



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

## **ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ**

### **ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

Από

Πάσιος Βασίλειος

Διατριβή για λήψη Βασικού Πτυχίου/Διπλώματος

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

10/3/2023

## Περιεχόμενα

### Περιεχόμενα εικόνων και διαγραμμάτων

### Αναγνωρίσεις

<b>Κεφάλαιο 1:</b> Περίληψη.....	9
<b>Κεφάλαιο 2:</b> Συστημική σκέψη και σχεδίαση.....	11
2.1 : Ιστορία της συστημικής σκέψης .....	11
2.2. Αρχές της συστημικής σκέψης .....	11
2.3. Εφαρμογές της συστημικής σκέψης.....	12
2.4. Οφέλη της συστημικής σκέψης.....	13
2.5. Προκλήσεις της συστημικής σκέψης.....	14
2.6. Συστημική Σχεδίαση.....	15
2.6.1. Αρχές συστημικής σχεδίασης.....	15
2.6.2. Οφέλη από την συστημική σχεδίαση.....	16
2.6.3. Προκλήσεις του σχεδιασμού του συστήματος.....	16
2.7. Συνδυασμός Συστημικής σκέψης και σχεδιασμού.....	17
<b>Κεφάλαιο 3. :</b> Συστημική δυναμική.....	21
3.1. Εισαγωγή στην συστημική δυναμική.....	21
3.2. Συστημική σκέψη και συστημική δυναμική.....	23
3.3. Βασικές αρχές της συστημικής δυναμικής.....	24
3.4. Μεθοδολογία στην συστημική δυναμική.....	25
<b>Κεφάλαιο 4. :</b> Αυτόνομα υποθαλάσσια οχήματα.....	27
4.1. ROV.....	27
4.2. Μέρη ROV.....	28
4.3. AUV.....	28

4.4. Χρήσεις ΑΥΥ.....	30
4.5 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	31
4.5.1. Ρευστοδυναμική.....	32
4.5.1.1.1 Υδροστατική.....	32
4.5.1.1.2 Πλευστότητα.....	32
4.5.1.1.3. Σταθερότητα.....	33
4.5.1.2 Υδροδυναμική.....	34
4.5.1.2.1 Όγκος Ελέγχου.....	34
4.5.1.2.2. Οπισθέλκουσα.....	35
4.5.1.2.3. Ώθηση.....	35
4.5.2. Ενέργεια.....	39
4.5.3. Πλοήγηση.....	42
4.5.4. Συστήματα ελέγχου.....	46
4.6. Εξαρτήματα.....	52
<b>Κεφάλαιο 5. : Σχεδίαση στόλου οχημάτων με συστημική δυναμική.....</b>	<b>82</b>
5.1. Σύγκριση των δυο μεθόδων αγοράς οχημάτων.....	87
5.2. Διαμόρφωση διαγραμμάτων ροής με δυο πολιτικές συντήρησης των οχημάτων.....	87
5.3. Απόσυρση παλαιών οχημάτων.....	91
5.4. Μελέτης της οικονομικής πλευράς αύξησης στόλου.....	92
<b>Κεφάλαιο 6. : Συμπεράσματα.....</b>	<b>95</b>

## **Περιεχόμενα εικόνων και διαγραμμάτων**

Εικόνα 1. 1 ROV .....	29
Εικόνα 2. 1 Μέρη AUV.....	31
Εικόνα 3. 1 Αναπαράσταση επίδρασης του βάρους και της άνωσης.....	34
Εικόνα 4. 1 Κατάσταση Ισορροπίας .....	34
Εικόνα 5. 1 Κατάσταση μη ισορροπίας .....	34
Εικόνα 6. 1 Επιρροή του ρευστού .....	35
Εικόνα 7. 1 Επιρροή του ρευστού .....	37
Εικόνα 8. 1 Λοβός.....	38
Εικόνα 9. 1 Jet.....	38
Εικόνα 10. 1ωΧαρακτηριστικά μπαταριών .....	41
Εικόνα 11. 1 Μαγνητική πυξίδα .....	44
Εικόνα 12. 1 Αδρανειακή μονάδα μέτρησης .....	46
Εικόνα 13. 1 Παράδειγμα συστήματος αυτόματου ελέγχου .....	47
Εικόνα 14. 1 Κάμερα για AUV .....	52
Εικόνα 15. 1 Σόναρ .....	55

Εικόνα 16. 1 Αισθητήρας Πίεσης και Θερμοκρασίας .....	56
Εικόνα 17. 1 INS.....	58
Εικόνα 18. 1 Υδρόφωνο.....	59
Εικόνα 19. 1 Κινητήρας .....	61
Εικόνα 20. 1 Motor Driver .....	63
Εικόνα 21. 1 Σερβοκινητήρας.....	64
Εικόνα 22. 1 Μητρική πλακέτα .....	66
Εικόνα 23. 1 Daughterboard .....	67
Εικόνα 24. 1 Gumstix.....	69
Εικόνα 25. 1 Robostix .....	70
Εικόνα 26. 1 Μονάδα εισόδου εξόδου .....	71
Εικόνα 27. 1 Μετατροπέας RS-232 σε RS-422/485.....	73
Εικόνα 28. 1 Φως.....	74
Εικόνα 29. 1 Κάμερα.....	76
Εικόνα 30. 1 Μπαταρία .....	77
Εικόνα 31. 1 Καλούπι .....	78

Εικόνα 32. 1 Πάνω μισό του καλουπιού .....	79
Εικόνα 33. 1 Πλάγια όψη του πάνω μισού καλουπιού.....	79
Εικόνα 34. 1 Καλούπι μαζί με τους κινητήρες .....	79
Εικόνα 35. 1 Καλώδια.....	81
Figure 1 Διάγραμμα ροής συστημικής δυναμικής .....	27
Figure 2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 1: .....	82
Figure 3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 2: .....	84
Figure 4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 3.....	85
Figure 5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 4: .....	86
Figure 6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 5.....	88
Figure 7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 6.....	90
Figure 8 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 7.....	91
Figure 9 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ .....	93
Figure 10 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ .....	94

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή  
εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ. του Τμήματος  
Μηχανικών Βιομηχανικού Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου  
Δυτικής Αττικής, σύμφωνα με τον νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό  
Σπουδών του τμήματος.

Επιβλέπων: Σκλαβούνου Ελένη Ουρσαλία

Λέκτορας Εφαρμογών

Επιτροπή Αξιολόγησης:

.....

Σκλαβούνου Ελένη Ουρσαλία

Λέκτορας Εφαρμογών

.....

Χατζόπουλος Αβραάμ

Λέκτορας Εφαρμογών

.....

Δρόσος Χρήστος

ΕΔΙΠ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΠΑΣΙΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ..... του...ΠΕΤΡΟΥ....., με αριθμό μητρώου 222017090..... φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ..... του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ....., δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/η Δηλών/ούσα



## Αναγνωρίσεις

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κύριο επιβλέποντα Ελένη Ορσαλία Σκλαβούνου για τη συνεχή υποστήριξη της διπλωματικής μου διατριβής και για την υπομονή καθώς και για τα κίνητρα που μου έδωσε. Με τις διαρκείς συζητήσεις, η Καθηγήτρια με βοήθησε να καταλάβω ποια βήματα έπρεπε να ακολουθήσω για να ολοκληρώσω με επιτυχία τη διατριβή μου. Τα διορατικά σχόλια και τις δύσκολες ερωτήσεις της Καθηγήτριας διευρύνω την έρευνά μου από διάφορες οπτικές γωνίες.

Εκτός από τον κύριο επιβλέποντα μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Καθηγητή Αν. Καθηγητή, Επ. Καθηγητή) ..... και τον Καθηγητή Αν. Καθηγητή, Επ. Καθηγητή) ..... μέλη της επιτροπής παρακολούθησης της διατριβής μου, για την ουσιαστική καθοδήγηση τους η οποία με βοήθησε σε όλο το χρόνο της έρευνας και συγγραφής αυτής της εργασίας. Η ουσιαστική γνώση στο ερευνητικό θέμα της διατριβής μου ήταν πολύ σημαντική. Πάνω από όλα, οφείλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και πάνω από όλα οφείλω να ευχαριστήσω την κ. Σκλαβούνου για τον πολύτιμο χρόνο της.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμηση στους συναδέλφους μου που διάβασαν και σχολίασαν τη διατριβή μου.

Ευχαριστώ τους γονείς μου που με στήριξαν πνευματικά και οικονομικά για την ολοκλήρωση της (διδακτορικής-μεταπτυχιακής-διπλωματικής-πτυχιακής) μου διατριβής. Επίσης για την υπομονή, την ενθάρρυνση και την υποστήριξη.

Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου γιατί πίστεψαν ότι μπορούσα να ολοκληρώσω αυτή τη διατριβή και με στήριξαν όταν ένιωθα απογοητευμένος.

## 1.Περίληψη

Ένα AUV (Αυτόνομο υποθαλάσσιο όχημα) είναι ένα ρομποτικό όχημα που μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα στο υποθαλάσσιο περιβάλλον. Ο σχεδιασμός ενός AUV είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί τεχνογνωσία σε διάφορους κλάδους της μηχανικής, συμπεριλαμβανομένων της μηχανολογίας, της ηλεκτρολογίας και της μηχανικής λογισμικού.

Στόχος αυτής της εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός AUV που θα μπορεί να εκτελεί διάφορες εργασίες, όπως υποβρύχια εξερεύνηση, συλλογή δεδομένων και παρακολούθηση. Το AUV θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε διαφορετικές υποβρύχιες συνθήκες, όπως ρηχά νερά, βαθιά νερά και ωκεάνια ρεύματα. Ο σχεδιασμός θα πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας του AUV και την ενεργειακή του απόδοση.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, ακολουθήθηκε μια συστημική προσέγγιση στο σχεδιασμό του συστήματος, ξεκινώντας με τον προσδιορισμό των απαιτήσεων και των προδιαγραφών του AUV.

Στην παρούσα εργασία θα δούμε τον σχεδιασμό ενός στόλου AUV μέσω της συστημικής σκέψης. Αρχικά θα αναλυθούν οι έννοιες της συστημικής σκέψης και σχεδίασης αλλά και η έννοια της συστημικής δυναμικής. Έπειτα θα περιγραφεί αναλυτικά ο σχεδιασμός ενός AUV, τα μέρη του και ο υπολογισμός του κόστους του ενώ τέλος με την χρήση της συστημικής δυναμική θα σχεδιάσουμε έναν στόλο οχημάτων.

