμήματα ενός πλοίου. Ως διαχωριστικό διάφραγμα (*bulkhead*), μπορούν να θεωρηθούν και τα τοιχώματα ενός δοχείου πίεσης ή το κάλυμμα ενός κανίστρου.

Ένα διαχωριστικό-διεισδυτικό διάφραγμα (*bulkhead penetrator*), είναι ένας ειδικός τύπος σωλήνα ή ηλεκτρικού συνδέσμου, που διεισδύει το τοίχωμα ενός κανίστρου ή δοχείου πίεσης. Εμποδίζει, την εισαγωγή συμπιεσμένου νερού στο κάνιστρο, ενώ επιτρέπει την είσοδο και την έξοδο ηλεκτρικών καλωδίων, ρευστών και αερίων, (βλ. Εικόνα 38).

Συχνά, τέτοιου είδους διεισδυτές (*bulkhead penetrator*), πρέπει να συντηρούνται. Για αυτό το λόγο, δεν πρέπει να έχουν υποστεί συγκόλληση, για να ενωθούν με το τοίχωμα ενός κανίστρου.



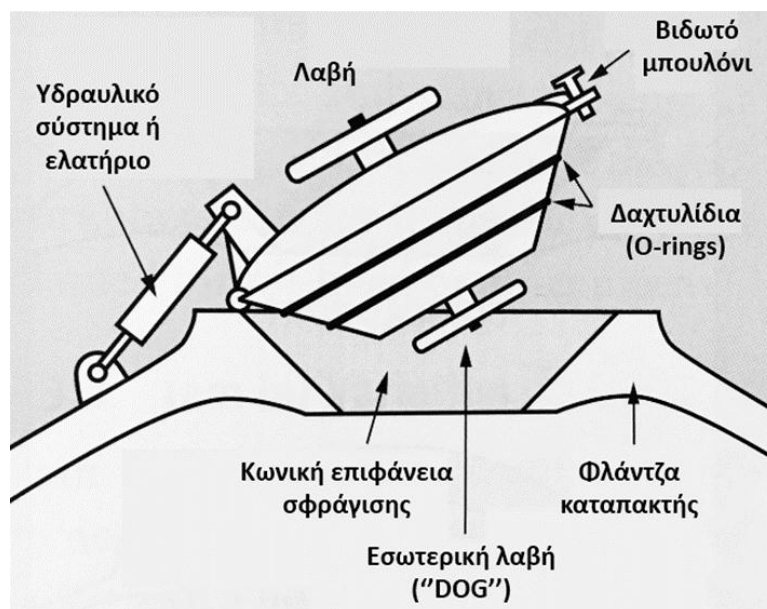
Εικόνα 38: Διεισδυτής (bulkhead penetrator)

#### 4.4.4 Καταπακτές

Σε μεγάλα επιβατικά, υποβρύχια οχήματα, το πλήρωμα και ο απαραίτητος εξοπλισμός, περνά μέσω ενός ανοίγματος-πόρτας, που ονομάζεται *καταπακτή (hatch)*. Μια καταπακτή είναι τοποθετημένη σε μια φλάντζα και ανοίγει μέσω μιας λαβής (κυκλικής κίνησης) και μιας άρθρωσης, σε μορφή ελατηρίου. Σε αυτήν, τοποθετούνται και δαχτυλίδια (*O-rings*), για την σφράγιση της. Οι καταπακτές, διαθέτουν δυο λαβές (*latch handle & inner latch handle*). Επιπρόσθετα, η εσωτερική λαβή, που διαθέτει, εκπληρώνει και άλλες λειτουργίες. Αυτές είναι:

- ✓ Μπορεί να αποτρέψει κάποιο κατά λάθος άνοιγμα, από έξω.
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ισορρόπηση της εσωτερικής με την εξωτερική πίεση.
- ✓ Χωρίς αυτούς η καταπακτή θα άνοιγε σε κάθε κατάδυση του οχήματος.

Παράλληλα, αυτός ο εσωτερικός μηχανισμός ονομάζεται αλλιώς και "DOG".



Εικόνα 39: Ενδεικτική καταπακτή (hatch)

#### 4.4.5 Παράθυρα

Μπορεί να βρίσκεται είτε μέσα στο σκάφος, για την όραση προς τα έξω, είτε να λειτουργεί ως προστατευτική περίφραξη για την κάμερα του οχήματος. Η πρόσθεση κάποιου παραθύρου σε ένα όχημα επιφέρει δυο θέματα:

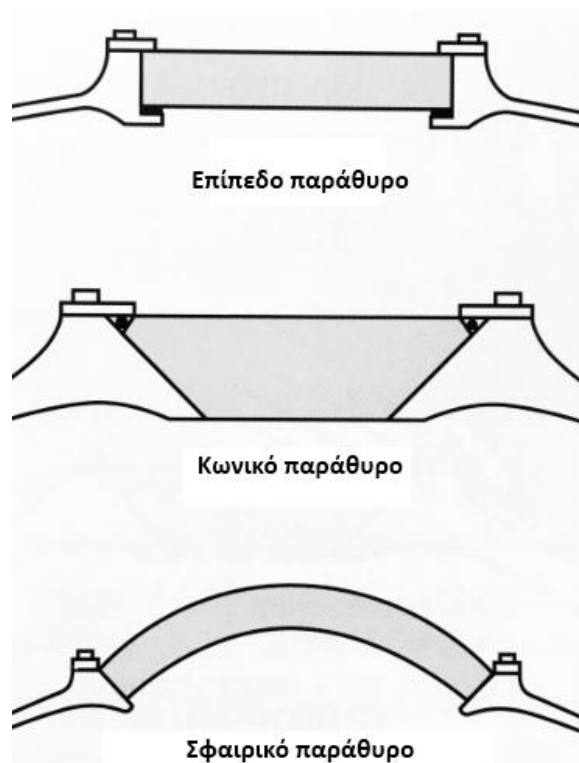
- Η δημιουργία οπής, που θα αποδυναμώσει την επιφάνεια, στην οποία θα ανοιχτεί.
- Η χρήση διαφορετικού υλικού, για το παράθυρο, από αυτό της επιφάνειας, στην οποία θα τοποθετηθεί. Για παράδειγμα, τα διαφορετικά υλικά διαστέλλονται και συστέλλονται, σε διαφορετικούς βαθμούς, με αποτέλεσμα την αποτυχία των σφραγισμάτων, που θα βρίσκονται ανάμεσα τους.



Εικόνα 40: Ενδεικτικό παράθυρο κωνικού σχήματος για το υποβρύχιο Shinkai 6500

Υπάρχουν, τρεις τύποι παραθύρων:

- Επίπεδα (*flat*) παράθυρα. Εύκολα στην κατασκευή και εγκατάσταση.
- Κωνικά (*conical*) παράθυρα. Βρίσκεται σε συγκεκριμένα μεγέθη διαμέτρων.
- Σφαιρικά (*dome*) παράθυρα. Παρέχει μεγαλύτερη ορατό πεδίο και καλύτερη αντίσταση κατά της υδροστατικής πίεσης.

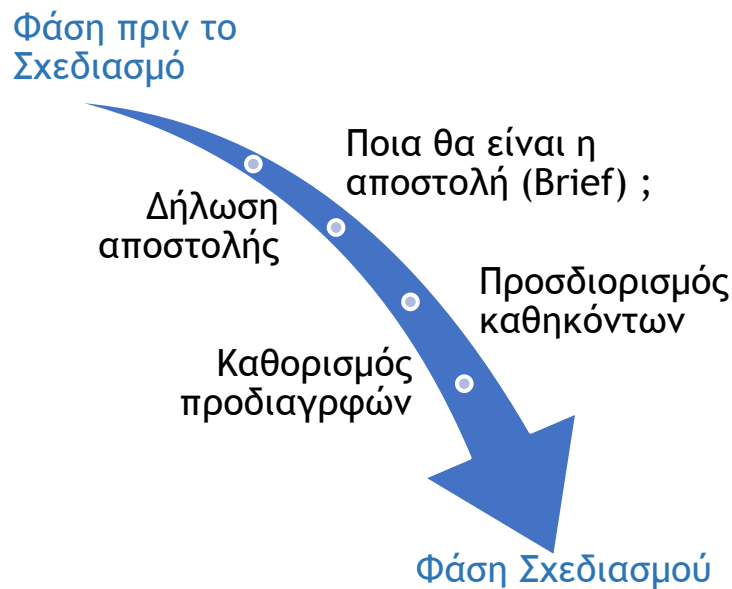


Εικόνα 41: Τύποι παραθύρων

## 5. Σχεδιασμός υποβρύχιου οχήματος

---

Αρχικά, θα πρέπει να κατανοηθεί ο προβληματικός χώρος. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να ορισθεί. Ο ορισμός, προκύπτει από την αποστολή του οχήματος.



Εικόνα 42: Πρώτη φάση σχεδιασμού υποβρύχιου οχήματος

Γενικά, στο χώρο του σχεδιασμού, πριν να ξεκινήσει η ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος, ο σχεδιαστής ή η σχεδιαστική ομάδα θα πρέπει να αναρωτηθεί τα εξής ζητήματα (*Ask the right questions*):

- Γιατί χρειάζεται;
- Ποιες είναι οι επιλογές;
- Που θα δραστηριοποιείται;
- Πότε χρειάζεται; Πότε χρειάζεται να κατασκευαστεί; Πότε πρέπει να γίνουν τα απαραίτητα τεστ;
- Ποιος θα το κατασκευάσει; Ποιος θα κάνει τα τεστ; Ποιος θα πληρώσει για αυτό;
- Πως μπορεί να επιτευχθεί;
- Πόσο θα κοστίσει; Πόσα κομμάτια χρειάζονται;
- Ποια λύση λειτουργεί αποτελεσματικότερα;



Οι παραπάνω ερωτήσεις, αποτελούν ένα παράδειγμα για τα αρχικά ζητήματα που θα πρέπει ένας σχεδιαστής να απαντήσει, ώστε να μπορεί να εισχωρήσει στο πλαίσιο της έρευνας και να μην χαθεί στο μεγάλο εύρος της πληροφορίας, του υπό διερεύνηση τομέα.

## 5.1 Brief

Αρχικά και εφόσον, έχουν μελετηθεί οι πιθανές επιλογές και κατηγορίες ενός υποβρύχιου οχήματος, ο σχεδιαστής ή η σχεδιαστική ομάδα μπορεί να ορίσει τον προβληματικό χώρο, στον οποίο θα δραστηριοποιηθεί, προκαθορίζοντας την αποστολή (*Brief*).

Ένα brief πρέπει να είναι ξεκάθαρο, όσον αφορά τον κύριο στόχο, του υπό σχεδιαζόμενου προϊόντος και χωρίς περιττές πληροφορίες.

### *Δήλωση Αποστολής – Brief:*

Σχεδιασμός ενός υποβρύχιου οχήματος (ROV), με στόχο την εξερεύνηση και καταγραφή του βυθού, μέσα από εικόνες ή βίντεο, για προσωπική ψυχαγωγία και ευχαρίστηση.

Τέλος, για να θεωρηθεί πλήρες ένα σχεδιαστικό *brief* θα πρέπει να καθοριστεί και η ομάδα (γκρουπ ή τμήμα) της αγοράς (*target group*<sup>43</sup>), στην οποία θα απευθύνεται το υπό σχεδίαση προϊόν.

Ένα γκρουπ μπορεί να καθοριστεί από διάφορα χαρακτηριστικά, συμπεριφορές, καθημερινές ενέργειες, συνήθειες, κ.α. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το υπό σχεδίαση υποβρύχιο ρομπότ, θα απευθύνεται σε άτομα, που:

- Ενδιαφέρονται να εξερευνήσουν τον υποθαλάσσιο κόσμο, (χόμπι).
- Ενδιαφέρονται για την περιβαλλοντική κατάσταση του βυθού.
- Κατέχουν υψηλή υπευθυνότητα και σεβασμό για το περιβάλλον, που εξερευνούν.
- Διαθέτουν το απαραίτητο χρηματικό εισόδημα, για την αγορά και συντήρηση του.
- Ηλικίας: 25 – 55, (ενδεικτικό, χωρίς να αποτελεί περιορισμό).

---

<sup>43</sup> Για μια ολοκληρωμένη τοποθέτηση του προϊόντος στην αγορά χρειάζεται περαιτέρω έρευνα και ανάλυση του επιλεγμένου γκρουπ. Κάτι που δεν συμπεριλαμβάνεται στην παρούσα εργασία.

## 5.2 Προσδιορισμός καθηκόντων

Εφόσον, η δήλωση της αποστολής έχει καθοριστεί, το επόμενο βήμα είναι να διατυπωθούν οι συγκεκριμένες ενέργειες (*tasks*), που θα πρέπει να επιτελεί το όχημα, ώστε να πετυχαίνει το σκοπό του.

Ενέργεια 1<sup>η</sup>: Κατάδυση

Ενέργεια 2<sup>η</sup>: Εκτέλεση μανουβρών (για έρευνα βυθού ή αποφυγή εμποδίων)

Ενέργεια 3<sup>η</sup>: Διατήρηση θέσης, σε ένα καθορισμένο βάθος, χωρίς μεγάλες αποκλίσεις

Ενέργεια 4<sup>η</sup>: Ανάδυση

Μόλις, η δήλωση αποστολής μπορέσει να μεταφραστεί σε μία σειρά ενεργειών, τότε γίνεται ευκολότερη η έρευνα για τα υποσυστήματα, που θα πρέπει να αναλυθούν. Για παράδειγμα, στην κατάδυση (Ενέργεια 1<sup>η</sup>), το όχημα θα πρέπει να είναι σε θέση να καταδύεται, κάθετα. Για να μπορεί να κάνει κάτι τέτοιο, θα πρέπει να διαθέτει ένα μηχανισμό ισορροπίας (*ballast mechanism*) ή κάποιο κάθετο προωθητή.

Σε αυτό το στάδιο, δεν είναι απαραίτητο να αναφερθούν λεπτομέρειες ή συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, για την επίτευξη των ενεργειών.

## 5.3 Καθορισμός προδιαγραφών

Από εδώ και στο εξής, αρχίζουν και διαμορφώνονται οι προδιαγραφές του συστήματος. Στις προδιαγραφές ανήκουν:

- Χαρακτηριστικά
- Λειτουργικές απαιτήσεις &
- Περιορισμοί

Πιο συγκεκριμένα, στα χαρακτηριστικά ανήκουν όλα αυτά, που απαντάνε στην ερώτηση “Τι είναι το σύστημα;”. Συνήθως, τα χαρακτηριστικά διατυπώνονται ως επίθετα, στις προδιαγραφές. Για παράδειγμα, ένα σύστημα μπορεί να είναι ένα μέτρο φαρδύ, να είναι ελαφρύ, κλπ.

Από την άλλη, οι λειτουργικές απαιτήσεις αναφέρονται στο “Τι μπορεί να κάνει το σύστημα;”. Και συνήθως, διατυπώνονται με ρήματα. Για παράδειγμα, το σύστημα θα μπορεί να καταδυθεί μέχρι είκοσι μέτρα ή θα αναδύεται σε περίπτωση κινδύνου.

Τέλος, οι περιορισμοί μπορεί να αναφέρονται σε διάφορους παράγοντες. Όπως, η κατασκευή να μην ξεπερνά τα 250€, το προϊόν θα πρέπει να είναι έτοιμο, από 25 Νοεμβρίου μέχρι 25 Δεκεμβρίου (του 2018), κ.α.

Στην προκειμένη περίπτωση, όπου το υπό σχεδιαζόμενο σύστημα, θα διαθέτει αρκετές προδιαγραφές και ο αρχικός διαχωρισμός δεν διευκολύνει την μελέτη τους. Θα ήταν βολικό εάν, ο σχεδιαστής ή η σχεδιαστική ομάδα χώριζε εκ νέου τις παραπάνω βαθμίδες προδιαγραφών, ώστε να είναι πιο ξεκάθαρες και ευανάγνωστες. Για να γίνει κάτι τέτοιο, αρχικά, θα χωριστούν σε ενότητες οι ερωτήσεις, που πρέπει να απαντηθούν (και περιβάλλουν το όχημα), ώστε να αναδυθούν οι προδιαγραφές.

Οι παρακάτω ερωτήσεις δεν χρειάζεται να απαντηθούν με μεγάλη λεπτομέρεια.

Ένα παράδειγμα ερωτήσεων<sup>44</sup>, για το συγκεκριμένο σύστημα, είναι το εξής:

#### Περιβαλλοντικά ζητήματα:

- Το όχημα θα λειτουργεί σε αλμυρό ή γλυκό νερό;  
Το όχημα θα λειτουργεί σε αλμυρό νερό (στην θάλασσα).
- Πόσο βαθιά θα χρειάζεται να καταδύεται/πηγαίνει το όχημα;  
Σε μέγιστο βάθος 10 μέτρων.
- Ποια θα είναι η μέγιστη προβλεπόμενη πίεση στο επιλεγμένο βάθος;  
Ανάλογα με το βάθος η προβλεπόμενη πίεση θα κυμαίνεται μεταξύ 1 – 1.2 atm. (Δηλαδή, 14,7 – 17,6 psi).
- Ποιο θα είναι το προβλεπόμενο εύρος θερμοκρασίας του νερού;  
10°C - 30°C.
- Θα υπάρχουν ειδικές συνθήκες στο περιβάλλον (π.χ. μεγάλα κύματα) ; Εάν ναι, ποιες θα είναι;  
Όχι.
- Ποια θα είναι η προβλεπόμενη ορατότητα (π.χ. πόσο μακριά μπορούν να δουν οι κάμερες) κάτω από το νερό;  
Η ορατότητα σε ένα υποθαλάσσιο περιβάλλον, βάθους 10 μέτρων, μπορεί να καλυφθεί και με κάμερες απλής ευκρίνειας και όχι απαραίτητα υψηλών επιδόσεων.
- Ποια θα είναι η μέγιστη ταχύτητα των ρευμάτων του νερού;  
Στην περιοχή του λιμανιού της Σύρου, (στην περιοχή των Αστεριών, κοντά στις προβλήτες) τα ρεύματα του νερού κυμαίνονται λίγο πάνω από 10 εκατοστά/δευτερόλεπτο (0.1 m/s). Σε περιοχές, όπου η ανοιχτή θάλασσα είναι πιο προσβάσιμη, τα ρεύματα αυτά μπορεί να αυξηθούν απότομα, (ανάλογα πάντοτε και με τις καιρικές συνθήκες).
- Πως θα μοιάζει ο βυθός; Εάν, το όχημα θα λειτουργεί κοντά σε αυτόν.  
Ο βυθός, στα 10 μέτρα, αρχικά θα παρουσιάζει μια κατηφορική κλίση. Δηλαδή, εάν το όχημα ξεκινήσει από ρηχά νερά (π.χ. από το 1 μέτρο), καθώς προχωρά σε βαθύτερα νερά, θα παρατηρείται αυτή η κλίση του εδάφους του βυθού, (η παρατήρηση αυτή δεν μπορεί να διαπιστωθεί από την κάθετη θέση του οχήματος προς το νερό).  
Από την αρχική, κάθετη θέση του οχήματος ο βυθός θα μοιάζει με ένα επίπεδο στρώμα, παρουσιάζοντας ορισμένες αυξομειώσεις ύψους, εξαιτίας των στοιχείων που είναι πιθανό να περιέχει, (π.χ. πέτρες, ογκόλιθους, ύφαλους κ.α.).
- Το όχημα θα δρα κοντά σε κάποια οικολογικά ευαίσθητη περιοχή; Εάν ναι, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι περιορισμοί.

---

<sup>44</sup> Σε αυτό το παράδειγμα οι ερωτήσεις, έχουν απαντηθεί για την εξοικονόμηση χώρου, αλλά και επειδή η διαδικασία της σχεδίασης έχει, ήδη, ακολουθηθεί στα πλαίσια της δημιουργίας της εργασίας, αυτής.