## 1.Summary

An AUV (Autonomous Underwater Vehicle) is a robotic vehicle that can operate independently in the underwater environment. Designing an AUV is a complex process that requires expertise in various engineering disciplines, including mechanical, electrical and software engineering.

The aim of this project is to design an AUV that can perform various tasks such as underwater exploration, data collection and monitoring. The AUV should be able to operate in different underwater conditions, such as shallow water, deep water and ocean currents. The design should also take into account the environmental impact of the operation of the AUV and its energy efficiency.

To achieve this goal, a systems approach to system design was followed, starting with the identification of the requirements and specifications of the AUV.

In this project we will look at the design of an AUV fleet through system thinking. First, the concepts of systems thinking and design and the concept of systems dynamics will be analyzed. Then we will describe in detail the design of an AUV, its parts and the calculation of its cost and finally using the dynamics component we will design a fleet of vehicles.

## **2.Συστημική σκέψη και σχεδίαση**

Η συστημική σκέψη είναι μια ολιστική προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων που περιλαμβάνει την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών στοιχείων ενός συστήματος και του τρόπου με τον οποίο αυτά λειτουργούν μαζί ως σύνολο. Η έννοια της συστημικής σκέψης υπάρχει εδώ και αρκετές δεκαετίες και έχει εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, από τη μηχανική και τις επιχειρήσεις μέχρι την υγειονομική περίθαλψη και την περιβαλλοντική επιστήμη. Σε αυτή την ενότητα, θα διερευνήσω τις αρχές της συστημικής σκέψης, την ιστορία της και την εφαρμογή της σε διάφορους τομείς.

### **2.1. Ιστορία της συστημικής σκέψης**

Οι απαρχές της συστημικής σκέψης μπορούν να εντοπιστούν στις αρχές του 20ού αιώνα, με την ανάπτυξη του πεδίου της κυβερνητικής. Η κυβερνητική ήταν ένας διεπιστημονικός τομέας που προσπαθούσε να κατανοήσει πώς τα συστήματα μπορούν να ελέγχονται και να ρυθμίζονται μέσω μηχανισμών ανατροφοδότησης. Μια από τις βασικές μορφές της κυβερνητικής ήταν ο Norbert Wiener, ο οποίος έγραψε το βιβλίο *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine* το 1948.

Η έννοια της συστημικής σκέψης απέκτησε δυναμική τη δεκαετία του 1960, με τη δημοσίευση του βιβλίου *Systems Thinking* του Jay Forrester. Ο Forrester ήταν μηχανικός που ανέπτυξε τον τομέα της δυναμικής των συστημάτων, ο οποίος περιλαμβάνει τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης στον υπολογιστή για την κατανόηση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων. Το έργο του Forrester επικεντρώθηκε στην κατανόηση της συμπεριφοράς των οικονομικών συστημάτων, αλλά οι αρχές της συστημικής σκέψης σύντομα εφαρμόστηκαν και σε άλλους τομείς.

### **2.2. Αρχές της συστημικής σκέψης**

Η συστημική σκέψη περιλαμβάνει διάφορες βασικές αρχές που τη διακρίνουν από τις παραδοσιακές αναγωγιστικές προσεγγίσεις στην επίλυση προβλημάτων. Οι αρχές αυτές περιλαμβάνουν:

1. Κατανόηση ολόκληρου του συστήματος: Η συστημική σκέψη υπογραμμίζει τη σημασία της κατανόησης ολόκληρου του συστήματος, αντί να εστιάζουμε μόνο σε μεμονωμένα μέρη μεμονωμένα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εξετάζουμε το σύστημα ως σύνολο, συμπεριλαμβανομένων όλων των συστατικών του και των μεταξύ τους σχέσεων.

2. Κατανόηση των αλληλοσυσχετίσεων: Η συστημική σκέψη περιλαμβάνει την αναγνώριση ότι τα πάντα σε ένα σύστημα συνδέονται μεταξύ τους και ότι οι αλλαγές σε ένα μέρος του συστήματος μπορούν να έχουν αλυσιδωτές επιπτώσεις σε όλο το σύστημα. Αυτό σημαίνει κατανόηση των βρόχων ανατροφοδότησης και των αιτιωδών σχέσεων που υπάρχουν στο σύστημα.
3. Έμφαση στους βρόχους ανατροφοδότησης: Οι βρόχοι ανατροφοδότησης αποτελούν κρίσιμο συστατικό της συστημικής σκέψης. Αυτοί οι βρόχοι μπορεί να είναι θετικοί ή αρνητικοί και μπορούν είτε να ενισχύσουν είτε να εξουδετερώσουν τις αλλαγές στο σύστημα. Η κατανόηση αυτών των βρόχων ανατροφοδότησης είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός συστήματος με την πάροδο του χρόνου.
4. Σκέψη με όρους χρονικών καθυστερήσεων: Η συστημική σκέψη περιλαμβάνει την αναγνώριση ότι συχνά υπάρχουν χρονικές καθυστερήσεις μεταξύ των ενεργειών και των συνεπειών τους. Η κατανόηση αυτών των καθυστερήσεων είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός συστήματος με την πάροδο του χρόνου.
5. Εντοπισμός πολλαπλών προοπτικών: Η συστημική σκέψη περιλαμβάνει την αναγνώριση ότι μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές προοπτικές για ένα πρόβλημα ή μια κατάσταση και ότι η κατανόηση αυτών των προοπτικών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών λύσεων.

### **2.3. Εφαρμογές της συστημικής σκέψης**

Η συστημική σκέψη έχει εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως:

- Επιχειρήσεις: Η συστημική σκέψη χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις για την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφορετικών τμημάτων, ενδιαφερομένων μερών και αγορών. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ευκαιριών βελτίωσης και την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για την επίτευξη των οργανωτικών στόχων.
- Υγειονομική περίθαλψη: Η συστημική σκέψη χρησιμοποιείται στην υγειονομική περίθαλψη για την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων πτυχών της περίθαλψης των ασθενών, όπως οι κλινικές διαδικασίες,

η επικοινωνία και τα αποτελέσματα των ασθενών. Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων παροχής υγειονομικής περίθαλψης που βελτιώνουν τα αποτελέσματα των ασθενών και μειώνουν το κόστος.

- Περιβαλλοντική επιστήμη: Η συστημική σκέψη χρησιμοποιείται στην περιβαλλοντική επιστήμη για την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφόρων πτυχών του περιβάλλοντος, όπως το κλίμα, τα οικοσυστήματα και η ανθρώπινη συμπεριφορά. Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προκλήσεων, όπως η κλιματική αλλαγή και η απώλεια οικοτόπων.
- Εκπαίδευση: Η συστημική σκέψη χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση για την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων πτυχών του εκπαιδευτικού συστήματος, όπως το πρόγραμμα σπουδών, οι μέθοδοι διδασκαλίας και τα αποτελέσματα των μαθητών. Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των μαθητών και τη μείωση των διαφορών στις επιδόσεις.

#### **2.4. Οφέλη της συστημικής σκέψης**

Υπάρχουν πολλά οφέλη από τη χρήση της συστημικής σκέψης για την προσέγγιση της επίλυσης προβλημάτων. Τα οφέλη αυτά περιλαμβάνουν:

- Βελτιωμένη επίλυση προβλημάτων: Η συστημική σκέψη παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την επίλυση προβλημάτων, το οποίο επιτρέπει στα άτομα να κατανοήσουν τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων στοιχείων ενός συστήματος. Αυτό βοηθά στον εντοπισμό των βαθύτερων αιτιών των προβλημάτων και στην ανάπτυξη αποτελεσματικών λύσεων που αντιμετωπίζουν τα υποκείμενα ζητήματα.
- Αυξημένη συνεργασία: Η συστημική σκέψη ενθαρρύνει τη συνεργασία και την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων, καθώς τονίζει τη σημασία της κατανόησης πολλαπλών προοπτικών ενός προβλήματος ή μιας κατάστασης. Αυτό οδηγεί σε αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων και καλύτερα αποτελέσματα.

- Καλύτερη λήψη αποφάσεων: Η συστημική σκέψη βοηθά στον εντοπισμό των πιθανών συνεπειών των διαφόρων αποφάσεων και δράσεων, γεγονός που επιτρέπει στα άτομα να λαμβάνουν πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις. Βοηθά επίσης στον εντοπισμό των ακούσιων συνεπειών, οι οποίες μπορούν να αντιμετωπιστούν πριν εξελιχθούν σε σημαντικά ζητήματα.
- Αποτελεσματικότερη κατανομή πόρων: Η συστημική σκέψη βοηθά στον εντοπισμό τομέων όπου οι πόροι μπορούν να κατανεμηθούν αποτελεσματικότερα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους και βελτίωση των αποτελεσμάτων. Με την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων ενός συστήματος, τα άτομα μπορούν να εντοπίζουν ευκαιρίες βελτίωσης και να αναπτύσσουν αποτελεσματικές στρατηγικές για την επίτευξη των στόχων τους.

## 2.5. Προκλήσεις της συστημικής σκέψης

Ενώ η συστημική σκέψη προσφέρει πολλά οφέλη, παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

1. Πολυπλοκότητα: Η συστημική σκέψη μπορεί να είναι πολύπλοκη, καθώς περιλαμβάνει την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων συστατικών στοιχείων ενός συστήματος. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, ιδίως σε μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα.
2. Διαθεσιμότητα δεδομένων: Η συστημική σκέψη βασίζεται σε ακριβή και έγκαιρα δεδομένα, τα οποία μπορεί να μην είναι πάντα διαθέσιμα. Αυτό μπορεί να περιορίσει την ικανότητα ανάπτυξης αποτελεσματικών στρατηγικών για την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων.
3. Αντίσταση στην αλλαγή: Η συστημική σκέψη απαιτεί συχνά αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των οργανισμών και των ατόμων. Αυτό μπορεί να συναντήσει αντίσταση, ιδίως αν τα άτομα δεν έχουν συνηθίσει να εργάζονται σε ένα πλαίσιο συστημικής σκέψης.