Όχι.

- Υπάρχουν υποβρύχιες κατασκευές ή γενικότερα εμπόδια (π.χ. ύφαλοι), που μπορεί να μπλοκάρουν ή να εγκλωβίσουν το όχημα;

Υποβρύχιες, τεχνικές κατασκευές δεν υπάρχουν στην περιοχή των Αστεριών ή σε κάποια από τις δημοφιλείς παραλίες της Σύρου. Ωστόσο, είναι αρκετά πιθανό να εμφανιστούν ύφαλοι ή μεγάλοι ογκόλιθοι, ως εμπόδια. Από την άλλη, αυτά τα εμπόδια μπορούν να μην επηρεάσουν την δρόση του οχήματος εάν εντοπιστούν εγκαίρως, (παράγοντας η παρατηρητικότητα του χειριστή).

Παράλληλα, στις παραπάνω περιοχές είναι αρκετά απίθανο να εντοπιστούν εμπόδια, που να εγκλωβίσουν το όχημα, όπως αλιευτικά δίχτυα.

- Υπάρχουν μεγάλα, περίεργα, θαλάσσια ζώα, που θα μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στο όχημα;

Σε βάθος 10 μέτρων, συνήθως, δεν δραστηριοποιούνται μεγάλα θαλάσσια ζώα, όπως καρχαρίες. Ωστόσο, μπορεί να υπάρξουν μικρό – μεσαία θαλάσσια ζώα, κυρίως κοντά σε υφάλους ή στο πάτο, όπως χταπόδια, ή μπορεί να υπάρξουν περαστικά ψάρια, που μπορεί να αντιδράσουν (επιθετικά) κατά του οχήματος.

Ιδανικό είναι να σχεδιάσουμε με σκοπό να προφυλάξουμε/εφοδιάσουμε το όχημα μας με τα απαραίτητα στοιχεία αντοχής, θεωρώντας ότι θα υπάρξουν επικίνδυνες περιπτώσεις για την εξωτερική του κατάσταση, που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην εσωτερική του διάταξη.

- Υπάρχουν φύκια ή άλλα θαλάσσια κατάλοιπα, που θα μπορεί να μπερδεύουν στους προωθητές;

Είναι πιθανό να υπάρξουν φύκια ή άλλα θαλάσσια και μη, κατάλοιπα. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να μελετηθούν οι προωθητές και οι τρόποι, που θα μας βοηθήσουν να αποφύγουμε τέτοιες καταστάσεις/θέματα.

#### Ζητήματα ικανότητας ελιγμού & ταχύτητας:

- Το όχημα θα έχει καλώδιο; Εάν ναι, πόσο μακρύ θα είναι; Και κατά πόσο θα επηρεάζει την ικανότητα ελιγμού του οχήματος;

Δεν θα διαθέτει καλώδιο, για περισσότερη ελευθερία κινήσεων. Ενώ παράλληλα, θα μπορεί να διεισδύσει σε περιοχές – χώρους, όπου ένα ρομπότ με καλώδιο, θα ήταν δύσκολο να εισχωρήσει.

- Πόσο γρήγορα θα χρειάζεται να πηγαίνει το ρομπότ, όταν κινείται κάθετα (μέτρα ανά δευτερόλεπτο);

Στην κατάδυση η ταχύτητα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη, από ότι στην ανάδυση. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι δυνάμεις άνωσης και οι αντιστάσεις κατά την κατάδυση. Εύρος ταχύτητας: 1 – 1.5m/s (ή ίδια με την οριζόντια).

- Πόσο γρήγορα χρειάζεται να πηγαίνει το ρομπότ, όταν κινείται σε οριζόντια κατεύθυνση;

2m/s (δηλαδή 3.9 knots, σε νερά χωρίς αντίσταση). Οπότε, 200cm/s ή 7.2km/h.

- Πόσο γρήγορα χρειάζεται το όχημα να γυρνά ή να περιστρέφεται;

Κανονικά το όχημα θα πρέπει να ανταποκρίνεται στιγμιαία σε κάθε εντολή από τον χρήστη. Ωστόσο, είναι πιθανό να υπάρξει και κάποιος χρόνος απόκλισης, από το σήμα της εντολής μέχρι την ανταπόκριση του οχήματος. Όμως, επειδή το βάθος μπορεί να θεωρηθεί μικρό, η απόκλιση αυτή θα είναι απειροελάχιστη. Συνήθως, σε τέτοιες περιπτώσεις η απάντηση είναι “όσο τον δυνατόν γρηγορότερα”, διότι το όχημα θα βρίσκεται σε ένα άγνωστο περιβάλλον. Άρα, θα πρέπει να ανταποκρίνεται γρήγορα στις εντολές του χειριστή.

- Σε ποια κατεύθυνση το όχημα χρειάζεται να επιτελεί ελιγμούς;

Οι κατευθύνσεις αυτές είναι οι εξής: Εμπρός, πίσω, στροφή δεξιά και αριστερά, περιστροφή δεξιά και αριστερά, πάνω και κάτω.

- Χρειάζεται το ρομπότ να επιτελεί κάποιο ασυνήθιστο ελιγμό; Εάν ναι, ποιος θα είναι αυτός;

Όχι.

- Πόσο γρήγορα το όχημα χρειάζεται να πηγαίνει κάτω από το νερό;

Τουλάχιστον 0.25m/s και μέχρι 1.5m/s. Εάν, στο περιβάλλον στο οποίο κινείται τα ρεύματα κινούνται με 0.1m/s.

#### Ζητήματα δομής:

- Ποιες θα είναι οι μέγιστες δυνάμεις, που θα πρέπει να αντέχει η δομή του οχήματος; Μπορεί να περιλαμβάνονται πίεση νερού, ανυψωτικές δυνάμεις, προωθητικές δυνάμεις, ρεύματα, κρούσεις με ογκόλιθους ή άλλες υποβρύχιες κατασκευές και κρούσεις με άλλα σκάφη ή αποβάθρες κατά την είσοδο/έξοδο του ρομπότ από το νερό.

Αντίσταση ρευμάτων: Από 0.1 m/s έως 1 m/s.

$$P_{υδρ} = \rho hg, \quad (1)$$

$P_{υδρ}$  είναι η υδροστατική πίεση,  $\rho = 1.025\text{Kg/m}^3$  είναι η πυκνότητα,  $h = 10\text{m}$  είναι το βάθος και το  $g = 9.8\text{m/s}^2$  η επιτάχυνση της βαρύτητας.

$$P_{υδρ} = 100.45 \text{ N/m}^2 \quad (= 0.0009913644\text{atm}).$$

Απόλυτη πίεση = βάθος \* 0.1 + 1 = 10m \* 0.1 + 1 = 2atm

Συνολική οπισθέλκουσα πίεση:

$$D = \frac{1}{2} \rho C_d A U^2, \quad (2)$$

όπου  $\rho = 1.025\text{Kg/m}^3$  είναι η πυκνότητα,  $A$  η μπροστινή/μετωπική περιοχή του οχήματος (αποδίδεται σε τετραγωνικά μέτρα),  $C_d = 0.23$  ο συντελεστής αντίστασης (*drag coefficient*) και  $U = 2 \text{ m/s}$  η ταχύτητα. Για  $A = 47.9\text{cm}^2$ , προκύπτει:

$$D = 22.58 \text{ N},$$

Έχοντας την οπισθέλκουσα μπορούμε να υπολογίσουμε την μικρότερη ισχύ που θα απαιτείται, για να ξεπερνά την οπισθέλκουσα δύναμη που θα υπάρχει:

$$\text{Δύναμη ισχύς} = \text{οπισθέλκουσα} \times \text{ταχύτητα} = 22.58 * 2 = 45.16\text{W} \quad (3)$$

- Θα υπάρχουν κάποιες προδιαγραφές που να αναφέρονται στο βάρος του οχήματος και μπορεί να επηρεάσουν τα πιθανά υλικά της δομής;

Όχι, λόγω της κατηγορίας του οχήματος (μικρό ROV) και του βάθους περιβάλλοντος του, στο οποίο θα κινείται.

- Χρειάζεται η δομή του οχήματος να είναι ανθεκτική στη διάβρωση;

Ναι, λόγω της χρήσης του σε αλμυρό νερό.

- Χρειάζεται η δομή του οχήματος να είναι υδροδυναμική; Η απάντηση θα εξαρτηθεί από την ταχύτητα, την δύναμη και τα ρεύματα του νερού.

Δεν απαιτείται, να έχει μέγιστη υδροδυναμική δομή. Διότι, το περιβάλλον στο οποίο θα λειτουργεί δεν παρουσιάζει ακραίες υποθαλάσσιες συνθήκες, όπως ισχυρά ρεύματα ή μεγάλα κύματα. Και λόγω, της ψυχαγωγικής - ερευνητικής του χρήσης, το όχημα δεν απαιτείται να είναι σχεδιασμένο για να αναπτύξει υψηλές ταχύτητες.

### Ζητήματα ελέγχου:

- Θα χρειάζεται έλεγχος ταχύτητας των προωθητών; Πόσους προωθητές θα έχει επανδρωμένους;

Ναι. 3-5 προωθητές.

- Πόσοι προωθητές χρειάζεται να ελέγχονται;

Όσοι χρειάζονται, για να ελέγχεται αποτελεσματικά το όχημα, (συνήθως όλοι θα πρέπει να ελέγχονται σε τέτοια οχήματα).

- Τι άλλο χρειάζεται να είναι ελεγχόμενο στο όχημα; Θα υπάρχουν βραχίονες, φώτα για βίντεο, κλίση κάμερας ή μηχανισμός εστίασης, δειγματολογικές αναρροφήσεις ή κάποιο άλλο εργαλείο, που να αποφέρει φορτίο στο όχημα;

Θα υπάρχει μια κάμερα, για την λήψη φωτογραφιών, αναμετάδοση και καταγραφή βίντεο (*livestreaming*).

- Θα υπάρχουν ειδικοί αισθητήρες που να παρέχει την απαραίτητη ανατροφοδότηση, για τον αποτελεσματικό έλεγχο κάθε συσκευής, πάνω στο όχημα;

Θα υπάρχει ένας αισθητήρας μέτρησης βάθους, μέτρησης θερμοκρασίας (εσωτερικού περιβάλλοντος) και μέτρησης αποθέματος ενέργειας.

- Θα υπάρχει κάποια απαίτηση ελέγχου που να απαιτεί περισσότερη ενέργεια (δηλαδή και ανάγκη για κάποιο ενισχυτή κυκλώματος);

Όχι.

- Θα υπάρχει κάτι που να ελέγχεται με κάποιο άλλο τρόπο (π.χ. υδραυλικά), εκτός από ηλεκτρική ενέργεια;

Όχι.

### Ζητήματα ενέργειας & δύναμης:

- Τι πηγή ενέργειας θα διαθέτει; Τι περιλαμβάνεται στις επιλογές (γεννήτριες, μπαταρίες και κελιά καυσίμου);

Πολυμερείς μπαταρίες λιθίου, για απόδοση 1.5 έως 3 ωρών λειτουργίας, σε κατάδυση.

- Η πηγή ενέργειας θα βρίσκεται πάνω στο όχημα ή θα τροφοδοτείται μέσω καλωδίου; Πόσο θα ζυγίζουν;

Θα βρίσκεται πάνω στο όχημα. Και θα ζυγίζει 0.35 – 0.6 κιλά.

- Ποιο υποσύστημα ή ποια υποσυστήματα, του οχήματος, καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια; Πόση θα χρειάζονται;

Την μεγαλύτερη κατανάλωση θα έχουν η κίνηση των προπελών και τα φώτα.

Για την κίνηση 4 προπελών χρειάζεται 9 watts (Maximum) ανά προπέλα, (δηλ. 36 watts σύνολο). Για την λειτουργία αυτών, για τουλάχιστον 1.5 ώρα, θα χρειάζονται τουλάχιστον 54 watt-hrs.

Για 2 κύρια εμπρόσθια φώτα, χρειάζεται 25 watts (Maximum) ανά τεμάχιο, (σύνολο 50 watts). Για την λειτουργία αυτών, για τουλάχιστον 1.5 ώρα, θα χρειάζονται τουλάχιστον 75 watt-hrs<sup>45</sup>.

- Ποια θα είναι η ελάχιστη και η μέγιστη ισχύ (Watts) που θα χρειάζεται να παραχθεί στο όχημα;

Min: 106 Watts και Max:430 Watts.

- Υπάρχουν πιθανά όρια στο βάρος, ένταση ή κόστος για την πηγή ενέργειας;

Το επιθυμητό είναι να έχουμε ένα ελαφρύ και δυνατό, από άποψης ενέργειας όχημα. Το συνολικό βάρος του οχήματος δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 5 κιλά. Οπότε όσον αφορά το βάρος, η συσκευή παροχής ενέργειας δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 0.5 κιλά. Και θα πρέπει να αποδίδει την ενέργεια που χρειάζεται το όχημα, ώστε να δραστηριοποιείται υποβρύχια, για τουλάχιστον 1.5 – 2 ώρες, σε μέγιστους ρυθμούς λειτουργίας.

- Εάν το όχημα διαθέτει καλώδιο, κατά πόσο το μήκος του θα επηρεάζει την μετάδοση την ενέργειας;

-

- Εάν τα υποσυστήματα του οχήματος (π.χ. μοτέρ, κυκλώματα ελέγχου, φώτα, κ.α.) αναπτύσσουν μεγάλη θερμότητα που να προκαλέσει ζημιά σε αυτό. Πως το όχημα θα διαχύει την υπερβολική θερμότητα;

Όσον αφορά την θερμότητα που θα δημιουργείται από τα ηλεκτρικά μοτέρ, το όχημα θα σχεδιαστεί, με τρόπο ώστε το κέλυφος των προωθητών να βρίσκεται σε επαφή με το νερό, για την ισορρόπηση της θερμοκρασίας. Σε περίπτωση που υπάρξει κάθετος

---

<sup>45</sup> Η παραπάνω बातώρες αναφέρονται ως οι μέγιστες τιμές, σε περίπτωση που το όχημα λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων του, για συνεχή ώρα, σε μια νυχτερινή κατάδυση.

προωθητής, θα πρέπει να δημιουργηθεί και η ανάλογη λύση, (π.χ. ένα είδος εξάτμισης που να επιτρέπει την έξοδο θερμότητας, χωρίς να διεισδύει νερό).

#### Ζητήματα πλοήγησης:

- Πως το ρομπότ θα πλοηγείτε στο νερό;  
Με τον χειρισμό από τον χρήστη, (και την χρήση χειριστηρίου).
- Εάν το όχημα είναι ROV, πως ο χειριστής θα γνωρίζει που είναι και που κατευθύνεται;  
Θα επιβλέπει την πορεία του μέσω της διαθέσιμης κάμερας (που θα του παρέχει ζωντανή μετάδοση του χώρου/περιβάλλοντος) και των παρεχόμενων αισθητήρων του, όπως είναι το GPS.

#### Ζητήματα αισθητήρων:

- Ποιοι εξωτερικοί παράγοντες (φως, βάθος, κατεύθυνση, θερμοκρασία, κλπ.), χρειάζεται να παρακολουθούνται/καταγράφονται από αισθητήρες;  
Το βάθος, η θερμοκρασία του κανίστρου, η ώρα κατάδυσης, η κατεύθυνση και η ταχύτητα.
- Ποιοι εσωτερικοί παράγοντες (ενέργεια μπαταρίας, θερμοκρασία μοτέρ, διαρροές, κλπ.), χρειάζεται να παρακολουθούνται/καταγράφονται από αισθητήρες;  
Η ενέργεια μπαταρίας (που απομένει) και η εσωτερική θερμοκρασία, (τουλάχιστον).
- Ποιοι τύποι αισθητήρων χρειάζονται για την καταγραφή των παραπάνω ;  
GPS (Latitude & Longitude - coordinate system), gyro compass, ταχύμετρο, βαθύμετρο και εσωτερικό θερμόμετρο.
- Πόσους αισθητήρες χρειάζεται το όχημα;  
Τουλάχιστον 3 έως 5 αισθητήρες.
- Πόσο ακριβής και αξιόπιστοι πρέπει να είναι αυτοί οι αισθητήρες ; Και πως αυτό θα επηρεάσει το κόστος επιλογής;  
Αρκετά, διότι μέσα από τα δεδομένα, που θα παρέχονται στον χρήστη, αυτός θα παίρνει τις ανάλογες αποφάσεις, για τον έλεγχο και την πορεία του οχήματος.
- Πως θα τροφοδοτούνται οι αισθητήρες με ενέργεια;  
Θα τροφοδοτούνται από την κεντρική πηγή ενέργειας (μπαταρία).
- Πως θα παρακολουθείται η πληροφορία από τους αισθητήρες και πως θα χρησιμοποιείται;  
Θα ελέγχονται από ένα μόνιτορ (που θα βρίσκεται πιθανότατα στο σύστημα χειρισμού – ελέγχου του οχήματος. Για άμεση επίβλεψη από τον χρήστη).



### Ζητήματα εισόδου – εξόδου:

- Από ποιο μέρος/τοποθεσία θα εισέρχεται το ρομπότ στο νερό (πλοίο, μικρό σκάφος, αποβάθρα ή από αλλού);  
Είναι πιθανό να εισέρχεται στο νερό από μια αποβάθρα/εξέδρα, από ένα σκάφος μικρού ύψους ή από την ακτή.
- Το όχημα θα εισέρχεται στο νερό μέσω ανθρώπινου παράγοντα (με το χέρι), γερανού ή άλλου μηχανισμού;  
Μέσω ανθρώπινου παράγοντα, χωρίς την βοήθεια κάποιου ειδικού μηχανήματος.
- Πόσα άτομα θα χρειάζονται ώστε να εισαχθεί το όχημα στο νερό, με ασφάλεια;  
Τουλάχιστον 1 άτομο.
- Ποιο θα είναι το επιτρεπτό/ανεκτό βάρος του οχήματος (στον αέρα);  
4 – 5 κιλά.
- Θα χρειάζεται το όχημα να διαθέτει δυνατά σημεία στην δομή του, από τα οποία να πιάνεται για να εξαχθεί από το νερό;  
Ναι.
- Πόσο θα επηρεάζουν οι καιρικές συνθήκες την είσοδο – έξοδο του οχήματος (πόσο μεγάλα θα είναι τα κύματα, πόσο δυνατοί οι άνεμοι ή τα ρεύματα); Οι παλιρροϊκοί κύκλοι κατά πόσο θα επηρεάζουν την διαδικασία;  
Προφανώς, σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, τόσο η είσοδος, όσο και η έξοδος του οχήματος από το νερό θα είναι πρακτικά δύσκολες, έως αδύνατες. Και αυτό, επειδή το περιβάλλον στο οποίο θα λειτουργεί συνδέεται άρρηκτα με τον καιρό. Επίσης, το μέγεθος του οχήματος και οι προδιαγραφές αντοχής του δεν το καθιστούν κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα με ακραίες συνθήκες.
- Ποιες θα είναι οι μέγιστες επιτρεπτές εξωτερικές διαστάσεις (μήκος, πλάτος, ύψος);  
430 x 350 x 185 mm (μήκος x πλάτος x ύψος).

### Λειτουργικά ζητήματα:

- Πόση ώρα θα επιτρέπεται στο ρομπότ να βρίσκεται υποβρύχια, ώστε να μπορεί να ολοκληρώσει την αποστολή του;  
Τουλάχιστον 1.5 – 3 ώρες, ανάλογα με τον χειρισμό του και ανάλογα με τις προθέσεις του χρήστη.
- Πόση ώρα θα πρέπει το ρομπότ να βρίσκεται στην επιφάνεια, για συντήρηση, μεταξύ των καταδύσεων;  
Επειδή, η χρήση του κάτω από το νερό δεν θα διαρκεί πολλές ώρες, το όχημα δεν θα χρειάζεται να συντηρείται στην επιφάνεια, στο ενδιάμεσο της χρήσης του, εκτός και αν προκύψει κάποιο λειτουργικό θέμα (π.χ. αποφόρτιση μπαταρίας) ή κάποιο ατύχημα (π.χ. σοβαρή σύγκρουση).