## 2.6. Συστημική Σχεδίαση

Η συστημική σχεδίαση είναι η διαδικασία καθορισμού και ανάπτυξης ενός συστήματος για την ικανοποίηση ενός συνόλου απαιτήσεων. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των συστατικών στοιχείων του συστήματος, τον καθορισμό των μεταξύ τους σχέσεων και τον προσδιορισμό των λειτουργιών και των δυνατοτήτων του συστήματος. Η συστημική σχεδίαση χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής, της ανάπτυξης λογισμικού και του σχεδιασμού προϊόντων.

### 2.6.1. Αρχές συστημικής σχεδίασης

Η συστημική σχεδίαση περιλαμβάνει διάφορες βασικές αρχές, όπως:

1. **Ανάλυση απαιτήσεων:** Το πρώτο βήμα στη συστημική σχεδίαση είναι ο καθορισμός των απαιτήσεων του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την κατανόηση των αναγκών των ενδιαφερομένων μερών και την ανάπτυξη μιας σαφούς αντίληψης του προβλήματος που το σύστημα προορίζεται να επιλύσει.
2. **Αρθρωτότητα:** Η αρθρωτότητα είναι μια βασική αρχή του σχεδιασμού συστημάτων που περιλαμβάνει τη διάσπαση του συστήματος σε μικρότερα, πιο εύκολα διαχειρίσιμα στοιχεία. Αυτό διευκολύνει το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη συντήρηση του συστήματος, καθώς κάθε στοιχείο μπορεί να αναπτυχθεί και να δοκιμαστεί ανεξάρτητα.
3. **Αφαίρεση:** Η αφαίρεση περιλαμβάνει τον ορισμό του συστήματος σε υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας, χωρίς να αναλώνεται στις ιδιαιτερότητες της υλοποίησης. Αυτό διευκολύνει την κατανόηση του συστήματος στο σύνολό του και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τομέων προς βελτίωση.
4. **Επαναχρησιμοποίηση:** Η συστημική σχεδίαση θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να είναι επαναχρησιμοποιήσιμη, πράγμα που σημαίνει ότι τα συστατικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλαπλά συστήματα. Αυτό συμβάλλει στη μείωση του χρόνου και του κόστους ανάπτυξης, καθώς και στη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του συστήματος.



### 2.6.2. Οφέλη από την συστημική σχεδίαση

Η συστημική σχεδίαση προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως:

- Βελτιωμένη αποδοτικότητα: Η συστημική σχεδίαση βοηθά στον προσδιορισμό του βέλτιστου τρόπου δόμησης του συστήματος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη αποδοτικότητα και μειωμένο κόστος. Με τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τομέων για βελτίωση νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού, ο σχεδιασμός του συστήματος μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι το σύστημα ανταποκρίνεται στους στόχους του και αναπτύσσεται με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο.
- Καλύτερη ποιότητα: Η συστημική σχεδίαση συμβάλλει στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τομέων προς βελτίωση νωρίς στη διαδικασία ανάπτυξης, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του συστήματος. Με τη δοκιμή και τη βελτίωση του σχεδιασμού πριν από την υλοποίηση, ο σχεδιασμός του συστήματος μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι το σύστημα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του και είναι απαλλαγμένο από ελαττώματα.
- Μειωμένος χρόνος ανάπτυξης: Η συστημική σχεδίαση συμβάλλει στον εξορθολογισμό της διαδικασίας ανάπτυξης, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη μείωση του χρόνου και του κόστους ανάπτυξης. Με τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τομέων για βελτίωση νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού, ο σχεδιασμός του συστήματος μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι η διαδικασία ανάπτυξης είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτική.

### 2.6.3. Προκλήσεις του σχεδιασμού του συστήματος

Ενώ η συστημική σχεδίαση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

- Πολυπλοκότητα: Η συστημική σχεδίαση μπορεί να είναι πολύπλοκη, ιδίως για μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα. Αυτό μπορεί να δυσχεράνει τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τομέων προς βελτίωση και μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους.

- **Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις:** Οι απαιτήσεις για ένα σύστημα μπορεί να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που μπορεί να απαιτήσει τροποποιήσεις στη συστημική σχεδίαση. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, ιδίως αν το σύστημα έχει ήδη εφαρμοστεί μερικώς ή πλήρως.
- **Ενσωμάτωση:** Η συστημική σχεδίαση πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ανάγκη ενσωμάτωσης του συστήματος με άλλα συστήματα και στοιχεία. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, καθώς τα διάφορα συστήματα μπορεί να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και διεπαφές.

## 2.7. Συνδυασμός Συστημικής σκέψης και σχεδιασμού

Η συστημική σκέψη και ο σχεδιασμός συστημάτων είναι δύο συμπληρωματικές προσεγγίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί για την ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων. Η συστημική σκέψη περιλαμβάνει την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων ενός συστήματος, ενώ ο σχεδιασμός συστήματος περιλαμβάνει τον καθορισμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος για την ικανοποίηση ενός συνόλου απαιτήσεων.

Ο συνδυασμός αυτών των δύο προσεγγίσεων μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη, όπως:

- **Βελτιωμένη κατανόηση:** Ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων μπορεί να προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του συστήματος που αναπτύσσεται. Με την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος και την ανάπτυξη ενός σαφούς και λεπτομερούς σχεδίου για τον τρόπο με τον οποίο θα σχεδιαστεί και θα υλοποιηθεί το σύστημα, τα άτομα και οι οργανισμοί μπορούν να αποκτήσουν βαθύτερη κατανόηση του συστήματος και των απαιτήσεών του.
- **Καλύτερη επίλυση προβλημάτων:** Ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη επίλυση προβλημάτων. Με την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος και την ανάπτυξη ενός σαφούς σχεδίου για τον τρόπο με τον οποίο θα σχεδιαστεί και θα εφαρμοστεί το σύστημα, τα άτομα και οι οργανισμοί μπορούν να εντοπίσουν πιθανά

προβλήματα και τομείς για βελτίωση νωρίς στη διαδικασία και να αναπτύξουν αποτελεσματικές λύσεις για την αντιμετώπισή τους.

- Βελτιωμένη αποδοτικότητα: Ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας της διαδικασίας ανάπτυξης συστημάτων. Με τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τομέων για βελτίωση νωρίς στη διαδικασία και την ανάπτυξη ενός σαφούς σχεδίου για τον τρόπο με τον οποίο θα σχεδιαστεί και θα εφαρμοστεί το σύστημα, τα άτομα και οι οργανισμοί μπορούν να εξορθολογίσουν τη διαδικασία ανάπτυξης, να μειώσουν το χρόνο και το κόστος ανάπτυξης και να βελτιώσουν τη συνολική ποιότητα του συστήματος.
- Βελτιωμένη συνεργασία: Ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων ενδιαφερομένων μερών. Με την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος και την ανάπτυξη ενός σαφούς σχεδίου για τον τρόπο με τον οποίο θα σχεδιαστεί και θα εφαρμοστεί το σύστημα, τα άτομα και οι οργανισμοί μπορούν να ενθαρρύνουν τη συνεργασία και την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων ενδιαφερομένων μερών, οδηγώντας σε αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων και καλύτερα αποτελέσματα.

Ωστόσο, ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις, όπως:

1. Πολυπλοκότητα: Ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων μπορεί να είναι πολύπλοκος, ιδίως για μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα. Αυτό μπορεί να καταστήσει δύσκολο τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τομέων προς βελτίωση και μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους.
2. Αντίσταση στην αλλαγή: Ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του συστημικού σχεδιασμού απαιτεί συχνά αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των ατόμων και των οργανισμών. Αυτό μπορεί να συναντήσει αντίσταση, ιδίως αν τα άτομα δεν έχουν συνηθίσει να εργάζονται σε ένα πλαίσιο συστημικής σκέψης και σχεδιασμού συστημάτων.

3. Διαθεσιμότητα δεδομένων: Ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού του συστήματος βασίζεται σε ακριβή και έγκαιρα δεδομένα, τα οποία μπορεί να μην είναι πάντα διαθέσιμα. Αυτό μπορεί να περιορίσει την ικανότητα ανάπτυξης αποτελεσματικών στρατηγικών για την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων.

Για να ξεπεραστούν οι προκλήσεις του συνδυασμού της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων, είναι σημαντικό να αναπτυχθεί μια σαφής διαδικασία που να περιγράφει τα βήματα που εμπλέκονται στην ανάπτυξη ενός συστήματος. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Προσδιορισμός του προβλήματος: Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού συστήματος είναι ο προσδιορισμός του προβλήματος που πρόκειται να επιλύσει το σύστημα. Αυτό απαιτεί σαφή κατανόηση των σκοπών και των στόχων του συστήματος, καθώς και των αναγκών των ενδιαφερομένων μερών που θα χρησιμοποιήσουν το σύστημα.
- Καθορισμός των ορίων του συστήματος: Αφού εντοπιστεί το πρόβλημα, το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των ορίων του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των στοιχείων του συστήματος, καθώς και των εισροών, εκροών και περιορισμών που θα επηρεάσουν το σύστημα.
- Ανάπτυξη χάρτη συστήματος: Με τον καθορισμό των ορίων του συστήματος, το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη ενός χάρτη συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος και της ροής των εισροών και εκροών μεταξύ αυτών των στοιχείων.
- Ανάπτυξη εννοιολογικού μοντέλου: Χρησιμοποιώντας τον χάρτη του συστήματος ως οδηγό, το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη ενός εννοιολογικού μοντέλου του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των βασικών μεταβλητών που επηρεάζουν το σύστημα και την ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου ή ενός μοντέλου προσομοίωσης για την αναπαράσταση της συμπεριφοράς του συστήματος.
- Ανάπτυξη απαιτήσεων συστήματος: Αφού αναπτυχθεί το εννοιολογικό μοντέλο, το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη απαιτήσεων συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των απαιτήσεων απόδοσης, κόστους και

χρονοδιαγράμματος για το σύστημα, καθώς και τυχόν περιορισμών που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

- Σχεδιασμός του συστήματος: Με τον καθορισμό των απαιτήσεων του συστήματος, το επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός λεπτομερούς σχεδίου για τον τρόπο με τον οποίο θα σχεδιαστεί και θα υλοποιηθεί το σύστημα, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής των στοιχείων υλικού και λογισμικού, καθώς και την ανάπτυξη σχεδίων δοκιμών και αξιολόγησης.
- Εφαρμογή του συστήματος: Με τον σχεδιασμό του συστήματος, το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή και τη δοκιμή του συστήματος και τη διασφάλιση ότι πληροί τις απαιτήσεις απόδοσης, κόστους και χρονοδιαγράμματος που ορίζονται στις απαιτήσεις του συστήματος.
- Παρακολούθηση και αξιολόγηση του συστήματος: Αφού εφαρμοστεί το σύστημα, το τελικό βήμα είναι η παρακολούθηση και η αξιολόγηση του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις επιδόσεις του συστήματος και τη χρήση αυτών των δεδομένων για τον εντοπισμό περιοχών προς βελτίωση και τη βελτίωση του σχεδιασμού του συστήματος.