- Πόση ώρα θα επιτρέπεται στο ρομπότ να βρίσκεται υποβρύχια, πριν να χρειαστεί να επιστρέψει στην επιφάνεια για συντήρηση/επίβλεψη;

Θα εξαρτάται ανάλογα και με την χρήση του, (π.χ. την ταχύτητα με την οποία θα λειτουργεί κατά την αποστολή του).

Σε συνθήκες ακραίου χειρισμού: Κοντά στην 1 ώρα (ανάλογα και με τους κύκλους φόρτισης της μπαταρίας, το ποσοστό μπορεί να μειωθεί, μακροπρόθεσμα).

Σε συνθήκες ομαλού χειρισμού: Κοντά στις 2 με 3 ώρες.

- Πόση ώρα θα παίρνει η μετάβαση από την στεριά/βάση στο σημείο κατάδυσης;

Θα κρίνεται και από την απόσταση της στεριάς από το περιβάλλον χρήσης του (θάλασσα). Λόγω του μικρού βάρους του η μετάβαση, του ρομπότ, από έναν μέσο άτομο (ενήλικα), θα διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα ή λεπτά.

- Τι είδος μεταφοράς χρειάζεται το όχημα, για να μεταφερθεί στο σημείο κατάδυσης, από την βάση/στεριά;

Δεν θα απαιτεί κάποια ειδική μεταφορά (π.χ. κάποιο μηχάνημα ή τρέιλερ).

- Πόσα άτομα χρειάζονται ώστε να λειτουργήσει το ρομπότ, σε όλα τα στάδια από την είσοδο στο νερό, την κατάδυση, την εξερεύνηση, μέχρι την έξοδο από το νερό και την επιστροφή στην βάση;

Τουλάχιστον 1 άτομο.

#### Ζητήματα ασφαλείας:

- Ποιος θα χειρίζεται το όχημα;

Ο χειριστής του.

- Ποιος θα κάνει την είσοδο/έξοδο του οχήματος στο/από το νερό;

Ο χειριστής του.

- Ποιος θα κάνει την συντήρηση στην στεριά;

Ο χειριστής του.

- Οι χρήστες χρειάζονται κάποια ειδική εκπαίδευση ή εξειδίκευση για να χειριστούν αποτελεσματικά το ρομπότ;

Όχι, ιδιαίτερα. Θα πρέπει όμως, να γνωρίζουν κάποια πράγματα σχετικά με την κίνηση αντικειμένων μέσα στο νερό και τους κινδύνους που μπορεί να αντιμετωπίσουν, στο συγκεκριμένο βάθος (των 10 μέτρων).

- Πως θα απελευθερωθεί/αναδυθεί το ρομπότ, σε περίπτωση που χτυπήσει/εμπλακεί στο βυθό;

Λόγω του μικρού βάθους, αλλά και του περιορισμού του κόστους, το συγκεκριμένο μοντέλο οχήματος δεν θα διαθέτει κάποιο σύστημα ανάδυσης. Παράλληλα, η εξ ολοκλήρου σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος, σε ένα τέτοιο μικρό όχημα, απαιτεί μεγάλο χρόνο και μεγάλη ανάλυση (μηχανική, τεχνική, κατασκευαστική κ.α.), λόγω του μικρού μεγέθους του.

- Είναι όλα τα υλικά και οι πηγές ενέργειας ασφαλή, ώστε να χρησιμοποιηθούν σε υγρό περιβάλλον;

Ναι.

- Τα υλικά ή πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στο όχημα, είναι ασφαλή για τους οργανισμούς που ζουν σε αυτό το περιβάλλον;

Ναι.

- Υπάρχουν τίποτα ειδικόί κίνδυνοι κατά τη είσοδο/έξοδο του οχήματος από το περιβάλλον χρήσης του;

Όχι.

- Υπάρχουν τίποτα κίνδυνοι, που να ελευθερώνονται κατά την συντήρηση του ρομπότ στην στεριά;

Όχι.

Εκτός, από την εύρεση και τον καθορισμό των χαρακτηριστικών και λειτουργικών απαιτήσεων. Θα πρέπει να συμπεριληφθούν και τυχόν περιορισμοί, που μπορεί να υπάρξουν, κατά την εξέλιξη του σχεδιασμού. Όπως και προηγουμένως, οι περιορισμοί, θα χωριστούν σε ενότητες κατηγοριών.

Ένα τέτοιο παράδειγμα, για το συγκεκριμένο αντικείμενο σχεδίασης, είναι το εξής:

Ανθρώπινο δυναμικό. Αποτελεί από τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιτυχή ανάπτυξη μιας περίπλοκης εργασίας, όπως η ανάπτυξη ενός υποβρύχιου ρομπότ. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η μελέτη και η ανάπτυξη καλύπτεται από ένα άτομο. Γενικότερα όμως, μια σχεδιαστική ομάδα, απαρτίζεται από τουλάχιστον 4 – 5 άτομα (ανάλογα και με το αντικείμενο σχεδίασης).

Νόμοι φυσικής. Θα πρέπει να μελετηθούν σε ένα αρκετά καλό βαθμό, οι νόμοι που ισχύουν στο περιβάλλον της θάλασσας, ώστε η δημιουργία του οχήματος να είναι πραγματοποιήσιμη. Δηλαδή, να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις και τις δυσκολίες του περιβάλλοντος, ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τις προσδοκίες του.

Χρόνος. Ο χρόνος μπορεί να αποτελέσει έναν από τους σημαντικότερους και πιο καθοριστικούς περιορισμούς, ενός οποιαδήποτε αντικειμένου σχεδίασης. Στην δική περίπτωση αυτή, η παρουσίαση μιας ικανοποιητικής λύσης, περιορίζεται σε ένα εξάμηνο.

Κεφάλαιο. Το χρήμα μπορεί να αποτελέσει τον μεγαλύτερο περιορισμό για την δημιουργία ενός οποιουδήποτε αντικειμένου σχεδίασης. Δηλαδή, πόσα χρήματα μπορούν να βρεθούν και σε πόσο χρόνο αυτά, μπορούν να είναι διαθέσιμα, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την συνέχεια του πρότζεκτ. Στην παρούσα περίπτωση, το κεφάλαιο περιορίζει την πραγματοποίηση της κατασκευής, του υπό σχεδίαση υποβρύχιου ρομπότ, διότι το μεγαλύτερο μέρος του χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση πρόσβασης σε σημαντική πληροφορία (π.χ. βιβλιογραφικές πηγές), που ήταν δύσκολο να αποκτηθούν, χωρίς κάποιο χρηματικό αντίκτυπο.

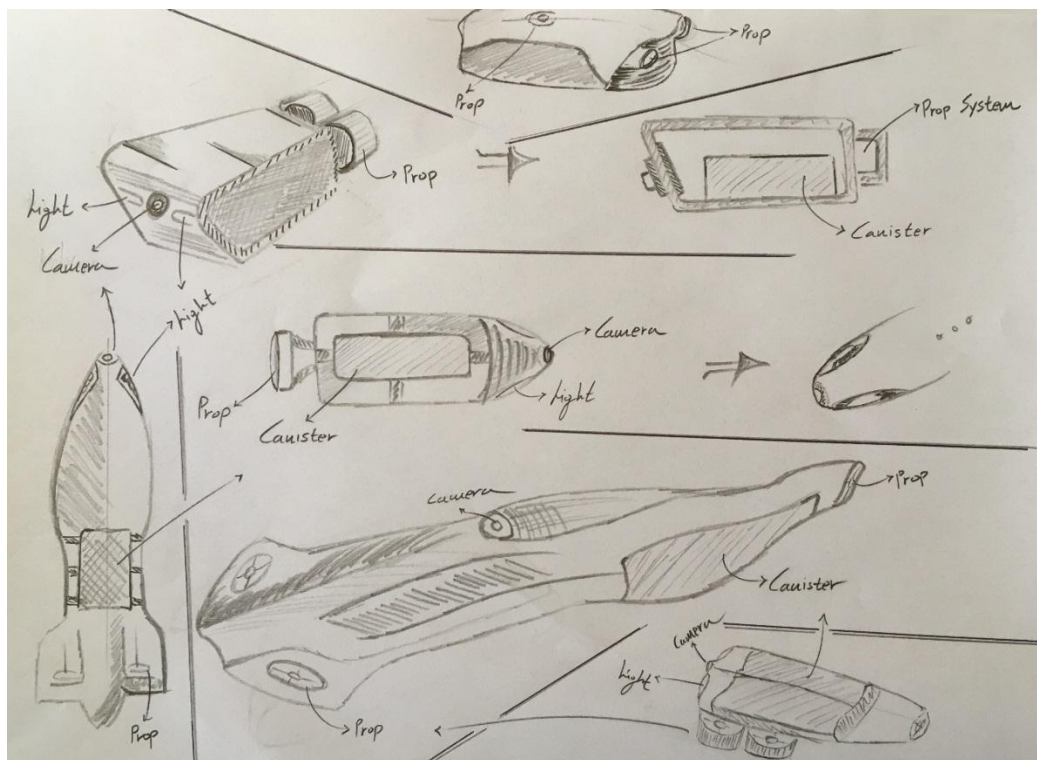
Ασφάλεια. Αποτελεί ένας από τους τελευταίους και πιο συχνούς παράγοντες για την δημιουργία, ενός πρότζεκτ. Κυρίως, αναφέρονται όταν είναι να γίνουν οι απαραίτητες δοκιμές στο πρωτότυπο, αλλά και κατά την διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας του.

## 6. Σχεδιασμός

### 6.1 Ιδεασμός

Έχοντας καταλήξει σε ένα σύνολο προδιαγραφών, η επόμενη φάση της διαδικασίας της σχεδίασης είναι ο ιδεασμός. Στην φάση αυτή, δημιουργούνται σκίτσα με σκοπό την δημιουργία επιμέρους λύσεων, για τις παραπάνω προδιαγραφές. Κάθε προδιαγραφή μπορεί να αποδίδεται από ένα σύνολο σχεδίων, που σκοπό έχουν την αύξηση της ποικιλίας των λύσεων της. Για παράδειγμα, στα σχέδια των πιθανών φορμών του οχήματος, θα πρέπει να αποφασιστεί εάν θα υπάρχουν τρεις ή τέσσερις προωθητές, καθώς και το που θα τοποθετηθούν. Αυτό για να αποφασιστεί θα πρέπει πρώτα, να αναπαρασταθεί με κάποια σκίτσα, από τα οποία θα προέλθει και η αιτιολόγηση της λύσης. Γιατί τρεις προωθητές και όχι τέσσερις; Γιατί οι δυο από αυτούς να είναι οριζόντιοι και ο ένας κάθετος; Και τα λοιπά.

Σε περιπτώσεις, όπου το αντικείμενο σχεδίασης κρίνεται περίπλοκο<sup>46</sup>, όπως είναι ο σχεδιασμός ενός υποβρύχιου οχήματος. Τα σκίτσα<sup>47</sup> θα πρέπει να απαντούν κρίσιμα και γενικά ερωτήματα, (βλ. Εικόνα 43 και ερωτήσεις από προηγούμενο παράδειγμα).

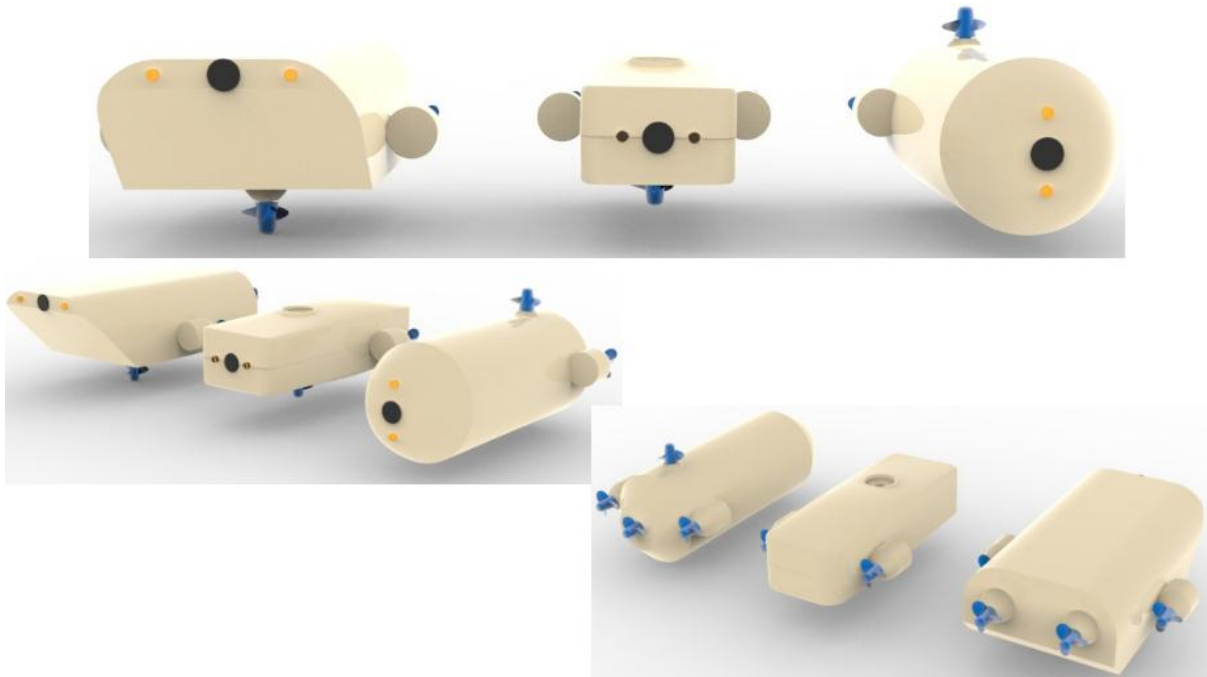


Εικόνα 43: Προσχέδια φόρμας

<sup>46</sup> Λόγω της περιπλοκότητας του αντικειμένου σχεδίασης, η δημιουργία σκίτσων για όλα τα συστήματα του οχήματος δεν είναι συμφέρουσα, όσον αφορά την αξιοποίηση του χρόνου.

<sup>47</sup> Τα σκίτσα ή αλλιώς και προσχέδια, δεν πρέπει να διαθέτουν σχεδιαστικές λεπτομέρειες.

Εφόσον, αποφασιστούν ορισμένα από τα βασικά ερωτήματα, που ορίζουν την φυσική υπόσταση του οχήματος. Γίνεται η επιλογή ενός σχεδίου (βλ. **υποκεφάλαιο 6.3 Αξιολόγηση ιδεών**), με βάση το οποίο η σχεδιαστική ομάδα θα καταλήξει σε μια τελική πρόταση.



**Εικόνα 44: Τρεις βασικές ιδέες οχημάτων**

## 6.2 Αξιολόγηση ιδεών

Η αξιολόγηση γίνεται με βάση τον βαθμό εκπλήρωσης των προδιαγραφών, αλλά και σε συνδυασμό με την ευρύτερη γνώση του αντικειμένου σχεδίασης. Το σχέδιο που επιλέχθηκε είναι το 2<sup>ο</sup> κατά σειρά concept (βλ. Εικόνα 44).

Το 2<sup>ο</sup> σχέδιο, αποτελεί τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό των επιμέρους λύσεων. Εμπεριέχει στοιχεία μιας κυλινδρικής και μιας ορθογώνιας παραλληλεπίπεδης δομής, με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα και των δύο σχημάτων:

- Τη καλή και επαρκή αντοχή, που προσφέρει ένας κύλινδρος
- Την μεγαλύτερη αποδοτικότητα αξιοποίησης του εσωτερικού χώρου, που προσφέρει ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο.

Τα επιλεγμένα υποσυστήματα διατάσσονται με τον βέλτιστο τρόπο, στον διαθέσιμο χώρο. Παράλληλα, παρέχει περισσότερες επιλογές κάλυψης και διαμόρφωσης της κάθετης προπέλας, σε σχέση με τα υπόλοιπα δυο concept. Ενώ, η δημιουργία μιας ειδικής διαμόρφωσης, στο κάτω κέλυφος, για επιπλέον κάλυψη στην περιοχή της μπαταρίας, κρίθηκε πιο εύκολη και πιο ομαλή, για την επιλεγμένη φόρμα<sup>48</sup>. Τέλος, η γενική φόρμα του 2<sup>ου</sup> concept, “αγκαλιάζει” πιο αποτελεσματικά το υπό διαμόρφωση κάνιστρο, παρέχοντας του και την κατάλληλη υποστήριξη.

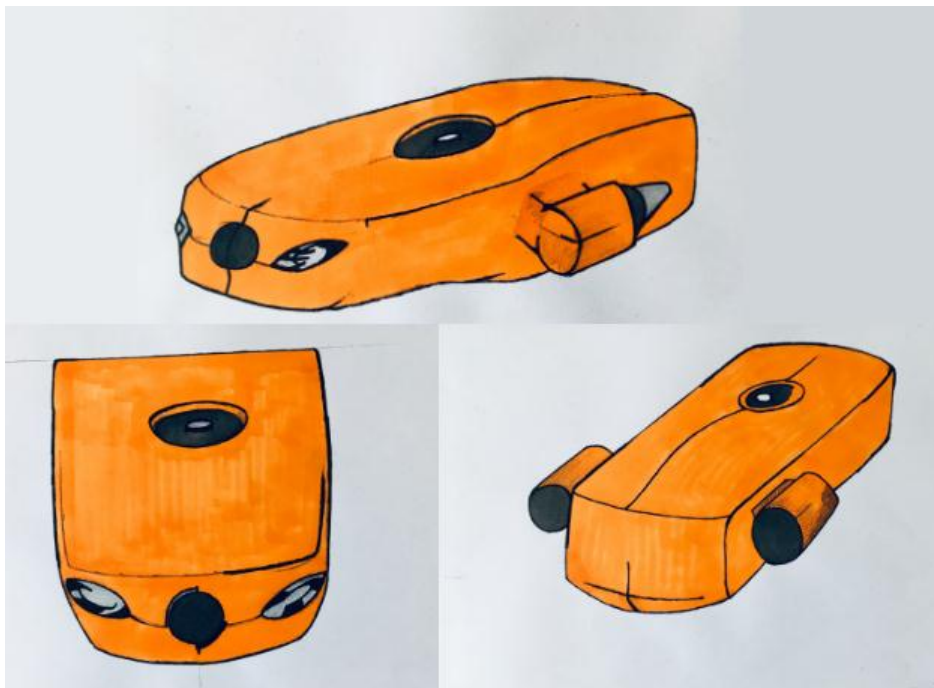
<sup>48</sup> Πάντα, σε σχέση με τα υπόλοιπα δυο concept.

Το 1<sup>ο</sup> σχέδιο απορρίφθηκε, λόγω της περίπλοκης και μη σταθερής εσωτερικής διάταξης, που παρείχε. Επειδή, τα εσωτερικά υποσυστήματα διακρίνονται από ορθογώνια σχήματα, η διάταξη τους σε μια πλήρως κυλινδρική δομή, απαιτούσε την οριζόντια διάταξη τους. Κάτι, που περιόριζε αρκετά, την ευχέρεια του τρόπου σύνδεσης και διάταξης, των υποσυστημάτων αυτών. Επίσης, ως σημαντικό κριτήριο απόρριψης, τέθηκε και το περιβάλλον χρήσης του οχήματος, όπου λόγω του μικρού, μέγιστου βάθους (10μ.) δεν κρίθηκε αναγκαία η χρήση μιας πλήρως κυλινδρικής φόρμας<sup>49</sup>.

Το 3<sup>ο</sup> σχέδιο απορρίφθηκε, λόγω του μεγάλου όγκου και των περισσότερων, τετραγωνικών στοιχείων, που εμπειρείχε. Επίσης, παρείχε, πολύ περισσότερο εσωτερικό χώρο από όσο χρειαζόταν, για την τοποθέτηση των επιλεγμένων υποσυστημάτων, πράγμα που εναντιωνόταν στην μείωση του μεγέθους του οχήματος (βλ. **υποκεφάλαιο 3.3 Δύναμη, ακαμψία, βάρος & δομικές φόρμες**, σελ. 45, προτελευταία παράγραφο). Ενώ, στην προσπάθεια δημιουργίας παραλλαγών της φόρμας, το concept κρινόταν πολύ πλατύ ή πολύ ψηλό, κάτι που θα δυσκόλευε την διάταξη των υποσυστημάτων, αλλά και τον χειρισμό του οχήματος.

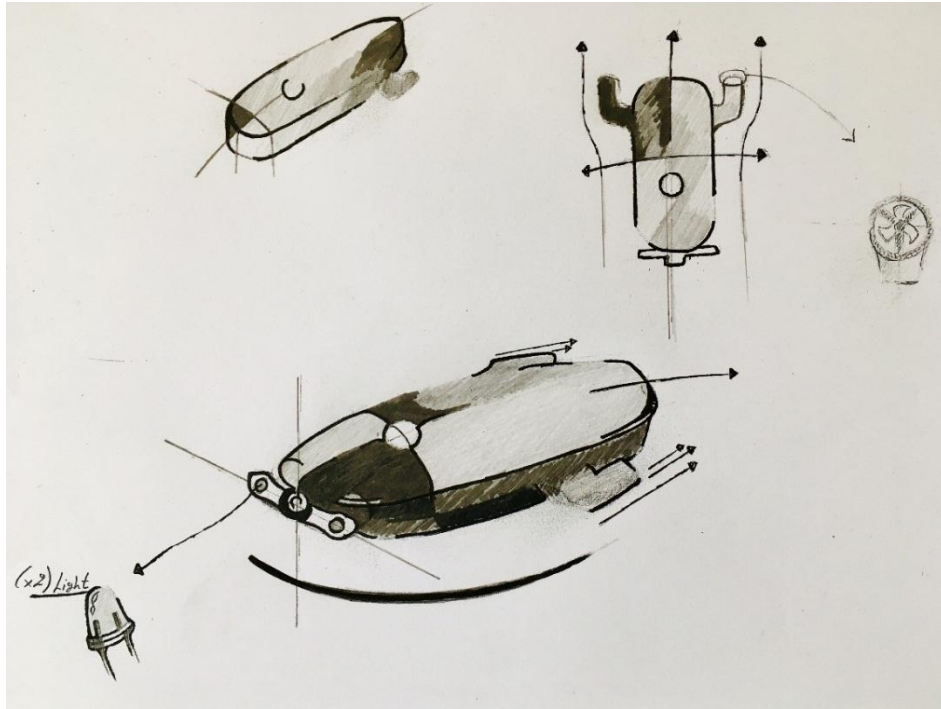
### 6.3 Τελική επιλογή

Εδώ, παρουσιάζονται τα τελικά προσχέδια της επιλεγμένης πρότασης, μέσα από έναν βέλτιστο συνδυασμό των παραπάνω ιδεών.

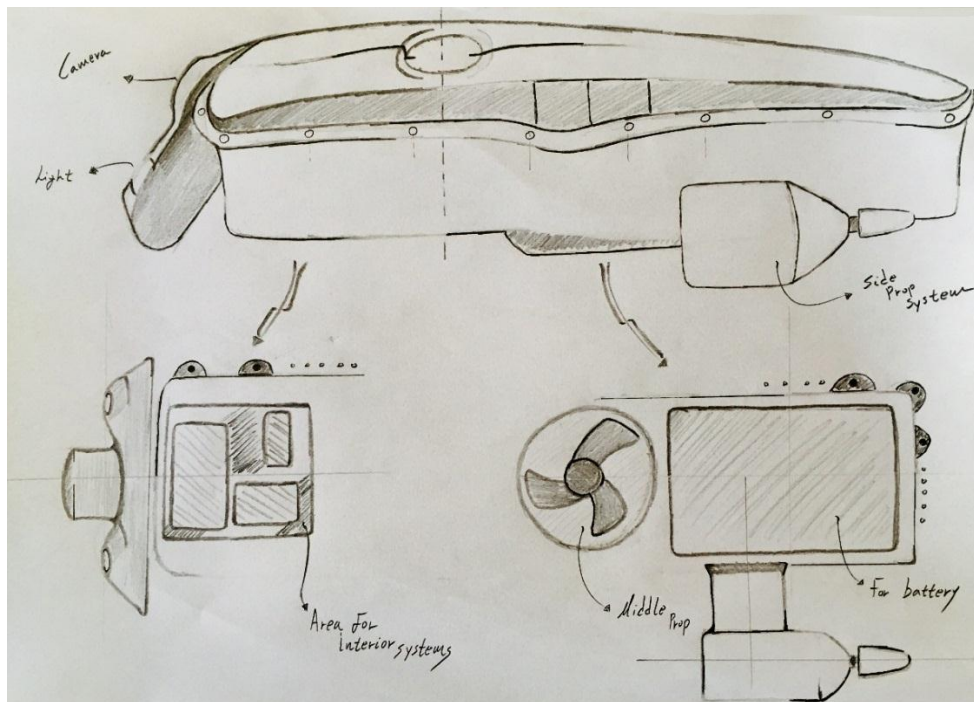


Εικόνα 45: Τελικά προσχέδια εξωτερικών όψεων

<sup>49</sup> Οι αναπτυσσόμενες υδροστατικές πιέσεις σε βάθος 10μ. δεν είναι ισχυρές, για να απαιτούν την χρήση συγκεκριμένων δομών, μορφών και υλικών.



Εικόνα 46: Προσχέδια εξωτερικών όψεων κανίστρου



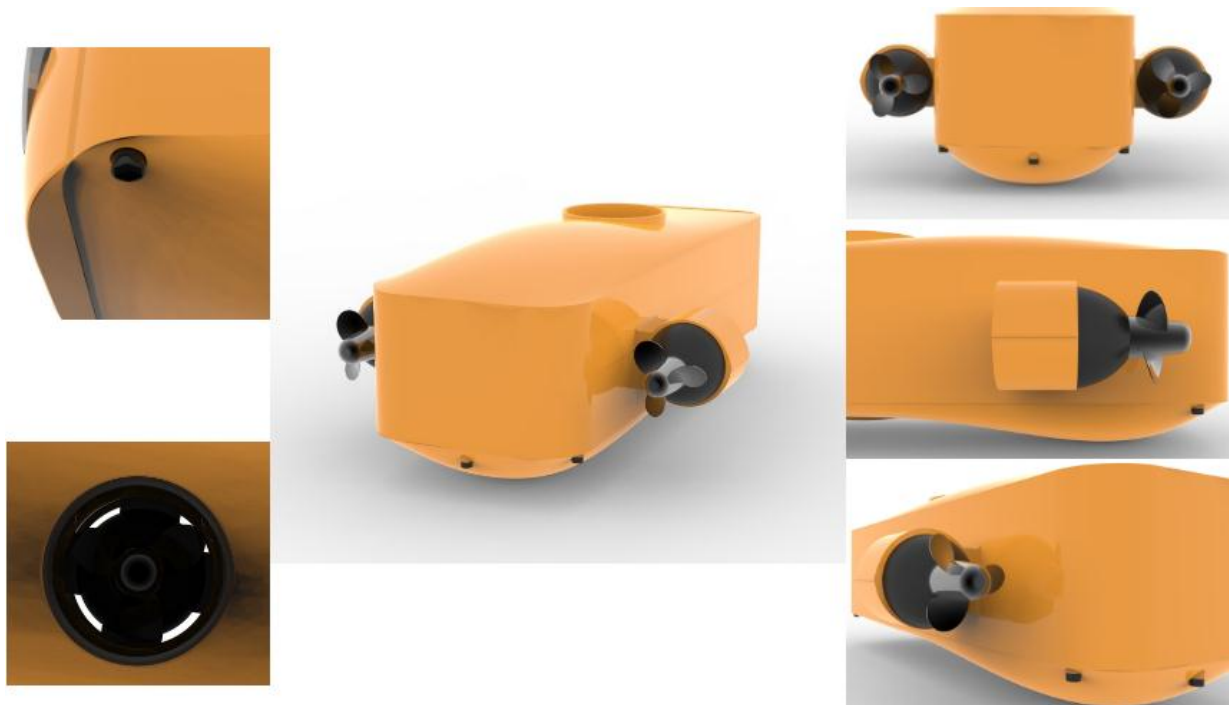
Εικόνα 47: Προσχέδια πλάγιας όψης & κύριας εσωτερικής διάταξης κανίστρου

Έπειτα, ακολουθήθηκε ο λεπτομερής σχεδιασμός<sup>50</sup> του παραπάνω οχήματος και όλων των υποσυστημάτων του (βλ. Εικόνα 48).

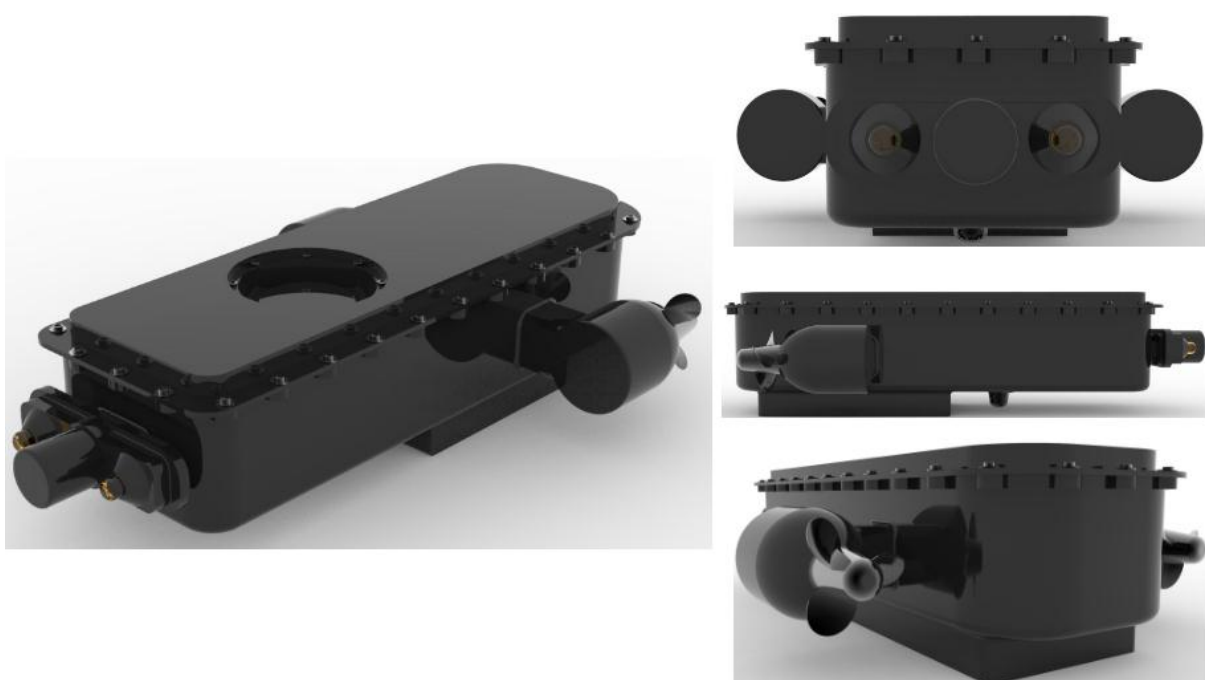
<sup>50</sup> Η φάση του λεπτομερούς σχεδιασμού πραγματοποιήθηκε στο παραμετρικό λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης PTC Creo Parametric 3.0







**Εικόνα 50: Απεικόνιση μερικών όψεων & λεπτομερειών οχήματος**



**Εικόνα 51: Απεικόνιση μερικών βασικών όψεων κανίστρου**



Εικόνα 52: Απεικόνιση μερικών όψεων & εξωτερικών λεπτομερειών κανίστρου

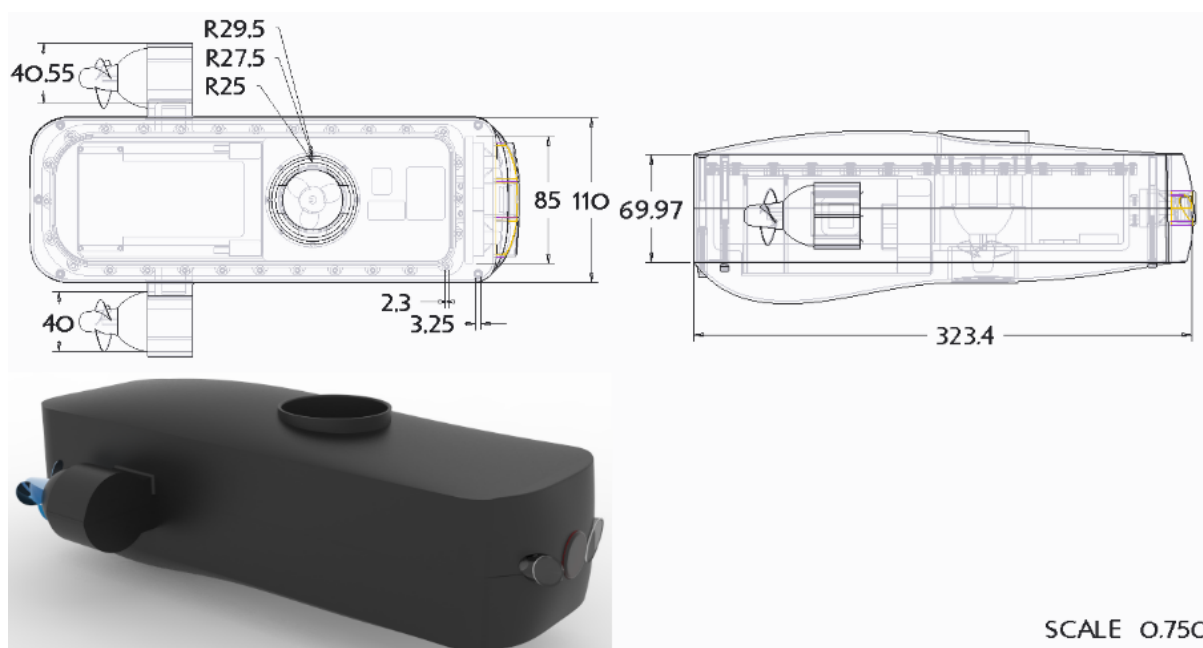


Εικόνα 53: Απεικόνιση κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (Α)

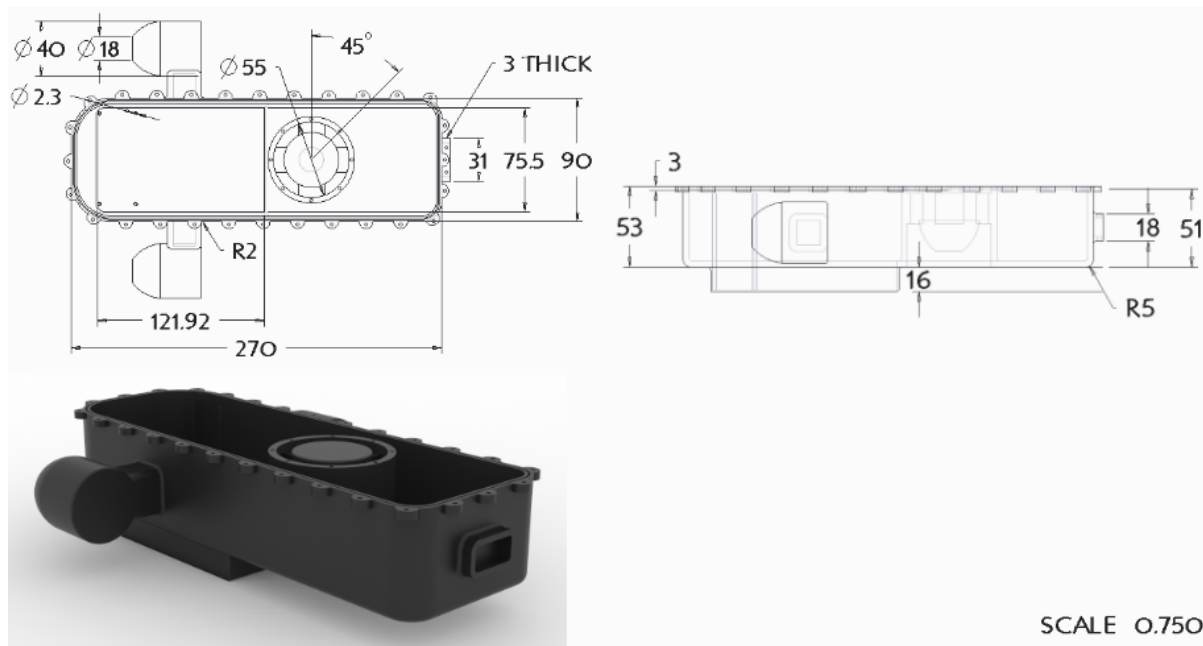


Εικόνα 54: Απεικόνιση κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (B)

## 6.5 Τεχνικά σχέδια



Εικόνα 55: Βασικές εξωτερικές μετρήσεις οχήματος



Εικόνα 56: Βασικές μετρήσεις κανίστρου

## 6.6 Επιλογή υλικών και αιτιολόγηση

Μία από τις πιο κρίσιμες φάσεις, της σχεδιαστικής διαδικασίας οποιοδήποτε προϊόντος, είναι η φάση της επιλογής υλικών, διότι καθορίζει σε ένα μεγάλο βαθμό την λειτουργικότητα του συστήματος. Παράλληλα, πολλές φορές στην φάση αυτή, μια σχεδιαστική ομάδα μπορεί ανακαλύψει ευκαιρίες διαφοροποίησης του προϊόντος της, σε σχέση με τα είδη υπάρχοντα ανταγωνίστηκα. Στην περίπτωση της σχεδίασης ενός υποβρύχιου οχήματος, τα δύο κύρια μέρη, για τα οποία, πρέπει να επιλεγεί υλικό είναι το κέλυφος και το κάνιστρο.

Όσον αφορά, το κέλυφος του οχήματος, το υλικό που επιλέχθηκε είναι το πολυανθρακικό (PC). Το υλικό αυτό, μπορεί να προσδώσει στο όχημα την απαραίτητα προστασία, κυρίως λόγω της υψηλής του ανθεκτικότητας σε τυχόν, συγκρούσεις (βλ. **υποκεφάλαιο 3.5.2 Πλαστικά**), αλλά και της υψηλής αντοχής (βλ. Πίνακα 8), που θεωρείται κατάλληλη, για το βάθος και τις αναπτυσσόμενες υδροστατικές πιέσεις του περιβάλλοντος (βλ. **υποκεφάλαιο 6.6.1 Μηχανική ανάλυση**).

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφερθεί ότι η επιλογή πλαστικών, ως κύρια υλικά για τα βασικά μέρη του οχήματος, γίνεται λόγω του μικρού μεγέθους του, της αποτελεσματικότερης σύνδεσης<sup>51</sup> πλαστικών κομματιών μικρού πάχους, αλλά και του μικρού βάθους (10 μέτρων), στο οποίο θα κινείται, το ρομπότ.