Συμπερασματικά, ο συνδυασμός της συστημικής σκέψης και του σχεδιασμού συστημάτων μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων. Με την κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων ενός συστήματος και την ανάπτυξη ενός σαφούς σχεδίου για τον τρόπο με τον οποίο θα σχεδιαστεί και θα εφαρμοστεί το σύστημα, τα άτομα και οι οργανισμοί μπορούν να βελτιώσουν την κατανόηση, την επίλυση προβλημάτων, την αποτελεσματικότητα και τη συνεργασία τους. Ωστόσο, ο συνδυασμός αυτών των προσεγγίσεων παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις, οι οποίες πρέπει να ξεπεραστούν για να επιτευχθούν αυτά τα οφέλη.

(John Darzentas, 2014) (John Pourdehnad, Erica R. Wexler, Dennis V. Wilson, 2011) (Ross D. Arnold\*, Jon P. Wade, 2015) ( Wendy Currie, Bob Galliers, 2003)

### 3. Συστημική δυναμική

#### 3.1. Εισαγωγή στην συστημική δυναμική

Το πεδίο της συστημικής δυναμικής αποτελεί μια από τις διάφορες πιθανές παραλλαγές/παρεκκλίσεις της Συστημικής Προσέγγισης και θέτει τη βάση για τα πρότυπα προσομοίωσης. Βασισμένη σε μεγάλο βαθμό στους Η/Υ, η Σ.Δ. προσφέρει το κατάλληλο πλαίσιο, μέσα στο οποίο εφαρμόζει την ιδέα της συστημικής θεωρίας στα κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα. Βασίζεται στην ιδέα ότι τα συστήματα αποτελούνται από διασυνδεδεμένα στοιχεία που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Η συστημική δυναμική παρέχει ένα πλαίσιο για τη μοντελοποίηση αυτών των αλληλεπιδράσεων και την προσομοίωση της συμπεριφοράς των συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, βοηθώντας τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να κατανοήσουν καλύτερα τη δυναμική των πολύπλοκων συστημάτων και να λάβουν καλύτερες αποφάσεις.

Η Σ.Δ. είναι η μεθοδολογία της μελέτης και διαχείρισης πολύπλοκων ανατροφοδοτικών συστημάτων. Στην πράξη έχει κατα το παρελθόν χρησιμοποιηθεί σε κάθε είδους ανατροφοδοτικό σύστημα. Τα βασικά βήματα αυτής της μεθοδολογίας είναι:

1. Προσδιορισμός του προβλήματος: Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή της Σ.Δ. είναι ο ορισμός του προβλήματος που μας ενδιαφέρει. Αυτό απαιτεί σαφή κατανόηση των σκοπών και των στόχων του συστήματος, καθώς και των βασικών στοιχείων και σχέσεων που καθορίζουν το σύστημα.
2. Ανάπτυξη δυναμικής υπόθεσης επεξηγώντας την αιτία του προβλήματος: Αφού οριστεί το σύστημα, το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη ενός εννοιολογικού μοντέλου του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των βασικών μεταβλητών που επηρεάζουν το σύστημα και την ανάπτυξη ενός διαγράμματος αιτιώδους βρόχου που αναπαριστά τις σχέσεις μεταξύ αυτών των μεταβλητών.
3. Κατασκευή μοντέλου προσομοίωσης του συστήματος υπό τη βάση του: Με το εννοιολογικό μοντέλο στη θέση του, το επόμενο βήμα είναι η ποσοτικοποίηση του μοντέλου. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των λειτουργικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου και την ανάπτυξη ενός συνόλου

εξισώσεων που περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα συμπεριφέρεται με την πάροδο του χρόνου.

4. Έλεγχος του μοντέλου για να εξασφαλίσουμε ότι αναπαραγάγει την ίδια συμπεριφορά στον πραγματικό κόσμο
5. Επινόηση και έλεγχος του μοντέλου με εναλλακτικές πολιτικές που μειώνουν τα προβλήματα
6. Εφαρμογή της επιθυμητής λύσης

Η ιστορία της Σ.Δ. μπορεί να αναχθεί στο έργο του Jay Forrester, καθηγητή στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT), ο οποίος ανέπτυξε το πεδίο τη δεκαετία του 1950 και του 1960. Το έργο του Forrester είχε ως κίνητρο την επιθυμία του να κατανοήσει καλύτερα τη συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων, ιδίως στο πλαίσιο της βιομηχανικής παραγωγής.

Μια από τις βασικές ιδέες του Forrester ήταν ότι τα παραδοσιακά μαθηματικά μοντέλα δεν επαρκούσαν για την κατανόηση της συμπεριφοράς των πολύπλοκων συστημάτων, επειδή είχαν την τάση να εστιάζουν σε μεμονωμένα συστατικά του συστήματος και όχι στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Για να αντιμετωπίσει αυτόν τον περιορισμό, ο Forrester ανέπτυξε μια νέα προσέγγιση για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων, την οποία ονόμασε "συστημική δυναμική".

Η βασική ιδέα πίσω από τη Σ.Δ. είναι η θεώρηση ενός συστήματος ως ένα σύνολο διασυνδεδεμένων βρόχων ανατροφοδότησης και όχι ως μια συλλογή μεμονωμένων στοιχείων. Σε έναν βρόχο ανατροφοδότησης, η έξοδος ενός συστατικού τροφοδοτεί την είσοδο ενός άλλου συστατικού, δημιουργώντας έναν αυτοενισχυόμενο κύκλο. Με τη μοντελοποίηση αυτών των βρόχων ανατροφοδότησης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, ο Forrester πίστευε ότι θα ήταν δυνατό να κατανοηθεί καλύτερα η συμπεριφορά των πολύπλοκων συστημάτων με την πάροδο του χρόνου.

Ο Forrester αρχικά εφάρμοσε την θεωρία της Σ.Δ στην ανάλυση των προβλημάτων που ανακύπτουν από το χωροταξικό και πολιτικό σχεδιασμό. Πλέον όμως, η συστημική δυναμική αποδείχθηκε ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο για τομείς όπως το περιβάλλον, η δημογραφία, η δημόσια πολιτική και η διδασκαλία.

Εν κατακλείδι, η δυναμική συστημάτων είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση και τη βελτίωση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων με την πάροδο του χρόνου. Ακολουθώντας μια σαφή διαδικασία που περιγράφει τα βασικά βήματα που εμπλέκονται στην ανάπτυξη και ανάλυση ενός μοντέλου δυναμικής συστήματος, τα άτομα και οι οργανισμοί μπορούν να εφαρμόσουν αποτελεσματικά τη δυναμική του συστήματος για να κατανοήσουν τη δυναμική των πολύπλοκων συστημάτων, να

εντοπίσουν τα βασικά σημεία μόχλευσης για παρέμβαση και να δοκιμάσουν διαφορετικές πολιτικές και στρατηγικές για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

### **3.2. Συστημική σκέψη και συστημική δυναμική**

Οι δυο συστημικές μεθοδολογίες, η συστημική σκέψη και η συστημική δυναμική μπορεί να φαίνονται όμοιες αλλά έχουν αρκετές διαφορές. Η Σ.Δ. ίσως θα μπορούσε να θεωρηθεί συμπληρωματική της συστημικής σκέψης. Η συστημική δυναμική δεν μένει μόνο στην θεωρία, αλλά προχωράει και στην προσομοίωση του συστήματος ώστε μέσω της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος να διαπιστωθούν περαιτέρω προβλήματα.

Αρχικά, η συστημική σκέψη είναι μια ευρύτερη προσέγγιση που περιλαμβάνει μια σειρά μεθόδων και εργαλείων για την κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων. Η συστημική σκέψη τονίζει τη σημασία της εξέτασης ενός συστήματος ως σύνολο, αντί να εστιάζει σε μεμονωμένα συστατικά ή υποσυστήματα. Τονίζει επίσης τη σημασία των βρόχων ανατροφοδότησης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών στοιχείων ενός συστήματος. Η συστημική σκέψη χρησιμοποιείται συχνά σε τομείς όπως η διοίκηση, η μηχανική και η δημόσια πολιτική για να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να κατανοήσουν καλύτερα τα πολύπλοκα συστήματα και να εντοπίσουν ευκαιρίες βελτίωσης.

Από την άλλη, η συστημική δυναμική, είναι μια συγκεκριμένη μεθοδολογία στο πλαίσιο του ευρύτερου πεδίου της συστημικής σκέψης. Η δυναμική συστημάτων χρησιμοποιεί μαθηματικά μοντέλα για την προσομοίωση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, με ιδιαίτερη έμφαση στις αλληλεπιδράσεις και τους βρόχους ανατροφοδότησης μεταξύ των συστατικών του συστήματος. Τα μοντέλα δυναμικής συστημάτων χρησιμοποιούν συνήθως διαγράμματα αιτιώδους βρόχου για να αναπαραστήσουν τους βασικούς βρόχους ανατροφοδότησης σε ένα σύστημα και στη συνέχεια μεταφράζουν αυτά τα διαγράμματα σε μαθηματικές εξισώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος. Η Σ.Δ. χρησιμοποιείται συχνά σε τομείς όπως η μηχανική, η οικονομία και η περιβαλλοντική διαχείριση για την κατανόηση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων και τη δοκιμή διαφορετικών πολιτικών και στρατηγικών για τη βελτίωση της απόδοσής τους.