Όσον αφορά, το κάνιστρο ή δοχείο πίεσης, το υλικό που επιλέχθηκε είναι το ακρυλικό (PMMA). Οι κύριοι λόγοι επιλογής του, είναι η καταλληλότητα του για μικρά δοχεία πίεσης (βλ. Πίνακα 4), αλλά και τις θερμοκρασίες που μπορεί να υποστεί (βλ. Πίνακα 9), λαμβάνοντας υπόψιν,

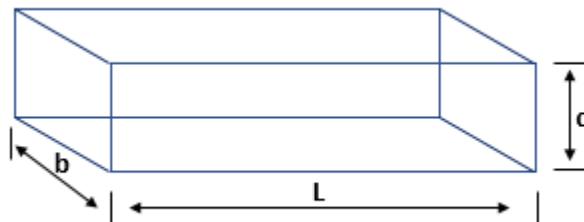
<sup>51</sup> Τα μέταλλα, όσο πιο λεπτά είναι σε πάχος, τόσο πιο δύσκολο είναι να συνδεθούν, χωρίς να εφαρμοστεί κάποιο είδος συγκόλλησης. Και με την χρήση τέτοιων μεθόδων σύνδεσης, χάνεται η έννοια της απλής αποσυναρμολόγησης και της αειφορίας του οχήματος.

την παραγόμενη ισχύ και τις συνθήκες του περιβάλλοντος, στο οποίο θα βρίσκεται (βλ. υποκεφάλαιο 6.6.2 Θερμική ανάλυση).

### 6.6.1 Μεθοδολογία επιλογής υλικού

Παράλληλα, υπάρχει μια μεθοδολογία επιλογής υλικού, η οποία μπορεί να εμφανιστεί χρήσιμη για πολλές περιπτώσεις προϊόντων. Διότι, συνδυάζει την γεωμετρία του προϊόντος, τους στόχους και τους περιορισμούς του, καταλήγοντας με την χρήση αλγεβρικών τύπων, σε ορισμένους δείκτες απόδοσης, με βάση τους οποίους γίνεται η επιλογή του υλικού. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μεθοδολογία απαιτεί χρόνο, διότι οι εκάστοτε στόχοι ή περιορισμοί, ενός προϊόντος, διαθέτουν μια βαρύτητα σημαντικότητας. Και ανάλογα με αυτή, το υλικό μπορεί να διαφοροποιηθεί. Παρακάτω, φανερώνονται τα αρχικά στάδια, αυτής της μεθοδολογίας, με βάση ορισμένους στόχους, για το συγκεκριμένο όχημα:

Έστω, το κέλυφος με  $L$  το μήκος του,  $b$  το πλάτος του και  $d$  το ύψος του (βλ. Εικόνα 57).



Εικόνα 57: Κέλυφος σε απλοποιημένη μορφή

Ως στόχοι θεωρούνται, η ελαχιστοποίηση της μάζας και η μεγιστοποίηση της θερμικής απώλειας. Και ως, περιορισμός η ακαμψία.

- 1<sup>ος</sup> Στόχος:  $m = \rho b d L$ , με  $d$  ως ελεύθερη μεταβλητή<sup>52</sup>.

$$d = \frac{m}{\rho L b} \quad (1)$$

Από περιορισμό:

$$S \geq S^*$$

$\frac{CEI}{L^3} \geq S^*$ , αντικαθιστώντας το  $I = \frac{bd^3}{12}$  και όπου  $d$  την σχέση (1), προκύπτει:

$$m \geq \left( \frac{12 S^*}{C b} \right)^{1/3} b L^2 \frac{\rho}{E^{1/3}}$$

Με δείκτη απόδοσης υλικού:

$$M_1 = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

<sup>52</sup> Το αποτέλεσμα υλικού μπορεί να επηρεαστεί και από το τι γεωμετρικός παράγοντας έχει οριστεί ως ελεύθερη μεταβλητή.

- 2<sup>ος</sup> Στόχος:  $\dot{q} = \lambda \frac{\Delta T}{d}$ , με d ως ελεύθερη μεταβλητή.

$$d = \frac{\lambda \Delta T}{\dot{q}} \quad (2)$$

Από περιορισμό:

$$S \geq S^*$$

$\frac{CEI}{L^3} \geq S^*$ , αντικαθιστώντας το  $I = \frac{bd^3}{12}$  και όπου d την σχέση (2), προκύπτει:

$$\dot{q} \geq \left( \frac{c b}{12 S^*} \right)^{1/3} \frac{\Delta T}{L} \lambda E^{1/3}$$

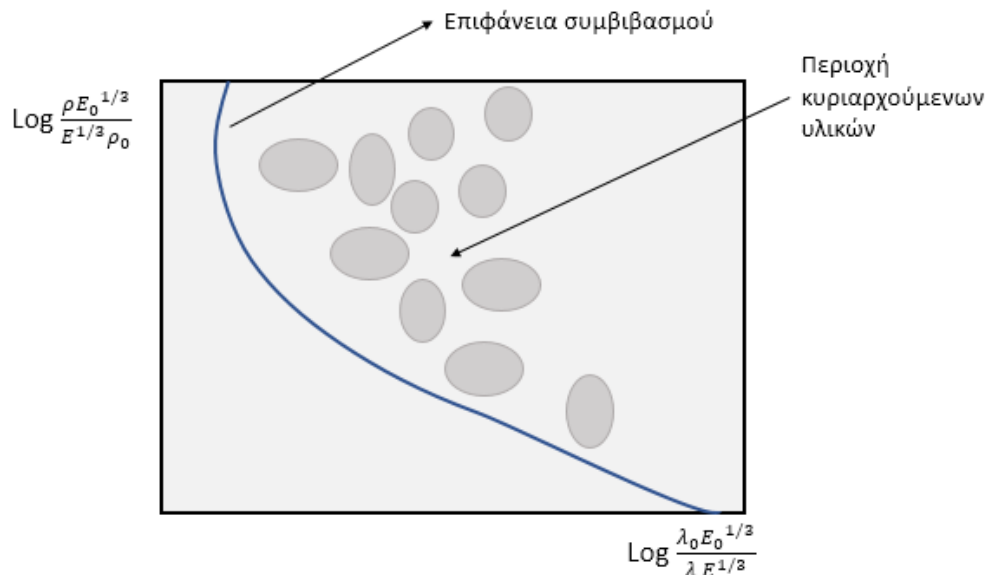
Με δείκτη απόδοσης υλικού:

$$M_2 = \lambda E^{1/3}$$

Στην συνέχεια, από τους δυο δείκτες απόδοσης μπορούν να δημιουργηθούν τα διαγράμματα, μέτρου ελαστικότητας – πυκνότητας ( $E - \rho$ ), με κλίση ευθείας 3 και θερμικής αγωγιμότητας – μέτρου ελαστικότητας ( $\lambda - E$ ), με κλίση ευθείας 1. Από αυτά, μπορούν επιλεγθούν ορισμένες κατηγορίες υλικών. Έπειτα, μπορούν να επιλεγθούν συγκεκριμένα υλικά και σύμφωνα με την βαρύτητα των στόχων, θα πρέπει να οριστούν οι σχετικές συναρτήσεις ποινής

$(Z^* = a_m^* \frac{m}{m_0} + a_q^* \frac{q}{q_0})$ . Όστε, μέσα από το άθροισμα των επιμέρους στόχων να προκύψει:

- Για μεγαλύτερη βαρύτητα στην σχετική μάζα<sup>53</sup>:  $\frac{m}{m_0} = -\frac{a_q^*}{a_m^*} \frac{q}{q_0} + \left( \frac{1}{a_m^*} \right) Z^*$ . Και το διάγραμμα της μορφής:



**Εικόνα 58: Διάγραμμα επιλογής υλικού**

Όπου,  $E_0^{1/3}$ ,  $\rho_0$  και  $\lambda_0$  οι τιμές από τις ιδιότητες του εκάστοτε, υπό εξέταση υλικού. Ο απολογισμός, όλων των παραπάνω, μπορεί να αποτελέσει την αιτιολόγηση του επιλεγμένου υλικού, με βάση ορισμένους στόχους (συν της βαρύτητας τους) και τους περιορισμούς, του προϊόντος.

<sup>53</sup> Αντίστοιχα, γίνεται για μεγαλύτερη βαρύτητα στην σχετική θερμική απώλεια.

## 6.7 Αναλύσεις

Οι ακόλουθες αναλύσεις (μηχανική και θερμική), πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό *PTC Creo Simulate 3.0*, με τα εξής δεδομένα υλικών:

Πίνακας 8: Εισαχθέντα δεδομένα μηχανικής ανάλυσης

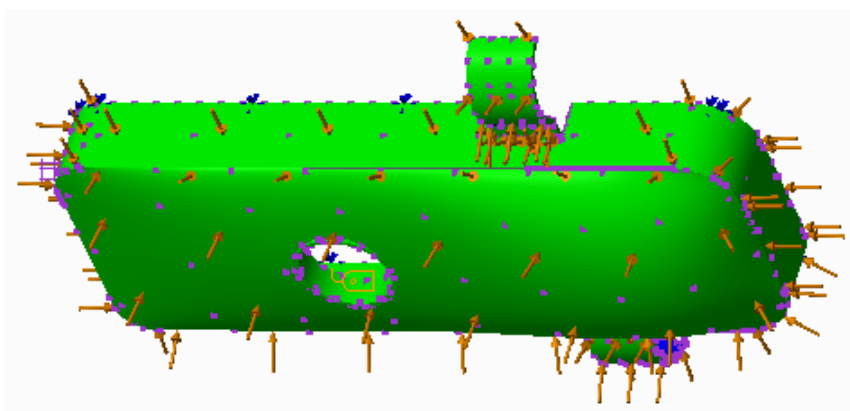
	Δεδομένα	Λόγος Poisson	Αντοχή (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)
Ανάλυση Μηχανική	Υλικό			
	Πολυανθρακικό	0.4	70	2.4

Πίνακας 9: Εισαχθέντα δεδομένα θερμικής ανάλυσης

	Δεδομένα	Θερμική αγωγιμότητα (mW/mm C)	Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (C)	Θερμοκρασία τήξης (C)
Ανάλυση Θερμική	Υλικό			
	Ακρυλικό	0.14	93	140

### 6.7.1 Μηχανική ανάλυση

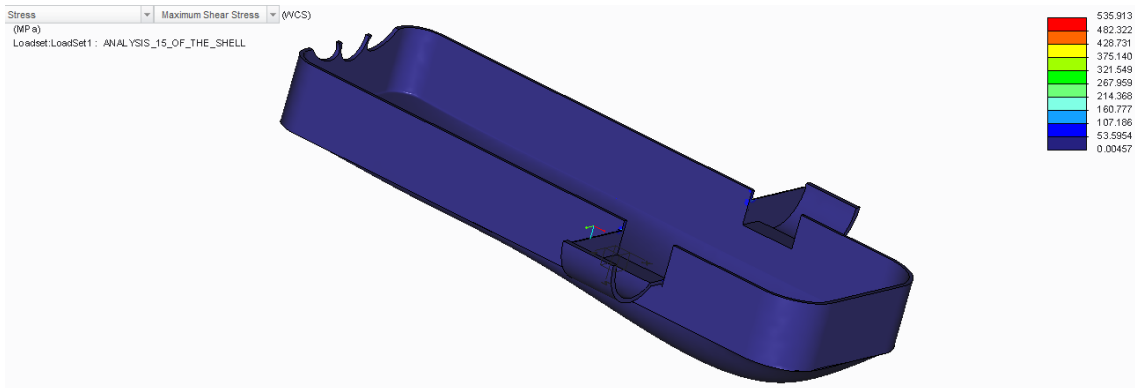
Κατά την διαδικασία της σχεδίασης αυτού του συστήματος (ROV), είναι κρίσιμο, να εξεταστεί η αντοχή της δομής του. Η εξέταση, θα γίνει με βάση τις υδροστατικές πιέσεις, που θα αντιμετωπίσει, στο μέγιστο βάθος λειτουργίας του. Για το συγκεκριμένο όχημα, θα ελεγχθεί ένα κομμάτι του εξωτερικού κελύφους του (βλ. Εικόνα 59).



Εικόνα 59: Αναπαράσταση φορτίων στο κέλυφος

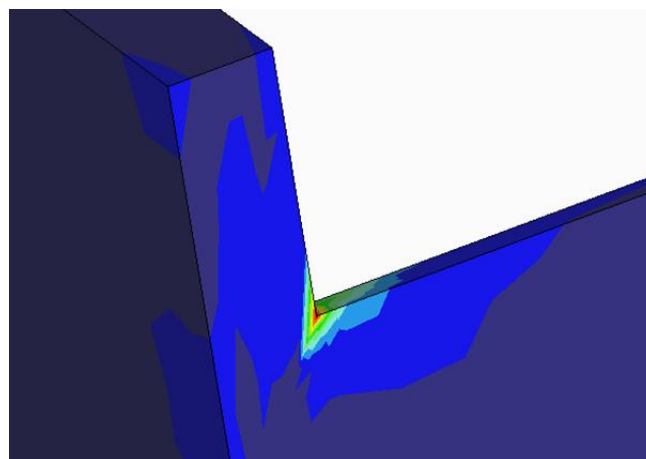
Έτσι λοιπόν, έχοντας καθορίσει το υλικό του περιβλήματος, τις συνοριακές συνθήκες συμμετρίας και τις περιοχές πάνω στις οποίες θα εξασκείται το φορτίο (1atm), προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

- Μέγιστη διατμητική τάση στο εξωτερικό



**Εικόνα 60: Ανάλυση μέγιστης διατμητικής τάσης**

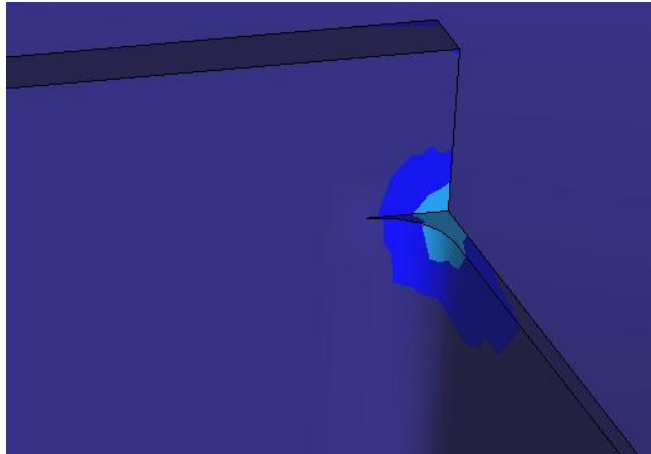
Η μέγιστη τάση είναι 535.9 MPa, στην συνένωση δύο περιοχών (βλ. Εικόνα 60).



**Εικόνα 61: Σημείο μέγιστης διατμητικής τάσης**

Αυτό παρουσιάζεται, εξαιτίας της ελάχιστης καμπυλότητας, που υπάρχει μεταξύ των δυο περιοχών (βλ. Εικόνα 61, κόκκινη απόχρωση). Δηλαδή, είναι συγκεντρωμένη, σε αυτή την περιοχή λόγω της γεωμετρίας της κατασκευής. Για να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση της συγκεντρωμένης τάσης, στο συγκεκριμένο τμήμα των δύο περιοχών, θα πρέπει να αυξηθεί η ομαλότητα στα σημεία ένωσής τους (βλ. Εικόνα 62).

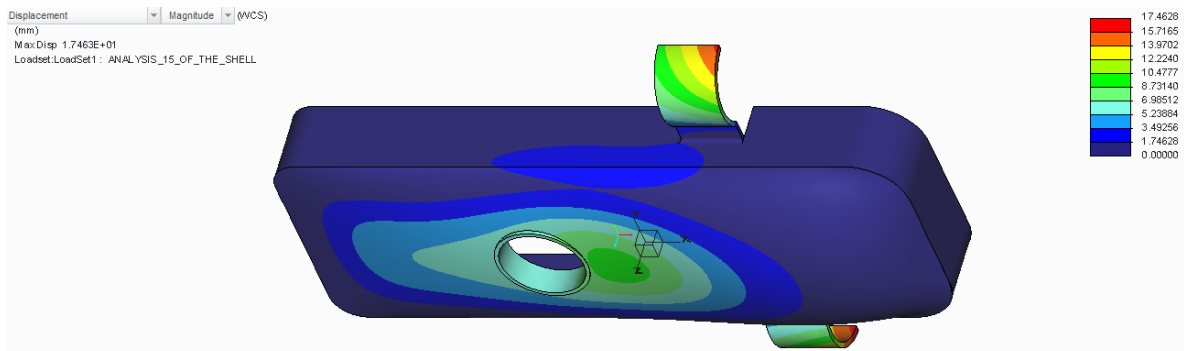




**Εικόνα 62: Σημείο μέγιστης διατμητικής τάσης μετά από παρέμβαση**

Η μέγιστη συγκέντρωση τάσης είναι περίπου 107.1 MPa, αλλά στην μεγαλύτερη περιοχή του κελύφους η τάση δεν ξεπερνά τα 55 MPa και άρα είναι μικρότερη από την αντοχή του υλικού.

- Μετατόπιση (displacement magnitude)



**Εικόνα 63: Ανάλυση μετατόπισης**

Η μέγιστη μετατόπιση είναι 17.4mm και εμφανίζεται στα άκρα των μικρών, κόκκινων περιοχών, των καλυμμάτων προφύλαξης των μοτέρ, (βλ. Εικόνα 63, κόκκινη απόχρωση).

Ως γενικό αποτέλεσμα, των δυο παραπάνω αποτελεσμάτων, είναι ότι το επιλεγμένο υλικό, γεωμετρία και δομή του κελύφους, του οχήματος, θα μπορεί να αντέξει τις μέγιστες υδροστατικές πιέσεις, που θα ασκούνται στο όχημα, σε βάθος 10 μέτρων, (βλ. Πίνακα 8).

## 6.7.2 Θερμική ανάλυση

Γενικά, η θερμότητα μεταφέρεται μέσω τριών, διαφορετικών, γενικών αρχών μετάδοσης:

- Μέσω αγωγής
- Μέσω συναγωγής (ή μέσω μεταφοράς) &
- Μέσω ακτινοβολίας

Η μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής, οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των μικροσκοπικών σωματιδίων. Ο μηχανισμός αυτός, παρατηρείται σε στερεά σώματα ή σε ρευστά (μη κινούμενα). Η μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής, δημιουργείται αναλογικά του ρυθμού μεταφοράς και της βαθμίδας θερμοκρασίας, δηλαδή του δυναμικού που προκαλεί. Η βασική σχέση που συνδέει την ροή θερμότητας, με την βαθμίδα θερμοκρασίας, από τον νόμο *Fourier*<sup>54</sup> για αγωγή έχει την παρακάτω μορφή:

$$\dot{q}_x = -k \frac{\partial T}{\partial x},$$

όπου  $\dot{q}_x$  είναι η ροή θερμότητας κατά διεύθυνση  $x$  και  $k$  ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

$$k = \frac{\text{Ισχύς}}{\text{Χρόνος} * \text{Επιφάνεια} * \text{Βαθμίδα θερμοκρασίας}} \text{ (W/mK)}$$

Η μεταφορά θερμότητας στα ρευστά γίνεται μέσω συναγωγής, εξαιτίας της κίνησής τους. Όταν ένα ρευστό θερμαίνεται, εμφανίζει άνοδο της θερμοκρασίας του και διαστέλλεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, παρουσιάζει και διαφορά πυκνότητας, ανάμεσα σε περιοχές με διαφορετικές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα την κίνηση του ρευστού, λόγω της παρουσίας ανοδικών δυνάμεων.

Όταν θερμαίνεται ένα δοχείο με νερό, οι μάζες του υγρού, που βρίσκονται σε επαφή με τον πυθμένα, θερμαίνονται πρώτες και κινούνται προς την επιφάνεια. Η κίνηση αυτή, οφείλεται στον νόμο της βαρύτητας και ονομάζεται *φυσική κατάσταση*.

Η ροή θερμότητας, μέσω συναγωγής δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\dot{q} = h(T_s - T_\infty),$$

όπου  $h$  ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας.

$$h = \frac{\text{Ισχύς}}{\text{Χρόνος} * \text{Επιφάνεια} * \text{Διαφορά θερμοκρασίας}} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Για την εφαρμογή του τύπου (της ροής θερμότητας), σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο εξής τύπος:

$$\dot{q} = hA(T_s - T_\infty),$$

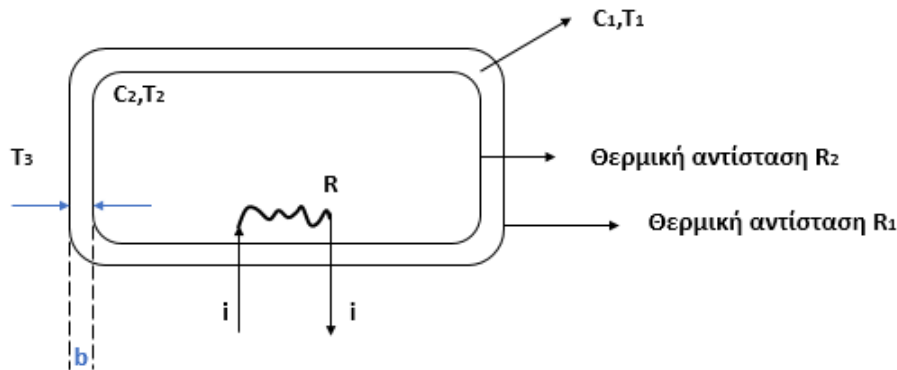
όπου  $A$  η επιφάνεια εμβαδού της επιλεγμένης επιφάνειας.

Για την μετάδοση της θερμότητας με αγωγή ή με μεταφορά (συναγωγή), χρειάζεται η παρουσία της ύλης (δηλαδή στερεά, υγρά ή αέρια). Η θερμότητα όμως, μπορεί να διαδοθεί και στο κενό. Ένα τέτοιο παράδειγμα, είναι η θέρμανση της Γης από τον Ήλιο, όπου δεν

<sup>54</sup> Ο νόμος του Fourier χρησιμοποιείται όταν η κατανομή θερμοκρασίας είναι γνωστή.

υπάρχει μέσο διάδοσης. Ο τρόπος αυτός, διάδοσης της θερμότητας ονομάζεται *διάδοση μέσω ακτινοβολίας*<sup>55</sup>.

Με την χρήση ενός απλού παραδείγματος, μπορεί να αρχίσει η μελέτη του εσωτερικού, του οχήματος.



**Εικόνα 64: Απλή αναπαράσταση εσωτερικού κανίστρου**

Έστω λοιπόν, ότι το παραπάνω σχήμα (βλ. Εικόνα 64), αντικατοπτρίζει την μορφή του κανίστρου. Με παροχή θερμότητας ( $q_h$ ), που προέρχεται από ηλεκτρική αντίσταση ( $R$ ). Από το σχήμα αυτό, μπορούμε να αντλήσουμε τα εξής δεδομένα:

- Την παροχή θερμότητας  $q_{h1}$  από την αντίσταση  $R_1$
- Την παροχή θερμότητας  $q_{h2}$  από την αντίσταση  $R_2$
- Τις θερμοχωρητικότητες  $C_1, C_2$  με αντίστοιχες θερμοκρασίες  $T_1, T_2$
- Την θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_3$  (σταθερή).
- Το πάχος του τοιχώματος ( $b$ ).

Σύμφωνα, με τα παραπάνω ισχύουν οι εξής σχέσεις:

- $C_1: \frac{d}{dt}(C_1 T_1) = q_{h2} - q_{h1}$
- $C_2: \frac{d}{dt}(C_2 T_2) = q_h - q_{h2}$
- Ηλεκτρική αντίσταση:  $q_h = i^2 R$
- Θερμική αντίσταση ( $R_1$ ):  $q_{h1} = \frac{T_1 - T_3}{R_1}$
- Θερμική αντίσταση ( $R_2$ ):  $q_{h2} = \frac{T_2 - T_1}{R_2}$

Συνδυάζοντας, τις  $(q_h) - (q_{h2})$  στις  $(C_1)$  και  $(C_2)$  προκύπτει ότι:

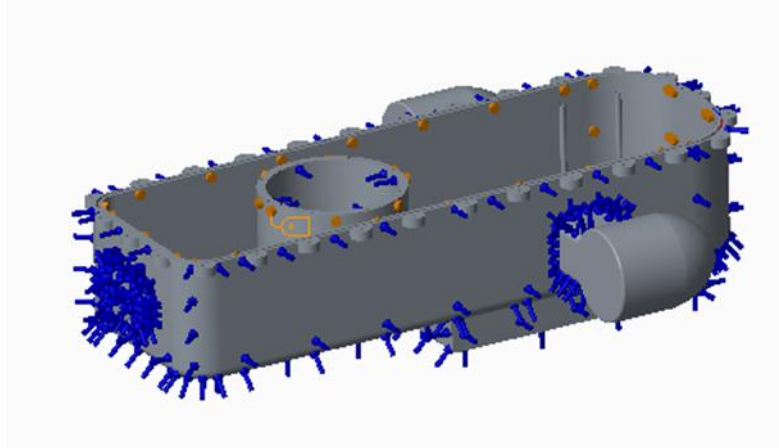
$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{T_2 - T_1}{R_2} - \frac{T_1 - T_3}{R_1} \text{ και } C_2 \frac{dT_2}{dt} = i^2 R - \frac{T_2 - T_1}{R_2}$$

<sup>55</sup> Η μετάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία, θεωρείται συνήθως αμελητέα σε χαμηλές θερμοκρασίες και έτσι δεν λαμβάνεται υπόψιν.

Έτσι, σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω, δημιουργήθηκε και ο ανάλογος έλεγχος, για την ανάλυση της εσωτερικής θερμοκρασίας, που θα αναπτύσσεται στο κάνιστρο, εν ώρα λειτουργίας του οχήματος.

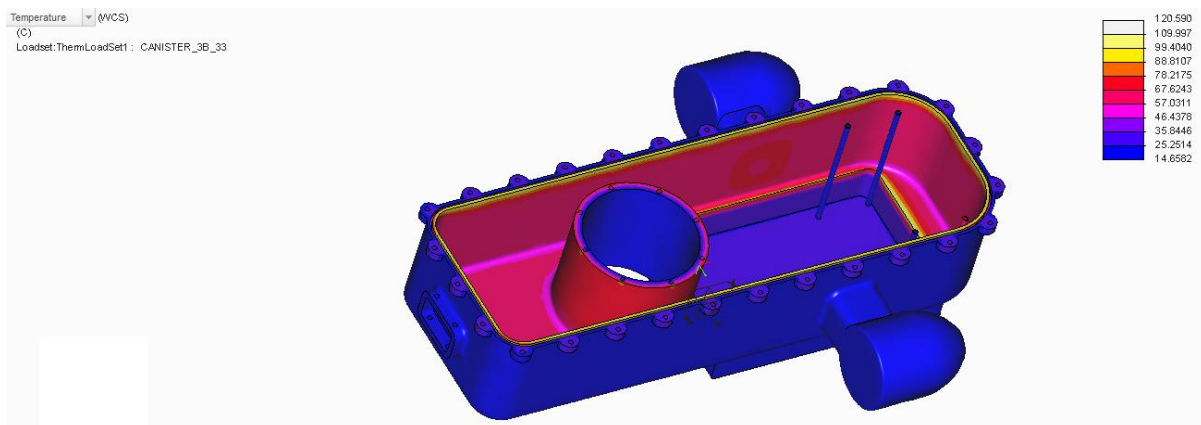
Σκοπός, αυτής της ανάλυσης είναι η διαπίστωση της ορθότητας της επιλογής του υλικού και της δομής (με έμφαση στο πάχος 4mm του δοχείου πίεσεως).

Έτσι, έχοντας προσδιορίσει την εξωτερική θερμοκρασία, που θα υπάρχει στο περιβάλλον, ανάλογα με το βάθος λειτουργίας του (15°C). Και προσδιορίζοντας, την καθαρή ισχύ<sup>56</sup> (σε 120Watt, από 400Watt μέγιστης-συνολικής ισχύς) που θα παράγεται στο εσωτερικό, αυτού. (βλ. Εικόνα 65).



**Εικόνα 65: Αναπαράσταση θερμικών φορτίων**

Και, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:



**Εικόνα 66: Ανάλυση εσωτερικής θερμοκρασίας**

Ως μέγιστη αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, στις περισσότερες εσωτερικές περιοχές προκύπτει 46.4°C, (βλ. Εικόνα 66, ροζ απόχρωση). Ενώ, σε ειδικές περιοχές, όπως είναι το εσωτερικό χείλος, του κανίστρου (βλ. Εικόνα 66, κίτρινη απόχρωση), η θερμοκρασία θα φτάνει τους 88.8°C. Στην πραγματικότητα όμως, οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, δεν είναι

<sup>56</sup> Θεωρήθηκε ότι το 30% με 40% αυτής, μετατρέπεται σε θερμότητα. Για αυτό και χρησιμοποιούνται 120Watt ισχύς, στο εσωτερικό του.

ικανές να δημιουργήσουν προβλήματα, διότι εμφανίζονται τοπικά και για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα.

Ως γενικό αποτέλεσμα, της παραπάνω θερμικής ανάλυσης, είναι ότι το επιλεγμένο υλικό και η επιλεγμένη δομή, θα μπορεί να ανταπεξέλθει στις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, του εσωτερικού, (βλ. Πίνακα 9).

### 6.7.3 Θέση οχήματος

Υπάρχουν, τρεις έννοιες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης ενός υποβρύχιου οχήματος:

- Κέντρο βάρους (*center of gravity – CG*)
- Κέντρο πλευστότητας (*center of buoyancy – CB*)
- Ροπή (*torque –  $\tau$* )

Είναι γνωστό ότι, το συνολικό βάρος ενός οχήματος, συνυπολογίζεται από το προστιθέμενο βάρος, όλων των υποσυστημάτων του, (π.χ. μπαταρία, μοτέρ, καλώδια, βίδες κ.α.). Έτσι, η επίδραση της βαρύτητας στο όχημα, είναι κατανεμημένη στο όχημα με έναν περίπλοκο τρόπο. Ωστόσο, η επίδραση όλων των ξεχωριστών βαρών αυτών, δρα συνολικά σε ένα σημείο που ονομάζεται κέντρο βάρους<sup>57</sup> (*center of gravity – CG*). Αυτό το σημείο (*CG*) είναι εν τέλει, η μέση περιοχή/τοποθεσία της συνολικής μάζας του οχήματος (βλ. Εικόνα 67).

Σε ένα συμμετρικό όχημα, με εξαιρετική κατανομή της μάζας, το σημείο του κέντρου βάρους (*CG*) του, θα βρίσκεται στο κέντρο του<sup>58</sup>. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, το σημείο αυτό (*CG*<sup>59</sup>), βρίσκεται εκτός κέντρου, εξαιτίας μη συμμετρικής φόρμας ή μη ομοιόμορφης κατανομής της μάζας, των οχημάτων.

Όσον αφορά την πλευστότητα, προκύπτει από έναν άπειρο αριθμό, ξεχωριστών, μικρών δυνάμεων πίεσης, που κατανέμονται κατά περίπλοκο τρόπο σε ολόκληρη την επιφάνεια του οχήματος. Αντίστοιχα και σε αυτή την περίπτωση, οι επιδράσεις αυτών συσσωρεύονται σε ένα μοναδικό σημείο που ονομάζεται κέντρο πλευστότητας (*center of buoyancy – CB*). Το σημείο *CB*, σε ένα όχημα, βρίσκεται στο κέντρο του. Δηλαδή, εκεί που θα βρισκόταν το σημείο *CG*, εάν το όχημα διέθετε ομοιόμορφη κατανομή μάζας<sup>60</sup> (βλ. Εικόνα 67).

Επειδή, στα περισσότερα οχήματα, τα σημεία *CG* και *CB* δεν συμπίπτουν, ο προσανατολισμός τους, επηρεάζεται από μια άλλη έννοια που ονομάζεται ροπή<sup>61</sup> (*torque –  $\tau$* ). Για παράδειγμα, όταν περιστρέφετε μια βίδα, από ένα κατσαβίδι, με σκοπό την εισχώρηση της σε ένα σημείο, τότε εφαρμόζετε μια ροπή στην βίδα, για να επιτευχθεί αυτή η περιστροφή.

<sup>57</sup> Κάθε αντικείμενο έχει μόνο ένα σημείο κέντρο βάρους (*CG*).

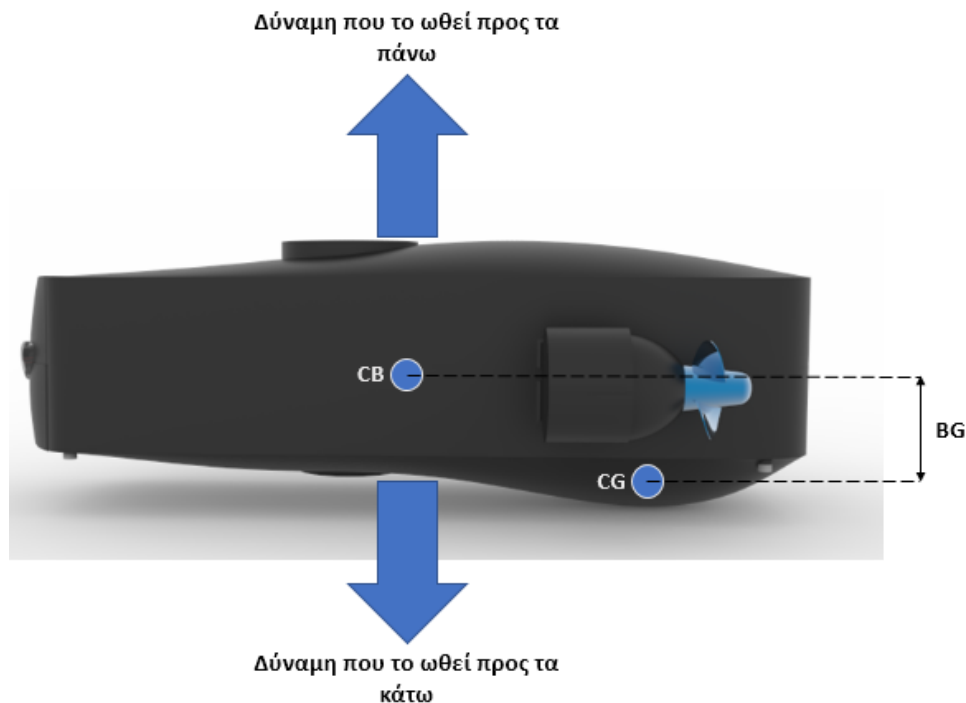
<sup>58</sup> Σε ορισμένες περιπτώσεις, το *CG* μπορεί να βρίσκεται και εκτός του οχήματος. Για παράδειγμα, το κέντρο βάρους ενός ντόνατς βρίσκεται στο κέντρο της τρύπας του, δηλαδή στο κενό.

<sup>59</sup> Θεωρητικά, γίνεται να προσδιοριστεί το ακριβές σημείο *CG* ενός οχήματος. Αλλά, αυτό που χρειάζεται πραγματικά, είναι να προσδιοριστεί στο περίπου, σε μια περιοχή επιφάνειας.

<sup>60</sup> Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις, τα σημεία αυτά (*CG* και *CB*), μπορεί να συμπίπτουν. Αυτό συνήθως, συμβαίνει όταν το όχημα διαθέτει μια ομοιόμορφη κατανομή της μάζας, όπως αυτή ενός συμπαγούς κομματιού μετάλλου.

<sup>61</sup> Η ροπή περιγράφει μια στροφική δύναμη. Τεχνικά όμως, οι ροπές δεν αποτελούν δυνάμεις.

Από την άλλη, όσον αφορά την ισορροπία<sup>62</sup> του οχήματος, καθορίζεται από την απόσταση των σημείων CG και CB. Η φυσική απόσταση αυτή, συμβολίζεται ως BG (βλ. Εικόνα 67). Ενώ, ισχύει ότι όσο μεγαλύτερη είναι αυτή απόσταση, μεταξύ των δυο σημείων (CG – CB), τόσο μεγαλύτερη σταθερότητα θα έχει το όχημα.



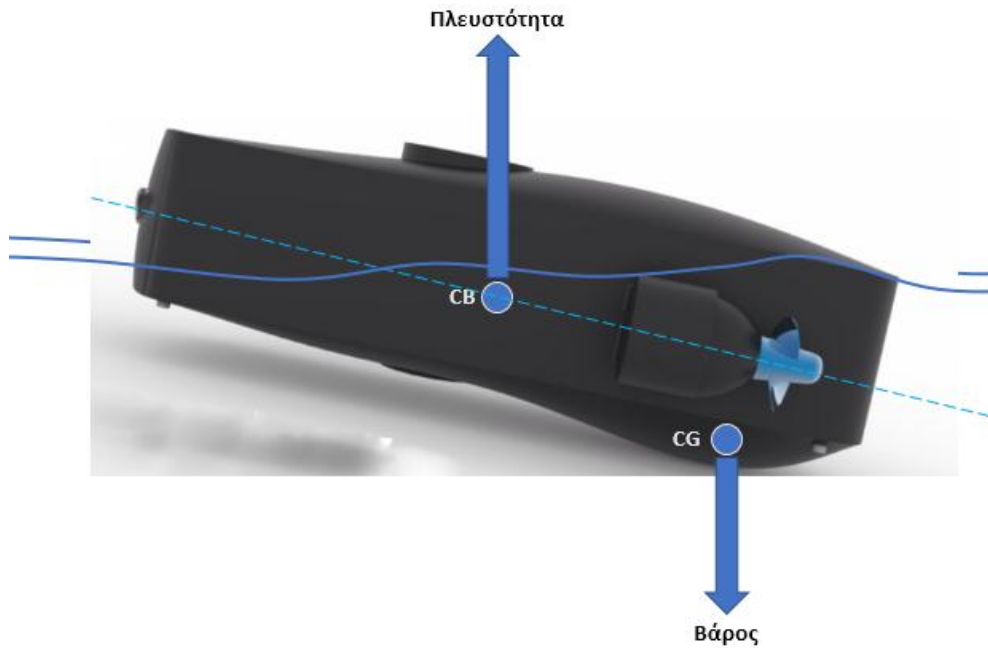
**Εικόνα 67: Κέντρο βάρους, κέντρο πλευστότητας & απόσταση σημείων**

Επειδή, τα δυο σημεία (CG – CB) δεν είναι κάθετα<sup>63</sup>, μεταξύ τους. Δεν επιτρέπουν στο όχημα, να έχει οριζόντιο προσανατολισμό, καθώς βρίσκεται σε θέση ισορροπίας, στην επιφάνεια του νερού. Αυτό συμβαίνει, επειδή η δύναμη πλευστότητας υπερिशύει της δύναμης του βάρους<sup>64</sup>, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ροπή, στρέφοντας το όχημα σε μια μη οριζόντια θέση (βλ. Εικόνα 68).

<sup>62</sup> Η έννοια ισορροπία αναφέρεται, είτε όταν το όχημα βρίσκεται στην επιφάνεια του νερού, είτε όταν είναι βυθισμένο.

<sup>63</sup> Δηλαδή, δεν βρίσκονται πάνω στην ίδια (κάθετη) γραμμή.

<sup>64</sup> Σημαίνει επίσης, ότι το όχημα έχει θετική πλευστότητα (βλ. υποκεφάλαιο 2.2.3 Πλευστότητα).