Μια άλλη διαφορά μεταξύ της συστημικής σκέψης και της συστημικής δυναμικής είναι το επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας που παρέχουν. Η συστημική σκέψη



χρησιμοποιείται συχνά για την ανάπτυξη εννοιολογικών μοντέλων πολύπλοκων συστημάτων που παρέχουν μια υψηλού επιπέδου κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Η Σ.Δ., από την άλλη πλευρά, παρέχει μια πιο λεπτομερή και ακριβή εικόνα του συστήματος, χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Αυτό επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να δοκιμάζουν διαφορετικές πολιτικές και στρατηγικές σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον και να ποσοτικοποιούν τον αντίκτυπο των διαφόρων παρεμβάσεων στη συμπεριφορά του συστήματος.

Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε την σύγκριση των δυο μεθοδολογιών.

<b>ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΣΚΕΨΗ</b>	<b>ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ</b>
Περισσότερο διαισθητική	Προσεγγίζει την μαθηματική σκέψη
Ευκολότερος βαθμός δόμησης	Βασίζεται στην προσομοίωση
Δεν απαιτεί γνώση Η/Υ	Απαιτούνται βασικές γνώσεις χρήσης Η/Υ
Ποιοτική περιγραφή	Ποσοτική και ποιοτική περιγραφή
Σχετικά εύκολη κατανόηση απο μη ειδικούς	Απαιτείται εξάσκηση απο ειδικούς

Συνολικά, ενώ η συστημική σκέψη και η συστημική δυναμική έχουν κοινή εστίαση στην κατανόηση και τη βελτίωση των πολύπλοκων συστημάτων, διαφέρουν σε διάφορους βασικούς τρόπους. Η συστημική σκέψη είναι μια ευρύτερη προσέγγιση που περιλαμβάνει μια σειρά μεθόδων και εργαλείων για την κατανόηση των πολύπλοκων συστημάτων, ενώ η Σ.Δ. είναι μια συγκεκριμένη μεθοδολογία εντός του ευρύτερου πεδίου της συστημικής σκέψης. Ωστόσο, η συστημική δυναμική ενδείκνυται καλύτερα για την ανάλυση συστημάτων που είναι πολύ πολύπλοκα για να γίνουν κατανοητά μέσω των παραδοσιακών μαθηματικών μοντέλων, ενώ η συστημική σκέψη μπορεί να εφαρμοστεί σε συστήματα οποιουδήποτε μεγέθους ή πολυπλοκότητας.

### **3.3. Βασικές αρχές της συστημικής δυναμικής**

Στην καθημερινότητα, πολλές επιχειρήσεις χαρακτηρίζονται από την πολυπλοκότητα της δόμησης των στοιχείων τους και τους βρόχους ανάδρασης που έχουν πολλαπλές συνέπειες και οι οποίοι υπάρχουν ανάμεσα στα στοιχεία. Καθροίζονται τις δομικές

αλλαγές στο μοντέλο και ελέγχοντας τις εισροές(διαταραχές του μοντέλου), όπως στην πραγματική επιχειρηματική κατάσταση, μπορούμε να προχωρήσουμε στην διαδικασία της προσομοίωσης για τα πιθανά μελλοντικά σενάρια(αποτελέσματα).

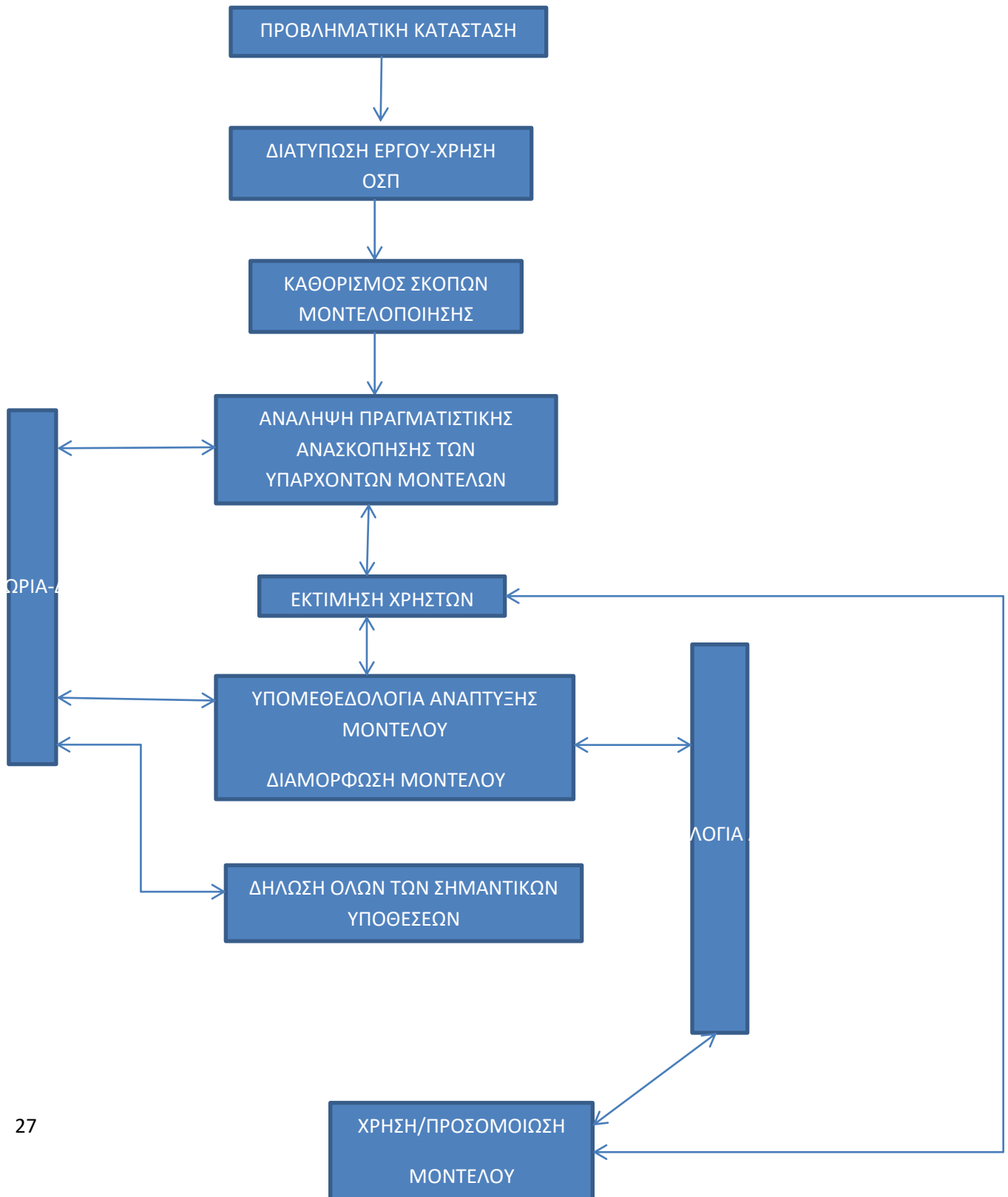
Παρακάτω θα δούμε τα 4 βασικά στοιχεία που έχουν ευρεία χρήση σε οποιαδήποτε ανάλυση της μεθοδολογίας Σ.Δ

- Τάξη: Για να σχηματιστεί ένα μοντέλο Σ.Δ. απαιτείται ο ακριβής αριθμός των επιπέδων (stocks), που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της δομής. Ο αριθμός των επιπέδων προσδιορίζει την τάξη του συστήματος.
- Κατεύθυνση Ανάδρασης: Ανάδραση ή ανατροφοδότηση έχουμε όταν η συμπεριφορά ενός στοιχείου μπορεί να επανατροφοδοτηθεί είτε άμεσα, π.χ. από ένα άλλο στοιχείο λόγω της σχέσης τους, είτε έμμεσα π.χ. διαμέσου μιας σειράς συνδεδεμένων στοιχείων, οπότε επηρεάζεται η συμπεριφορά του αρχικού στοιχείου . Η ανάδραση γίνεται μέσα παο βρόχους και έχει πρόσημο θετικό ή αρνητικό. Δηλαδή, οι κατευθύνσεις της ανάδρασης για την δομή συστήματος μπορεί να έχουν ανασταλτική επιρροή(-) ή μεγεθυντική, δηλαδή να δημιουργούν άυξηση ή πτώση(+).
- Μη γραμμικότητα: Όπως αναφέραμε, οι θετικές ανδράσεις παράγουν ανάπτυξη ή πτώση μετά από ένα δεδομένο σημείο. Σε αντίθεση με τα γραμμικά συστήματα, στα μη γραμμικά η ανάδραση δεν έχει ζημιογώνες συνέπειες, γιατί η μη γραμμική σύζευξη θετικών και αρνητικών βρόχων μπορεί να οδηγήσει σε μετατοπίσεις κυριαρχίας μεταξύ τους, ώστε να γίνει δυνατή μια ελεγχόμενη ανάπτυξη
- Πολλαπλότητα βρόχων: Όπως είναι λογικό ελάχιστε καταστάσεις μπορούν να αναπαρασταθούν ικανοποιητικά με μόνο μια δομή βρόχου. Έτσι, υπάρχουν αρκετοί θετικοί και αρνητικοί βρόχοι. Όμως, ο βαθμός ανάδρασης μεταξύ των βρόχων δυσχεραίνει την αναγνώριση των βασικών μεταβλητών και κατά συνέπεια την πρόβλεψη των επιθυμητών αποτελεσμάτων, δίχως τη βοήθεια προσομοίωσης μέσω Η/Υ

#### **3.4. Μεθοδολογία στην συστημική δυναμική**

Παρακάτω θα δούμε την μεθοδολογία της συστημικής δυναμικής. Αρχικά ορίζουμε πρόβλημα στο οποίο έχει παρουσιαστεί και έπειτα το έργο ώστε να βρεθούν οι λύσεις αντιμετώπισής του. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της Ολικής Συστημικής παρέμβασης.

Figure 1 Διάγραμμα ροής συστημικής δυναμικής



(Lobontiu, 2010) (Shepherd, 2014) (ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Β. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ, ΑΔΑΜΙΔΗΣ Δ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, 2008)

## **4. Αυτόνομα υποθαλάσσια οχήματα**

### **4.1. ROV**

Η ανάγκη του ανθρώπου να βρεί λύσεις στα προβλήματά του, έφερε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Σε αυτήν την αναζήτηση, στο πως μπορεί να κάνει την ζωή του πιο εύκολη κάτω από την θάλασσα το 1953 ο Dimitri Rebikoff ανακάλυψε το πρώτο τηλεχειριζόμενο υποθαλάσσιο όχημα (ROV). Τα ROVs είχαν διάφορες εφαρμογές καθώς είχαν την ικανότητα να ταξιδέψουν στα πιο βαθιά και σκοτεινά μέρη των οκεανών όπου ο άνθρωπος δεν μπορούσε. Ύστερα από το ενδιαφέρον του πολεμικού ναυτικού της Αμερικής για αυτή την τεχνολογία, το 1961 δημιούργησε το πρώτο CURV (Cable-controlled Underwater Research Vehicle) το οποίο έγινε γνωστό το 1966 καθώς χρησιμοποιήθηκε για να συλλεχθεί μια βόμβα υδρογόνου από τον πάτο της Μεσογειακής θάλασσας.

Μια τηλεχειριζόμενη υποβρύχια ρομποτική μονάδα αποτελείται από το καταδυόμενο ρομποτικό όχημα, την μονάδα ελέγχου στην επιφάνεια και το καλώδιο που συνδέει το δυο προηγούμενα. Ο πλοήγηση γίνεται από χειρίστη, μέσω της μονάδας ελέγχου, η παρουσία του οποίου είναι απαραίτητη και συνεχής για να μπορέσει το σκάφος να εκτελέσει την οποιαδήποτε αποστολή. Τα τηλεχειριζόμενα υποθαλάσσια οχήματα ποικίλλουν σε μεγέθη. Μια απλή περιγραφή ενός θα μπορούσε να είναι, μια κάμερα τοποθετημένη πάνω σε ένα αδιάβροχο περίβλημα. Χρησιμοποιεί thrusters για να μετακινηθεί και είναι συνδεδεμένο ή δεμένο με ένα καλώδιο στην επιφάνεια που στέλνει το σήμα βίντεο. Πολλά από αυτά έχουν επίσης μηχανικά χέρια για να ανυψώσουν, να μετακινήσουν ή να αρπάξουν αντικείμενα. Η σύνδεση με καλώδιο είναι αυτή που δίνει ενέργεια στο ROV και επιτρέπει στους χειριστές να το ελέγχουν πάνω από το νερό.



Εικόνα 1. 1 ROV

#### 4.2. Μέρη ROV

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ROVs: η κατηγορία κλάσης-παρατήρησης και η κλάσης-εργασίας. Το ROV της κατηγορίας παρατήρησης είναι καλύτερη για τη λήψη φωτογραφιών και την καταγραφή βίντεο. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ROVs: η κατηγορία παρατήρησης και η τάξη εργασίας. Το ROV της κατηγορίας παρατήρησης είναι καλύτερη για τη λήψη φωτογραφιών και την καταγραφή βίντεο. Τα οχήματά αυτά συνήθως είναι κατασκευασμένα για να εκτελούν κάποια πολύ συγκεκριμένη λειτουργία. Κάποια είναι σχεδιασμένα για να καταγράψουν και να αναλύουν μεγάλες ζώνες του πυθμένα των ωκεανών ενώ άλλα είναι σχεδιασμένα να φωτογραφίζουν και να ανακτούν πληροφορίες και στοιχεία. Το ROV της κλάσης εργασίας είναι καλύτερα εξοπλισμένο για την παράδοση εργαλείων και την εκτέλεση πιο δύσκολης εργασίας.

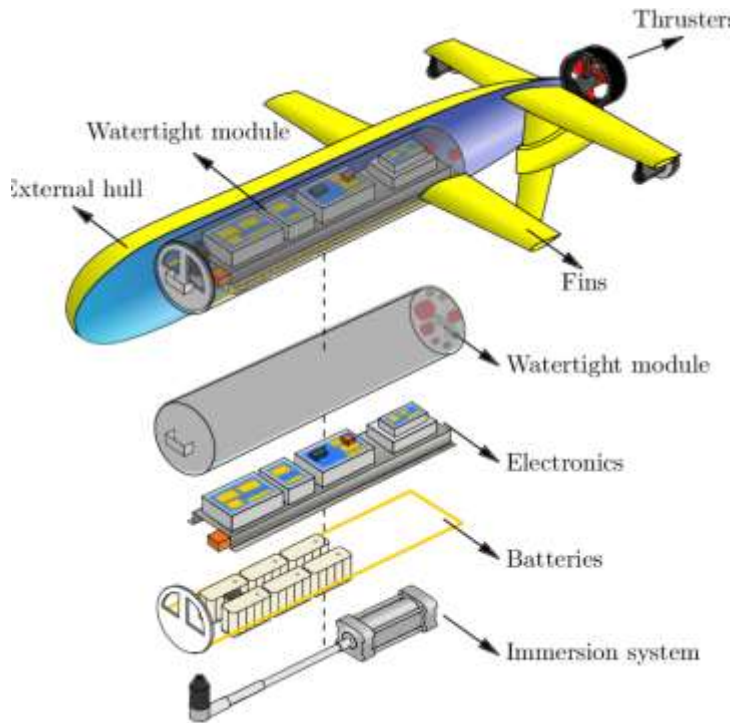
#### 4.3 AUV

Τα αυτόνομα υποθαλάσσια οχήματα είναι ρομπότ που χρησιμοποιούν ένα σύστημα πρόωσης προκειμένου να περιηγηθούν κάτω από την θάλασσα και δεν απαιτούν ανθρώπινη καθοδήγηση. Αντ' αυτού, ελέγχονται από ένα σύστημα ηλεκτρονικών υπολογιστών και μπορούν να κινηθούν και στις τρεις κατευθύνσεις.

Το 1866 ο Robert Whitehead έχοντας παρατηρήσει το ψάρι με τις ηλεκτρικές ακτίνες το οποίο μεταφέρει με το ηλεκτροσόκ το δηλητήριό του εμπνεύστηκε την πρώτη μορφή αυτόνομου υποβρύχιου, μια αυτόνομη τορπίλη, η οποία μπορούσε να κινηθεί μόνη της με μια μηχανή συμπιεσμένου αέρα τριών κυλίνδρων. Αυτή χρησιμοποιήθηκε στον πόλεμο μεταξύ της Ρωσίας-Τουρκίας, ενώ η τορπίλη μπορούσε να φτάσει τα 3km/h και να τρέξει για 700 μέτρα. Την δεκαετία του 1950 ο Bob Francois και αργότερα ο Terry Ewart συνέχισαν τις ερευνες στο Washington University καθώς είχαν την ανάγκη να ανακαλύψουν ένα αυτόνομο υποβρύχιο για έρευνες στον ωκεανό. Αυτό επιτεύχθηκε με το SPURV (The Self Propelled Underwater Research Vehicle). Το πρώτο SPURV χρησιμοποιήθηκε το 1970 σε έρευνες. Ζύγιζε 480 κιλά, είχε ταχύτητα 2,2km/h και μπορούσε να ταξιδέψει για 5 ώρες στα 3 χιλιόμετρα κάτω από την θάλασσα.

Τα AUVs είναι συνήθως τροφοδοτούμενα από μπαταρία και έχουν δική τους υπολογιστική μονάδα. Ο υπολογιστής που μεταφέρουν μαζί με ένα σύνολο αισθητήρων είναι αυτά που απαιτούνται για να καθοριστεί και να παραχθεί την αυτόνομη συμπεριφορά τους. Από τον συνδυασμό αισθητήρων που περιέχονται στην μονάδα ανακτώνται πληροφορίες για την πλοήγηση του σκάφους και τις αποστολές που πρέπει να εκτελεστούν. Οι αισθητήρες αποτελούνται κυρίως από ωκεανογραφικά εργαλεία που βοηθούν την αυτόματη πλοήγηση και την χαρτογράφηση των θαλάσσιων στοιχείων. Τέτοιοι αισθητήρες είναι οι ηλεκτρονικές πυξίδες, οι αισθητήρες βάθους, πίεσης, θερμοκρασίας, τα σόναρ και οι μονάδες μέτρησης της αδράνειας.

Τα AUVs απαιτούν επίσης επαρκή καθοδήγηση και έλεγχο για να πραγματοποιήσουν τις διάφορες λειτουργίες τους. Η οπτική πληροφορία μέσω κάποιας κάμερας είναι πολύ σημαντική για τα παραπάνω ενώ η ψηφιακή προσομοίωση της κίνησης του ρομποτικού οχήματος μέσω επεξεργαστή είναι η μέθοδος με την οποία γίνεται εφικτή η καθοδήγησή του. Με την διαδικασία επικοινωνίας και ανατροφοδότησης των επιμέρους αισθητήρων με μια κεντρική μονάδα αντικαθίστανται πολύπλοκα μοντέλα κίνησης και συντεταγμένων και διευκολύνεται η κίνηση και ο έλεγχος των κινητήρων.



Εικόνα 2. 1 Μέρη AUV

#### 4.4. Χρήσεις AUV

Τα Αυτόνομα Υποβρύχια Οχήματα (AUVs) έχουν ποικίλες χρήσεις, όπως:

- Ωκεανογραφία: Τα AUVs χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του ωκεανού και τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη θερμοκρασία του νερού, την αλατότητα, το βάθος και άλλους παράγοντες.
- Περιβαλλοντική παρακολούθηση: Τα AUVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της υγείας των υποθαλάσσιων οικοσυστημάτων, όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι και τα θαλάσσια χόρτα.
- Υποβρύχια χαρτογράφηση και αποτύπωση: Τα AUVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χαρτογράφηση του βυθού του ωκεανού, τον εντοπισμό ναυαγίων και την έρευνα υποθαλάσσιων αγωγών και καλωδίων.
- Στρατιωτικές επιχειρήσεις: Τα AUV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επιχειρήσεις αναγνώρισης, επιτήρησης και ανίχνευσης ναρκών από τον στρατό.

- Εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου: Τα AUVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα του βυθού των ωκεανών για αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- Έρευνα και διάσωση: Τα AUVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό αγνοούμενων σκαφών, βυθισμένων πλοίων και χαμένων αντικειμένων.
- Επιστημονική έρευνα: Τα AUVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη υποβρύχιας βιολογίας, γεωλογίας και άλλων επιστημονικών πεδίων.