**Εικόνα 68: Θέση ισορροπίας στην επιφάνεια του νερού**

Για να αποκτήσει το όχημα μια οριζόντια θέση και προσανατολισμό, θα πρέπει να δημιουργηθεί σε αυτό ένα σύστημα ισορροπίας (*Ballast system*). Γενικά, υπάρχουν δυο κατηγορίες τέτοιων συστημάτων:

- Τα στατικά συστήματα ισορροπίας (static ballast systems)
- Τα ενεργά συστήματα ισορροπίας (active ballast systems).

Συνδέοντας, στο κάτω κέλυφος του οχήματος, ορισμένα βαρίδια<sup>65</sup> (lead weights), το όχημα μπορεί να αποκτήσει οριζόντια θέση ισορροπίας και προσανατολισμό (βλ. Εικόνα 69).

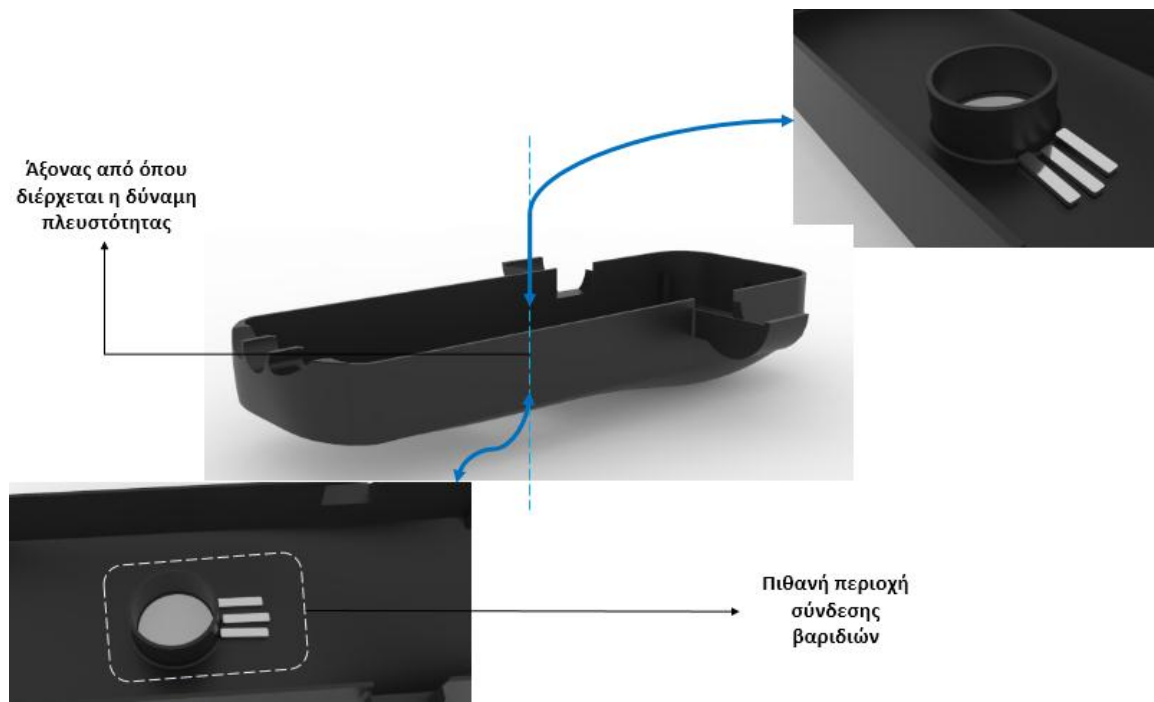
Το οποιοδήποτε στατικό σύστημα ισορροπίας, δεν τοποθετείται σε κάποια τυχαία περιοχή του οχήματος. Αλλά, σε αυτήν από την οποία διέρχεται η συνολική δύναμη της πλευστότητας, (βλ. Εικόνα 69). Αυτό, θα έχει ως αποτέλεσμα, την εξισορρόπηση<sup>66</sup> των δυο μεγεθών (δύναμη πλευστότητας και δύναμη βάρους).

Τέλος, ο υπολογισμός των βαριδιών μπορεί να γίνει, είτε μαθηματικούς υπολογισμούς (εφόσον γνωρίζουμε την συνολική μάζα του οχήματος και την δύναμη πλευστότητας που δρα σε αυτό), είτε πραγματοποιώντας ορισμένα τεστ ισορροπίας<sup>67</sup>, στο νερό.

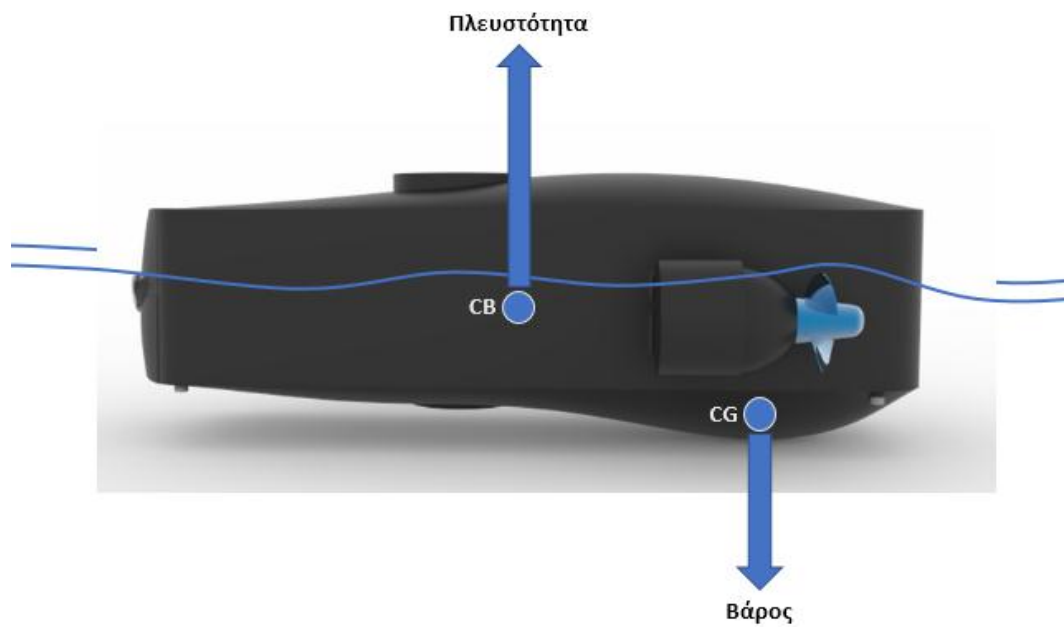
<sup>65</sup> Τα βαρίδια αποτελούν ένα στατικό σύστημα ισορροπίας.

<sup>66</sup> Μπορεί να μην είναι τέλεια.

<sup>67</sup> Απαιτείται η δημιουργία πρωτοτύπου, για την πραγματοποίηση των τεστ ισορροπίας.

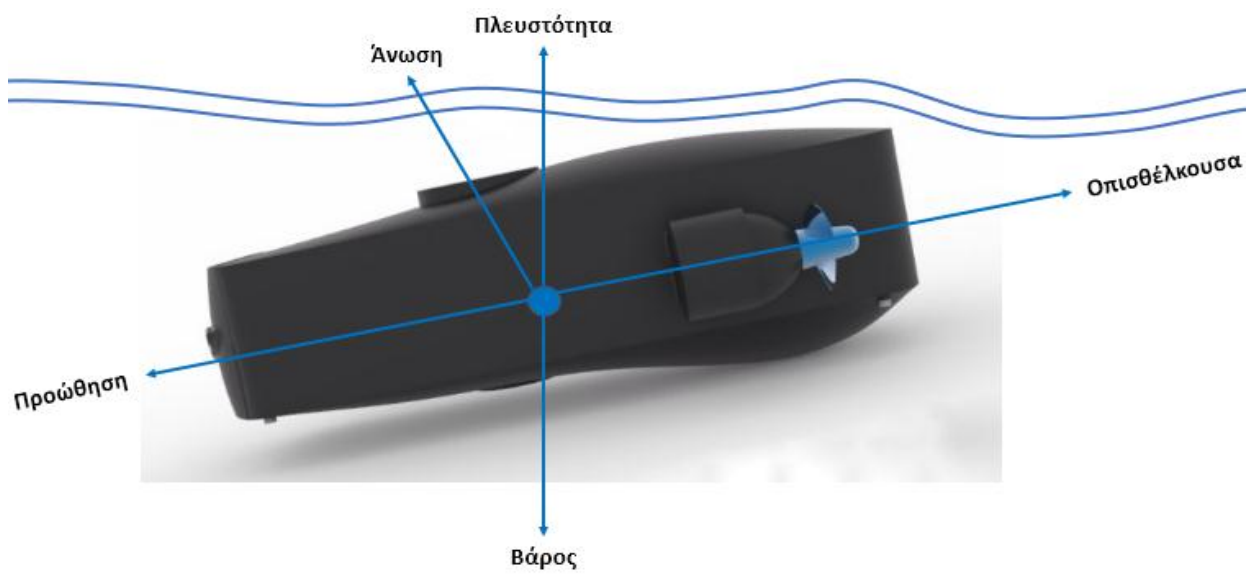


Εικόνα 69: Τοποθέτηση στατικού συστήματος ισορροπίας



Εικόνα 70: Θέση ισορροπίας & προσαρμογής μετά την ένταξη βαριδιών





**Εικόνα 71: Ασκούμενες δυνάμεις στο όχημα όταν είναι εν κινήσει**

## 7. Αποσυναρμολόγηση & αειφορία

Αρχικά, η χρήση της αειφορίας στην διαδικασία της σχεδίασης, μπορεί να έχει πολλές και διαφορετικές έννοιες και αποτελέσματα, για κάθε αγαθό. Ανάλογα, με το προϊόν (π.χ. τύπος, χρησιμότητα, περιβάλλον χρήσης, κ.α.), καθορίζεται σε έναν μεγάλο βαθμό και η χρήση της αειφορίας, στο σχεδιασμό αυτού.

Πιο συγκεκριμένα, στην σχεδίαση του παρόντος υποβρύχιου οχήματος, δόθηκε έμφαση στον σχεδιασμό για την αποσυναρμολόγηση του (*design for disassembly*). Ο όρος αυτός, εντάσσεται στο πλαίσιο της αειφορίας, διότι μέσα από αυτόν αναδύονται ορισμένες βασικές αρχές αυτής, όπως:

- Επιλογή ανακυκλώσιμων υλικών.
- Αποφυγή χρήσης υλικών, που απαιτούν κάποια μέθοδο διάσπασης (π.χ. χημική), πριν την ανακύκλωση.
- Δημιουργία εύκολα διασπώμενων κομματιών.
- Αποφυγή μεθόδων μόνιμης σύνδεσης (π.χ. συγκόλλησης).
- Παροχή οδηγιών και προσβασιμότητα.

Ειδικότερα, ο όρος σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση (*design for disassembly*), είναι μια διαδικασία σχεδίασης συστημάτων, ώστε αυτά να μπορούν να αποσυνδεθούν, εύκολα, οικονομικά και γρήγορα, μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Και, τα χρησιμοποιήσιμα μέρη τους, να μπορέσουν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να ανακυκλωθούν.

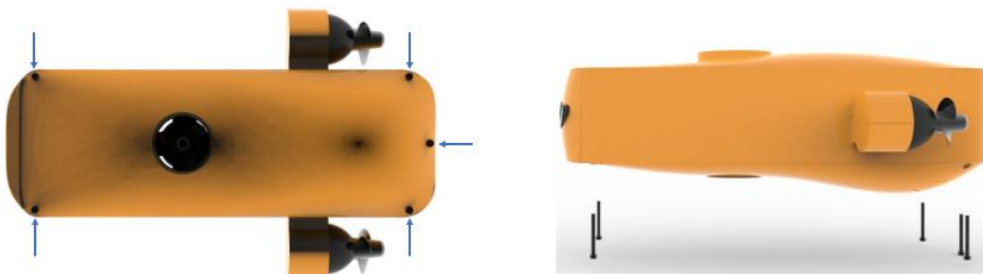
Παράλληλα, μέσα από αυτήν τη λογική προκύπτουν και άλλα πλεονεκτήματα, όπως:

- ✓ Μείωση κόστους παραγωγής, του συστήματος.
- ✓ Μεγαλύτερη ευκινησία, κατά την εξέλιξη-ανάπτυξη του συστήματος.
- ✓ Επίτευξη ευκολότερης συντήρησης, του εσωτερικού του συστήματος.
- ✓ Εύκολη αντικατάσταση εσωτερικών υποσυστημάτων.

### 7.1 Βήματα αποσυναρμολόγησης υποβρύχιου οχήματος

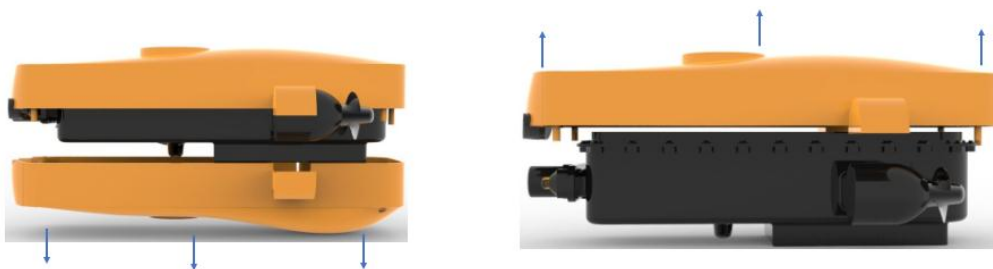
Σύμφωνα, με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά και μέσα από το σύνολο της σχεδιαστικής διαδικασίας, προκύπτει το εξής πλάνο αποσυναρμολόγησης, μαζί με τα ακόλουθα βήματα:

1. Ξεβιδώστε τις εξωτερικές βίδες (M3), που συγκρατούν τα δυο κελύφη, μαζί.



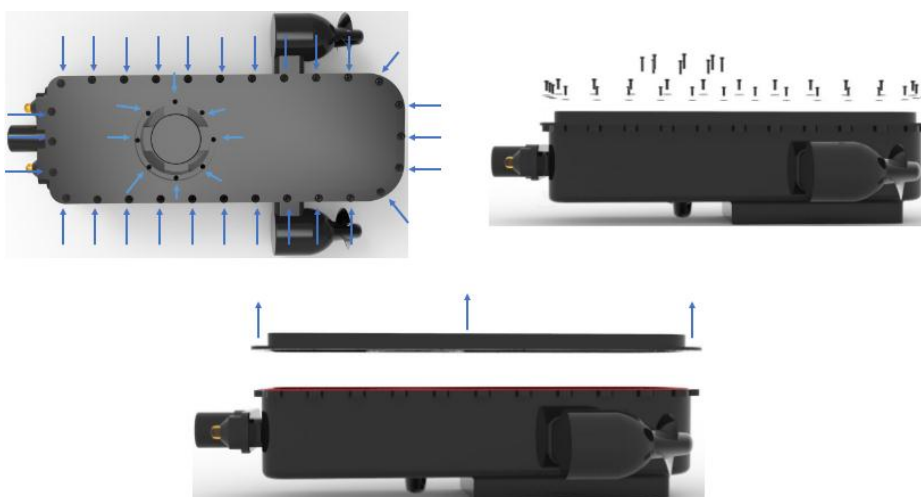
Εικόνα 72: Αναπαράσταση 1ου βήματος

2. Αφαιρέστε το κάτω κέλυφος και στην συνέχεια το πάνω. Μαζί με το πάνω κέλυφος, αποσυνδέονται και τα προστατευτικά καλύμματα, για τα φώτα.



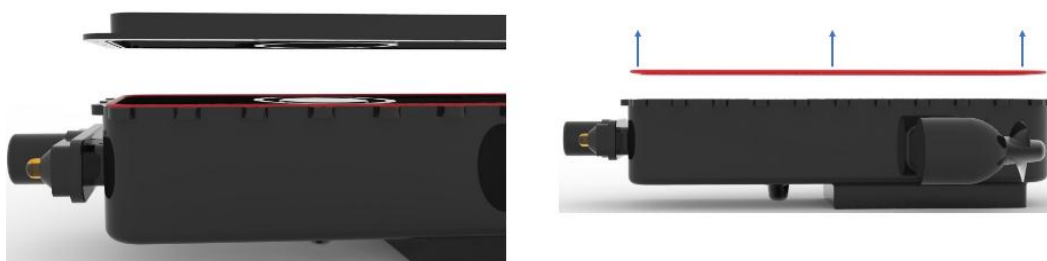
**Εικόνα 73: Αναπαράσταση 2ου βήματος**

3. Αφαιρέστε τις βίδες (M2) και τις ροδέλες, από το καπάκι του κανίστρου. Και στην συνέχεια, αφαιρέστε το καπάκι.



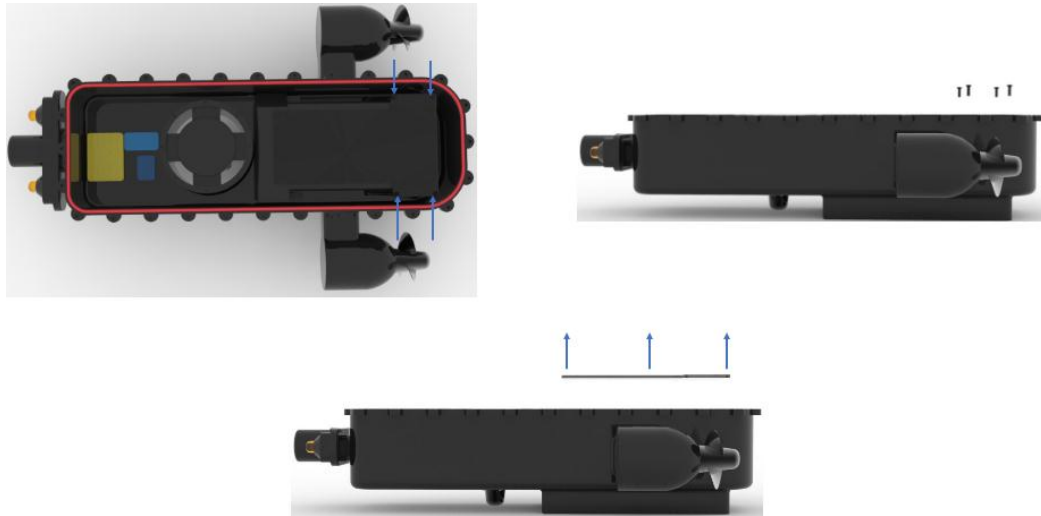
**Εικόνα 74: Αναπαράσταση 3ου βήματος**

4. Έπειτα, αφαιρέστε το δαχτυλίδι (O – ring).



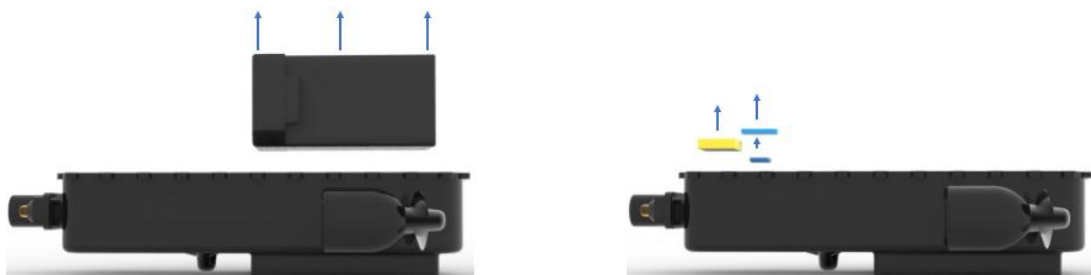
**Εικόνα 75: Αναπαράσταση 4ου βήματος**

5. Στην συνέχεια, αφαιρέστε τις βίδες (M2), που συγκρατούν την κύρια πλακέτα (*main – board*)<sup>68</sup>.