#### 4.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

Το κάθε κατασκευαστικό στοιχείο ενός AUV απαιτεί ξεχωριστή μελέτη και προσοχή καθώς θα πρέπει να εξεταστεί η επίδρασή του σε όλο το όχημα και στα υπόλοιπα συστήματά του. Για παράδειγμα, το περίβλημα του οχήματος θα επηρεάσει την δύναμη της έλξης και έτσι θα χρειαστεί μια συγκεκριμένη ανάλογη δύναμη έλξης ώστε να μπορέσει να κινηθεί μέσα στο νερό. Έπειτα η απαιτούμενη δύναμη ώθησης θα επηρεάσει την απαιτούμενη προώθηση του οχήματος αλλά και την τροφοδοσία του.

Η κατάδυση στο νερό έχει ως αποτέλεσμα τεράστιες αλλαγές στο περιβάλλον και στις σχεδιαστικές κατευθύνσεις ενός οχήματος. Το ρομποτικό όχημα πρέπει να είναι στεγανό και να φέρει τους κατάλληλους ενεργοποιητές και αισθητήρες για να αλλάξει περιβάλλον, να ενεργοποιηθεί και να προσαρμοσθεί στις υποβρύχιες συνθήκες. Εξ αιτίας της φύσης των υδροδυναμικών αντιστάσεων και παραμέτρων ένας μεγάλος αριθμός εξωτερικών συνήθως μη-γραμμικών παραγόντων επηρεάζει το υποβρύχιο όταν είναι κάτω από την επιφάνεια του νερού.

Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν ένα AUV και θα εξετάσουμε είναι:

- Υδροδυναμική
- Ενέργεια
- Πλοήγηση
- Έλεγχοι Συστημάτων



- Προώθηση
- Υποθαλάσσιες αισθήσεις και απαιτούμενα εξαρήματα

#### 4.5.1. Ρευστοδυναμική

##### 4.5.1.1. Υδροστατική

##### 4.5.1.1.2 Πλευστότητα

Ένα στερεό σώμα το οποίο καταδύεται σε υγρό θα έχει μια δύναμη άνωσης ( $B$ ) με φορά αντίθετη στην κατεύθυνση του καταδύομένου σώματος και μέτρο ίσο με το βάρος ( $W$ ) του μετατοπιζόμενου υγρού λόγω κατάδυσης. Αυτή η δύναμη επιτρέπει στο στερεό να επιπλέει και το κάνει να φαίνεται ελαφρύτερο.

Εάν η δύναμη της άνωσης υπερβαίνει το βάρος του καταδύομένου σώματος τότε το σώμα επιπλέει. Εάν η δύναμη του βάρους υπερβαίνει την άνωση τότε το σώμα βυθίζεται. Εάν οι δύο δυνάμεις είναι ίσες το σώμα έχει φυσική άνωση και θα παραμείνει στο ίδιο επίπεδο.

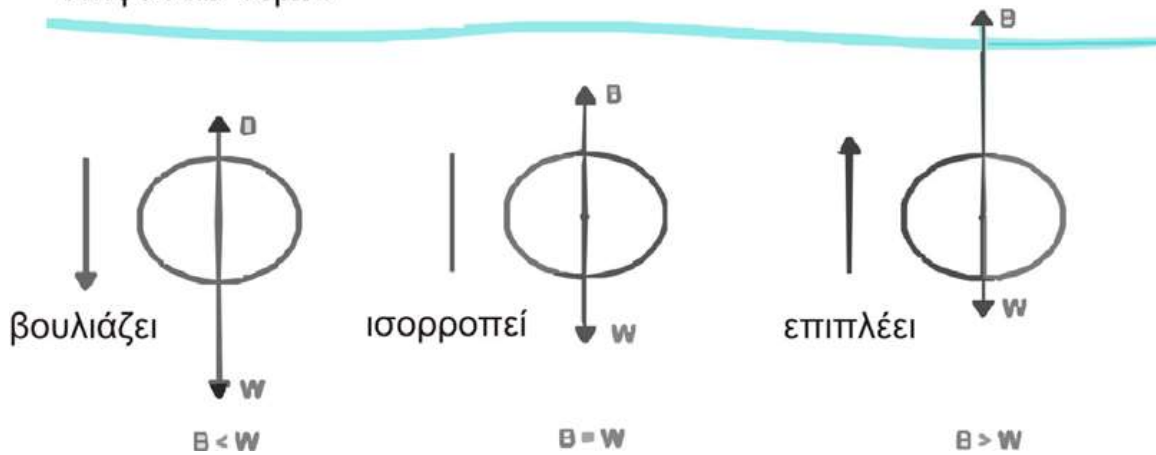
Η άνωση ορίζεται ως η καθαρή ανοδική δύναμη που επενεργεί σε ένα αντικείμενο που προκαλείται από το περιβάλλον υγρό(στην προκειμένη περίπτωση το νερό), ενώ ο τύπος της είναι:

$$F_B = \rho g V$$

Όπου  $\rho$  η πυκνότητα του νερού,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $V$  η ένταση του αντικειμένου. Η δύναμη άνωσης είναι ίση με το βάρος του μετατοπισμένου υγρού ενώ η καθαρή άνωση είναι ίση με τη διαφορά μεταξύ της δύναμης άνωσης, του βάρους του περιβλήματος του οχήματος και των κατασκευαστικών στοιχείων του.

Εάν ένα αντικείμενο είναι ουδέτερα πλωτό, μπορεί να θεωρηθεί χωρίς βαρύτητα όταν είναι βυθισμένο. Διαδοχικά για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να μετατοπίσει ποσότητα νερού ισοδύναμη με το βάρος του. Η ουδέτερη άνωση είναι συχνά ο στόχος των υποβρύχιων οχημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του βάρους του οχήματος κατά προσθήκη ή αφαίρεση έρματος. Τα υποβρύχια χρησιμοποιούν δεξαμενές που πλημμυρίζουν ή εκκενώνονται για να προσαρμοστούν άνωση ανάλογα με τις ανάγκες.

## Επιφάνεια νερού

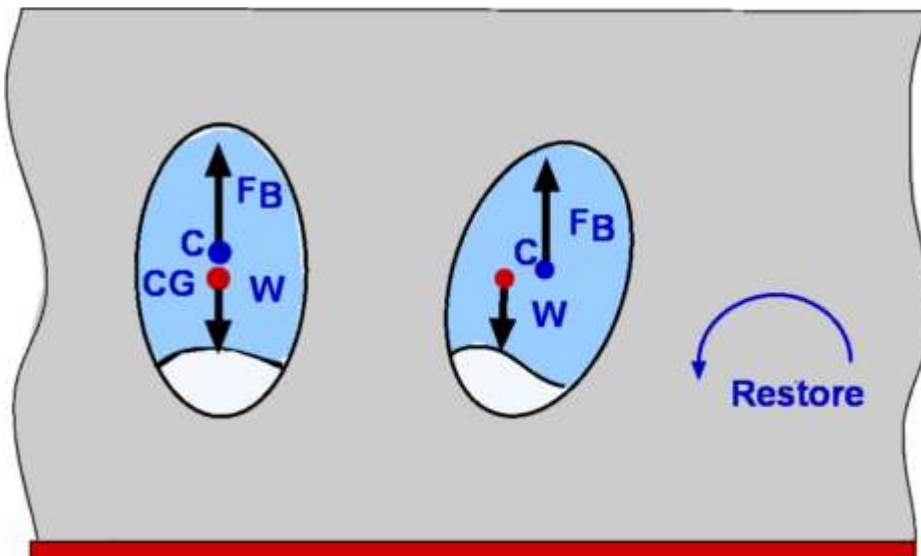


Εικόνα 3. 1 Αναπαράσταση επίδρασης του βάρους και της άνωσης

### 4.5.1.1.3. Σταθερότητα

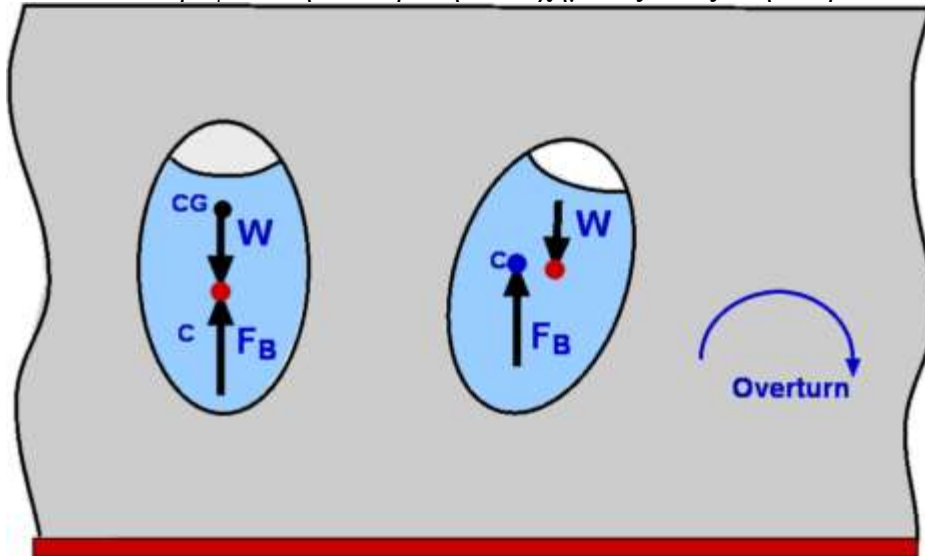
Το κέντρο της άνωσης (CB) είναι το σημείο όπου η άνωση θεωρείται πως δρα. Αυτό συμβαίνει στο κεντροείδες του οχήματος που κινείται όσο αυτό είναι βυθισμένο. Όταν το όχημα βγει στην επιφάνεια αυτή θα εξαφανιστεί. Το βάρος του οχήματος (W) ασκείται στο κέντρο της βαρύτητας (CG), όπου ασκείται καθόλη την διάρκεια της κίνησης εκτός και αν μετατοπιστεί το βάρος εσωτερικά του.