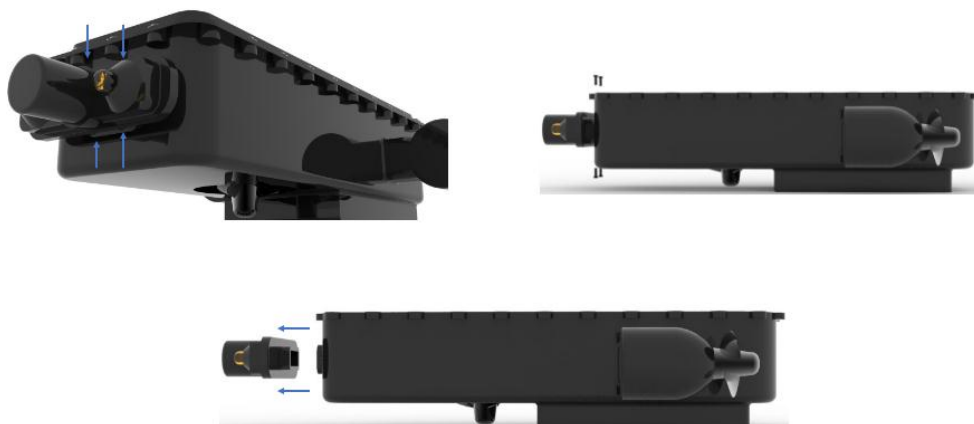
**Εικόνα 76: Αναπαράσταση 5ου βήματος**

6. Έπειτα, αφαιρέστε τα υπόλοιπα εσωτερικά υποσυστήματα.



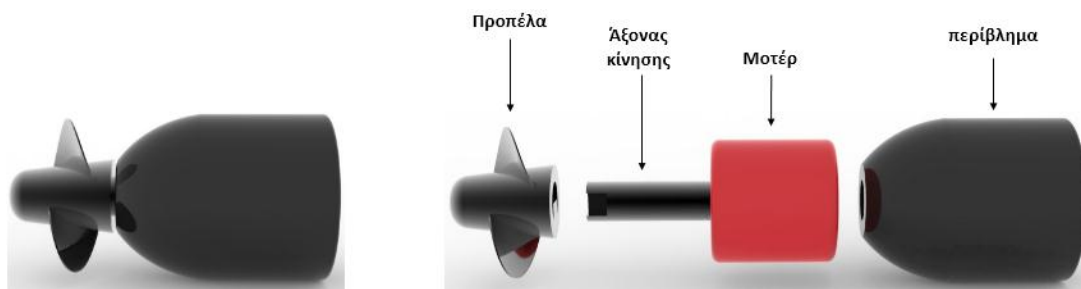
**Εικόνα 77: Αναπαράσταση 6ου βήματος**

7. Τέλος, αφαιρέστε τις βίδες (M2), που συγκρατούν το σύστημα της κάμερας και των φωτών, στο μπροστινό μέρος του κανίστρου. Και, αφαιρέστε το.

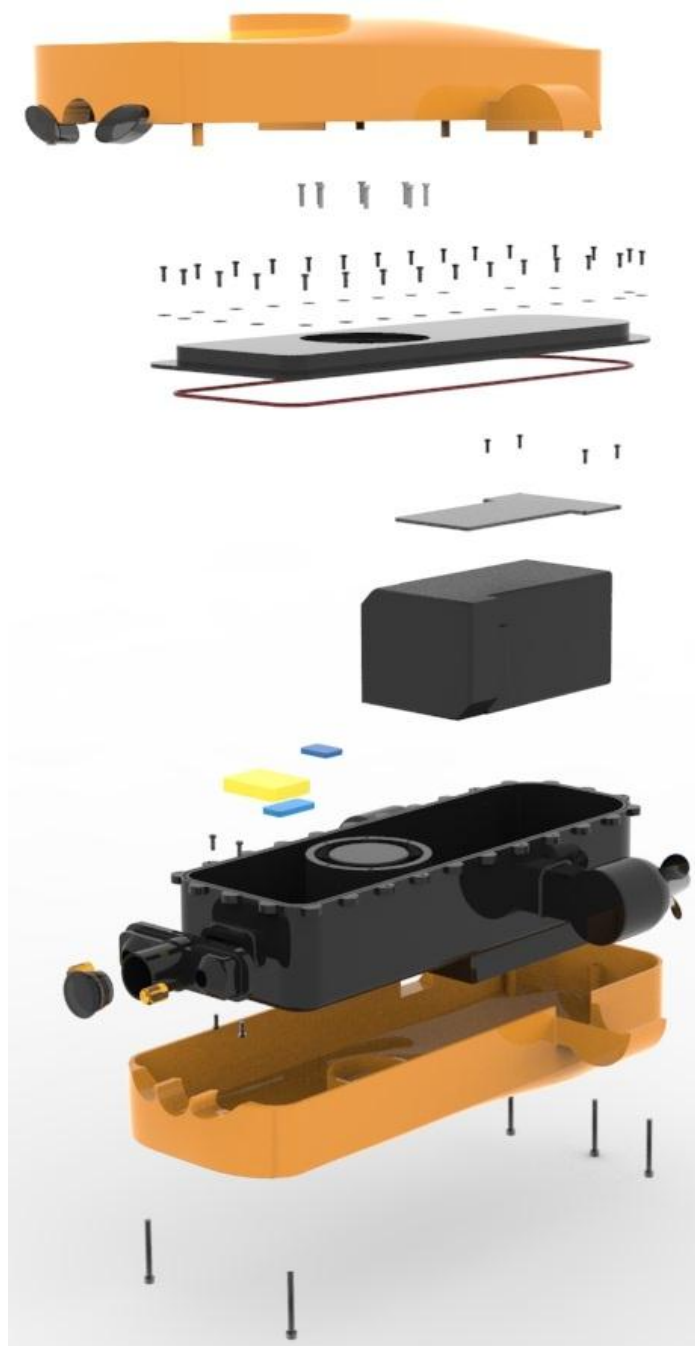


**Εικόνα 78: Αναπαράσταση 7ου βήματος**

<sup>68</sup> Σε πραγματικές συνθήκες, πρώτα θα πρέπει να αποσυνδεθούν τα καλώδια, που συνδέονται στην κύρια πλακέτα (*main – board*), καθώς και αυτά, που συνδέουν τα υπόλοιπα υποσυστήματα μεταξύ τους.



Εικόνα 79: Αναπαράσταση συστήματος προπέλας



Εικόνα 80: Αναπαράσταση επιμέρους στοιχείων

## 7.2 Προσέγγιση περιβαλλοντικού αποτυπώματος

Κάθε προϊόν έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον. Αυτό, μπορεί να μετρηθεί ανάλογα με το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), που απελευθερώνεται από διάφορους παράγοντες (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια), κατά την παραγωγή του προϊόντος ή και κατά την χρήση του, ίδιου.

Για τον ακριβή υπολογισμό, του αποτυπώματος του διοξειδίου του άνθρακα ενός υπανάπτυξη προϊόντος, απαιτούνται ακριβή δεδομένα από αρκετούς παράγοντες (πρωτογενείς και δευτερογενείς), που περιλαμβάνονται κατά την εξέλιξη του. Για αυτό και ο απαιτούμενος χρόνος, του υπολογισμού του, κυμαίνεται από έξι μήνες έως ένα χρόνο.

Οι κύριοι πρωτογενείς παράγοντες, που απαιτούνται για τον υπολογισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι οι εξής:

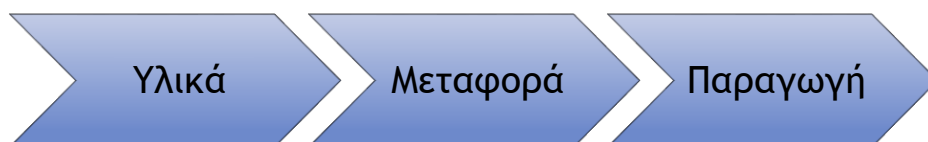
- Υλικά (*Raw materials*).
- Μεταφορά (*Transport*).
- Παραγωγή (*Manufacturing*).

Παράλληλα, ο καθένας από τους παραπάνω παράγοντες διασπάτε σε επιπλέον παράγοντες (δευτερογενείς), οι οποίοι είναι πιο συγκεκριμένοι και περιγράφονται από αριθμητικές μεταβλητές και μονάδες μέτρησης. Τέλος και εφόσον, συλλεχθούν τα δεδομένα κατανάλωσης και ο συνολικός συντελεστής εκπομπών, αυτών, μπορεί να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

$$\text{Δεδομένα κατανάλωσης} \times \text{Συντελεστής εκπομπών} = \text{Αποτύπωμα}$$

Για την περίπτωση, του υποβρύχιου οχήματος διαμορφώνεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα υπολογισμού του αποτυπώματος του διοξειδίου του άνθρακα, για την παραγωγή ενός οχήματος.

Αρχικά, ως δεδομένα μπορούν να εισαχθούν ο τύπος και η ποσότητα, ορισμένων παραγόντων<sup>69</sup>. Ως υλικά, θα εισαχθούν η ποσότητα πολυανθρακικού και ακρυλικού (σε Kg). Για τον παράγοντα μεταφορά θα εισαχθεί η συνολική απόσταση (σε Km) και ως ενέργεια παραγωγής, θα εισαχθεί η ηλεκτρική (σε KWh).



**Εικόνα 81: Ενδεικτική λίστα κύριων παραγόντων**

<sup>69</sup> Οι εισαγόμενες ποσότητες είναι ενδεικτικές και προσεγγιστικές. Σε καμία περίπτωση, δεν πρέπει να θεωρηθούν ως πραγματικές και ακριβείς.

**Πίνακας 10: Ενδεικτικά εισαγόμενα δεδομένα**

Δεδομένα	Ποσότητα	Μονάδες	Πως μεταφέρθηκε ;		
			Αεροπορικώς	Οδικός	Μέσω θαλάσσης
Πολυανθρακικό	1.00	Kg	-	80 Km	-
Ακρυλικό	1.00	Kg	-	80 Km	-
Απόσταση	160	Km		-	
Ηλεκτρική ενέργεια	100	KWh		-	

**Πίνακας 11: Ενδεικτικοί συντελεστές εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά μονάδα μέτρησης**

Συντελεστής εκπομπών (Kg CO <sub>2</sub> )	Ανά μονάδα μέτρησης
6	Ανά Kg
0.832	Ανά Km
0.537	Ανά KWh

Σύμφωνα, με τα παραπάνω στοιχεία (βλ. Πίνακα 10 & Πίνακα 11), προκύπτει η συνολική ποσότητα εκπομπής ρύπων, για την δημιουργία ενός υποβρύχιου οχήματος (βλ. Πίνακα 12).

**Πίνακας 12: Συνολική ποσότητα εκπομπής ρύπων (CO<sub>2</sub>)**

Ποσότητα x Συντελεστή εκπομπών	Αποτέλεσμα
1 Kg x 6 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	6 Kg CO <sub>2</sub>
1 Kg x 6 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	6 Kg CO <sub>2</sub>
100 KWh x 0.537 Kg CO <sub>2</sub> /KWh	53.7 Kg CO <sub>2</sub>
160 Km x 0.832 Kg CO <sub>2</sub> /Km	133.12 Kg CO <sub>2</sub>
<b>Συνολική εκπομπή CO<sub>2</sub></b>	<b>198.82 Kg CO<sub>2</sub></b>

Πιο συγκεκριμένα, η παραπάνω συνολική εκπομπή ρύπων (CO<sub>2</sub>), αναφέρεται στην παραγωγή του κελύφους και του κανίστρου, του οχήματος. Διότι, η τοποθέτηση των υποσυστημάτων για την παραγωγή ενός ολοκληρωμένου υποβρύχιου οχήματος, θα προσθέσει επιπλέον ρυπογόνους παράγοντες (πρωτογενείς και δευτερογενείς), που εν τέλει, θα αυξήσουν την παραπάνω τιμή (βλ. αποτέλεσμα Πίνακα 12), των παραγόμενων ρύπων CO<sub>2</sub>.

## 8. Συμπεράσματα

---

Με την παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε μια προσπάθεια προσέγγισης και παρουσίασης, μιας πιο ολοκληρωμένης και πιο σύνθετης σχεδιαστικής διαδικασίας, ενός προϊόντος με μεγάλο βαθμό περιπλοκότητας. Κύριος στόχος αυτής, ήταν σχεδίαση ενός υποβρύχιου οχήματος, που να ανταποκρίνεται στις συνθήκες ενός υποθαλάσσιου περιβάλλοντος, αλλά και η σχεδίαση ενός τρόπου για την συντήρηση ή απόσυρση του.

Παρακάτω, ακολουθούν συγκεκριμένα συμπεράσματα, που προέκυψαν μέσα από την εφαρμογή των παραπάνω:

- Ακόμα και ένα υποβρύχιο όχημα, που διακρίνεται για τα περιορισμένα και συγκεκριμένα υλικά, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μπορεί να σχεδιαστεί με έναν πιο αειφορικό τρόπο.
- Η ένταξη, του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση (*design for disassembly*), στην σχεδιαστική διαδικασία, μπορεί να επιφέρει πολλά οφέλη, όπως:
  - i. Μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη για την εταιρεία, που δημιουργήσει το υποβρύχιο όχημα. Διότι, μέσα από την απόσυρση και την απλή αποσυναρμολόγηση του, μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει τα άθικτα και ανθεκτικά υποσυστήματα του, σε άλλα προϊόντα.
  - ii. Μακροπρόθεσμα οφέλη, για το περιβάλλον. Διότι, μέσα από την επαναχρησιμοποίηση των υποσυστημάτων ή και των υλικών, (που βάση ιδιοτήτων, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν), δεν θα απαιτηθεί η παραγωγή “νέου” υλικού και υποσυστημάτων<sup>70</sup>, για την δημιουργία ενός νέου προϊόντος.
- Όσο πιο απλή η αποσυναρμολόγηση, δηλαδή με λιγότερο ή και καθόλου επιβλαβής κατεργασίες για την αποσύνδεση των κομματιών του, (δηλαδή χωρίς χημικές διεργασίες), τόσο το σύστημα (ως ολότητα) είναι και αυτό λιγότερο επιβλαβές προς το περιβάλλον.

---

<sup>70</sup> Μέσα από την παραγωγική διαδικασία, οποιοδήποτε υλικού ή συστήματος, παράγονται πάντοτε και ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, (βλ. **υποκεφάλαιο 7.2 Προσέγγιση περιβαλλοντικού αποτυπώματος**).



## 9. Αναφορές

---

### 9.1 Διαδικτυακές πηγές

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84>  
[https://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics\\_pdf/intro.pdf](https://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf)  
<http://roboticsinformations.blogspot.com/>  
<https://www.marinetech.org/>  
<https://study.com/academy/lesson/what-is-specific-gravity-definition-formula-calculation-examples.html>  
<http://www.ortsa.gr/>  
<https://www.slideshare.net/awaisahmed54379/design-fordisassembly>  
<https://timeforchange.org/plastic-bags-and-plastic-bottles-CO2-emissions>

### 9.2 Πηγές εικόνων

Εικόνα 1, Σελ. 13. Πηγή: [www.rovinenviriment.com](http://www.rovinenviriment.com)

Εικόνα 2, Σελ. 14. Πηγές: [www.Bhphotovideo.com](http://www.Bhphotovideo.com), [www.Granfou.com](http://www.Granfou.com), [www.Fiberscope.net](http://www.Fiberscope.net)

Εικόνα 3, Σελ. 14. Πηγές: [www.IEEESpectrum.com](http://www.IEEESpectrum.com), [www.Drive.tech](http://www.Drive.tech), [www.BRINortHull.com](http://www.BRINortHull.com), [www.UnmannedSystemsTechnology.com](http://www.UnmannedSystemsTechnology.com)

Εικόνα 4, Σελ. 15. Πηγή: [www.rovinenviriment.com](http://www.rovinenviriment.com)

Εικόνα 5, Σελ. 16. Πηγές: [www.Gdmissionsystems.com](http://www.Gdmissionsystems.com), [www.unestromar.org](http://www.unestromar.org), [www.iqvarobotics.com](http://www.iqvarobotics.com)

Εικόνα 6, Σελ. 17. Πηγή: [www.Gilder.com](http://www.Gilder.com)

Εικόνα 7, Σελ. 17. Πηγή: [www.OceanrobotsNereus.com](http://www.OceanrobotsNereus.com)

Εικόνα 13, Σελ. 31. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.210

Εικόνα 15, Σελ. 34. Πηγή: [www.FishRanger.com](http://www.FishRanger.com)

Εικόνα 16, Σελ. 36. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 3. 'Working in water', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.145

Εικόνα 17, Σελ. 37. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 3. 'Working in water', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.146

Εικόνα 18. Σελ. 38. Πηγή: [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)

Εικόνα 19, Σελ. 39. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 3. 'Working in water', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.148

Εικόνα 20, Σελ. 39. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 3. 'Working in water', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.149

Εικόνα 21, Σελ. 40. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 3. 'Working in water', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.153

Εικόνα 22, Σελ. 42. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 4. 'Structure & materials', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.163

Εικόνα 29, Σελ. 57. Πηγή: [www.COSCO.com](http://www.COSCO.com)

Εικόνα 30, Σελ. 60. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.211

Εικόνα 31, Σελ. 61. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.216

Εικόνα 32, Σελ. 62. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.218

Εικόνα 33, Σελ. 63. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.221

Εικόνα 34, Σελ. 65. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.223

Εικόνα 37, Σελ. 68. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.231

Εικόνα 38, Σελ. 69. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.234

Εικόνα 39, Σελ. 70. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.235

Εικόνα 40, Σελ. 71. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.235

Εικόνα 41, Σελ. 71. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.236

### 9.3 Πηγές πινάκων

Πίνακας 2, Σελ. 26. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 3. 'Working in water', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.135

Πίνακας 3, Σελ. 52. Πηγή: [www.onlinemetals.com](http://www.onlinemetals.com), [www.matwebs.com](http://www.matwebs.com), [www.mcmaster.com](http://www.mcmaster.com)

Πίνακας 4, Σελ. 54. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 4. 'Structure & materials', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.187

Πίνακας 5, Σελ. 58. Πηγή: [www.INCO.com](http://www.INCO.com)

Πίνακας 6, Σελ. 60. Πηγή: Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls & canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, 2010, p.213

Πίνακας 7, Σελ. 67. Πηγή: [www.PRESCO.com](http://www.PRESCO.com)

## 9.4 Βιβλιογραφία

### Για κεφάλαιο 2. Έρευνα περιβάλλοντος:

- Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 3. 'Working in water', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, p. 119, 2010.

### Για κεφάλαιο 3. Δομή και υλικά:

- Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 4. 'Structure & materials', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, p.157, 2010.

### Για κεφάλαιο 4. Δοχεία πίεσης και κάνιστρα:

- Steven W. Moore, Harry Bohm and Vickie Jensen, Chapter 5. 'Pressure hulls and canisters', *Underwater Robotics Science, Design & Fabrication*, p. 203, 2010.

### Για υποκεφάλαιο 6.6.2 Θερμική ανάλυση:

- Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, *Thermodynamics an Engineering Approach*, 8<sup>th</sup> edition, 2015.

### Για υποκεφάλαιο 7.2 Προσέγγιση περιβαλλοντικού αποτυπώματος:

- The Global Footprint Network: Resources and advice for measuring ecological footprints.  
<http://www.footprintnetwork.org>
- UK Government DECC/DEFRA carbon reporting guidelines  
<http://www.defra.gov.uk/publications/2012/07/06/ghg-2012-conversion-factors-reporting/>
- Product Category Rules – establish criteria for product categorization and use profiles necessary when performing cradle-to-grave carbon footprint analyses.  
<http://www.environdec.com/en/PCR/>