Η άνωση και το βάρος παράγουν ένα ζευγάρι δυνάμεων που τείνουν να “διορθώσουν” το όχημα. Ένα βυθισμένο όχημα επιτυγχάνει την ισορροπία όταν το κέντρο της άνωσης είναι πάνω από το κέντρο βαρύτητας όπως στην παρακάτω φωτογραφία



Εικόνα 4. 1 Κατάσταση Ισορροπίας

Από την άλλη σε μια κατάσταση μη ισορροπίας οι δυνάμεις θα στραφούν προς το κέντρο ώστε να αποτρέψουν την ανατροπή του οχήματος όπως στην παρακάτω φωτογραφία



Εικόνα 5. 1 Κατάσταση μη ισορροπίας

Όταν το σκάφος στο σημείο ισορροπίας πάρει την οποιαδήποτε μορφή κλίσης ή περιστροφής, αυτή είναι αποτέλεσμα της συνισταμένης δύναμης  $RM$  (μετάκεντρο) και ισούται με:

$$RM = 0.5d(B + W) \sin\lambda ,$$

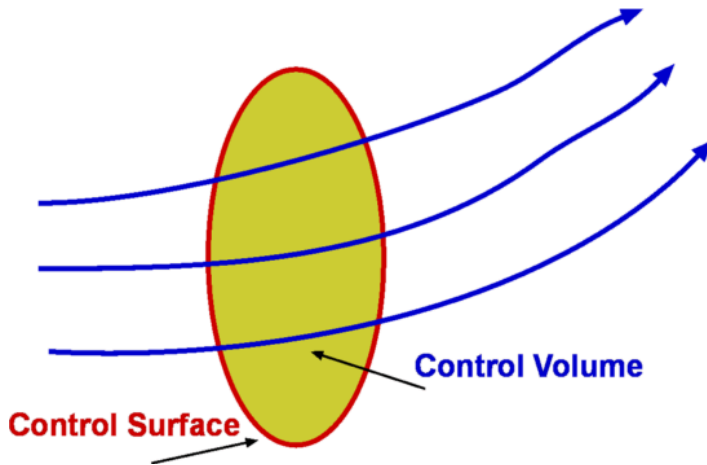
όπου  $B, W$  οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα

$d$  η απόσταση του κέντρου βάρους από το κέντρο άνωσης

#### 4.5.1.2 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

##### 4.5.1.2.1 Όγκος Ελέγχου

Ως ρευστό Σύστημα (S) αναφέρεται μια συγκεκριμένη μάζα ρευστού που περιορίζεται από τα σύνορα μια κλειστής επιφάνειας. Η μορφή του συστήματος, και επομένως και των συνόρων, μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο. Καθώς το ρευστό κινείται και παραμορφώνεται, έτσι και το σύστημα που το περιέχει μετακινείται και παραμορφώνεται. Το μέγεθος και η μορφή του συστήματος είναι τελείως προαιρετικά (απειροελάχιστο ή αρκετά μεγάλο). Αντίθετα, ο Όγκος Ελέγχου (Control Volume, CV) αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη περιοχή του χώρου, η οποία ούτε κινείται ούτε αλλάζει μορφή. Συνήθως τον επιλέγουμε ως μία περιοχή στην οποία εισέρχεται και εξέρχεται ρευστό. Τα κλειστά του σύνορα τα λέμε Επιφάνεια Ελέγχου (Control Surface). Και εδώ το μέγεθος και η μορφή του Όγκου Ελέγχου είναι τελείως προαιρετικά. Στην πραγματικότητα η επιφάνεια ελέγχου μπορεί να κινείται στο χώρο ως προς κάποιο απόλυτο σύστημα αναφοράς. Αυτή η σχέση μας κάνει ευκολότερο να μελετήσουμε την επιρροή ενός ρευστού στο όχημα.



Εικόνα 6. 1 Επιρροή του ρευστού

#### 4.5.1.2.2. Οπισθέλκουσα

Ένας τύπος επιφανειακής δύναμης που συναντά οποιοδήποτε αντικείμενο ταξιδεύει μέσα στο νερό είναι η δύναμη οπισθέλκουσας. Η συνολική οπισθέλκουσα σε ένα σώμα οφείλεται σε συνδυασμό δυνάμεων πίεσης (οπισθέλκουσα φόρμας) και δυνάμεων διάτμησης (οπισθέλκουσα τριβή δέρματος). Η οπισθέλκουσα της φόρμας οδηγείται από το σχήμα του οχήματος, με μακριά, λεπτά αμαξώματα συνήθως με χαμηλότερη μεταφορά φόρμας. Η οπισθέλκουσα τριβής δέρματος οδηγείται από την επιφάνεια του σώμα που έρχεται σε επαφή με το υγρό. Ως εκ τούτου, υπάρχει ένα βέλτιστο σχήμα σώματος που θα έχει ως αποτέλεσμα την ελάχιστη συνολική οπισθέλκουσα.

Η δύναμη οπισθέλκουσας τριβής του δέρματος υπολογίζεται από

$$D_{SF} = 1/2 \rho C_D A_s V^2$$

Όπου,  $C_D$  είναι ο συντελεστής οπισθέλκουσας του οχήματος, ο οποίος μπορεί να εκτιμηθεί ή να υπολογιστεί από ένα μετρούμενη δύναμη οπισθέλκουσας. Το εμβαδόν Όπως είναι η συνολική επιφάνεια που εκτίθεται στη ροή και  $V$  είναι η ταχύτητα του οχήματος. Η εξίσωση για τη μεταφορά φόρμας είναι η ίδια, αλλά οι τιμές του συντελεστή οπισθέλκουσας είναι με βάση την μετωπική ή προβαλλόμενη περιοχή που είναι κανονική προς την κατεύθυνση ροής

#### 4.5.1.2.3. ΩΘΗΣΗ

Όλα τα υποθαλάσσια οχήματα χρησιμοποιούν έναν μηχανισμό για να κινηθούν μέσα στο νερό. Αυτός ο μηχανισμός δημιουργεί προώθηση κινώντας το νερό με μια συγκεκριμένη ταχύτητα.

Ο τύπος της ώθησης είναι:  $T = \dot{m} (U_e - U)$

όπου  $T$  είναι η παραγόμενη ώση,  $\dot{m}$  είναι ο ρυθμός ροής ρευστού μέσω της διάταξης πρόωσης,  $U_e$  είναι η ταχύτητα εξόδου και  $U$  είναι η ταχύτητα εισόδου. Η επιλογή της συσκευής προώθησης εξαρτάται από μέγεθος του οχήματος, τα χρήματα και την απαιτούμενη ενέργεια.

### 1. Προπέλες

Μια έλικα-προπέλα συνδέεται με έναν άξονα που διεισδύει στο κύτος και συνδέεται με έναν κινητήρα. Οι λεπίδες της έλικας μπορούν να σχεδιαστούν με πολλούς τρόπους, αλλά όλες δημιουργούν ώθηση μετακινώντας το νερό πέρα από τις λεπίδες και δημιουργώντας δίνες πίσω τους. Η εξίσωση φόρτωσης έλικας είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων ισχύος:  $\text{φόρτωση} = (K_T/J^4)^{1/4}$

Με συντελεστή ώσης  $K_T = T/\rho n^2 D^4$  όπου,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του νερού,  $n$  είναι η ταχύτητα της έλικας και  $D$  είναι η διάμετρος του έλικας.

Με  $J = VA/nD$  όπου,  $VA$  είναι η ταχύτητα προώθησης της έλικας μέσα στο νερό.

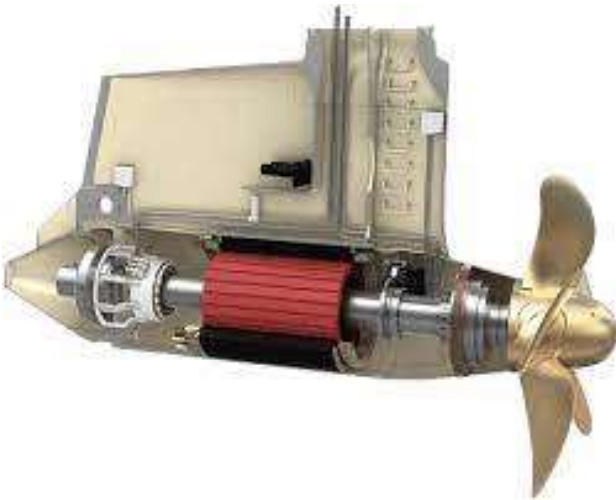
Στα θετικά της προπέλας είναι ότι είναι αρκετά αποτελεσματική ενώ από την άλλη χρειάζεται πηδάλιο για ελιγμούς και όχι υψηλή οπισθέλκουσα.



Εικόνα 7. 1 Επιρροή του ρευστού

### 2. Πρόωση με λοβό

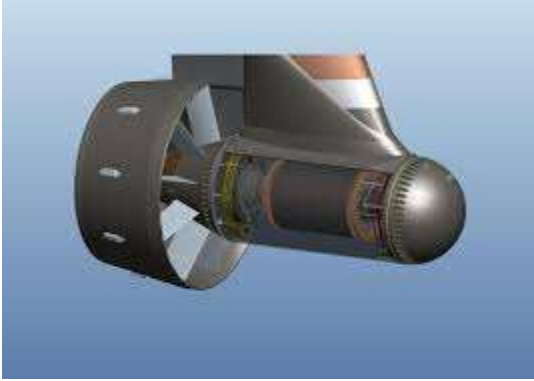
Ένα σύστημα πρόωσης με λοβό χρησιμοποιεί μια προπέλα ώστε να παράξει την οπισθέλκουσα, μονό που σε αυτή την περίπτωση η προπέλα είναι πίσω από έναν λοβό ο οποίος επιτρέπει την ομαλή ροή του ρευστού πάνω στο σώμα του. Ένας λοβός είναι ένα ομαλό κυλινδρικό περίβλημα που περιέχει τους κινητήρες για την έλικα πίσω από αυτό. Αυτό το επιπλέον περίβλημα επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στις διατάξεις και περισσότερος χώρος στο κύτος για άλλα μηχανήματα. Ο λοβός μπορεί να είναι προσαρτημένος στο κύτος του κύριου οχήματος με σταθερό ή αζιμουθιακό πτερύγιο/ράβδο. Στα θετικά του είναι ότι με την αζιμουθοποίηση έχει εξαιρετικές δυνατότητες ελιγμών ενώ η εγκατάστασή του είναι πολύ απλή καθώς και ταιριάζει σε όλα τα αυτοματοποιημένα πλοία. Από την άλλη, στα αρνητικά του, είναι ότι κοστίζει περισσότερο από μια απλή προπέλα ενώ το σύστημα θα έχει και μεγαλύτερη απώλεια ενέργειας λόγω της ηλεκτρικής πρόωσης.



Εικόνα 8. 1 Λοβός

### 3. Jet

Ένα jet δημιουργεί επίσης ώθηση μετακινώντας νερό, αλλά μετακινεί το νερό εσωτερικά στο κύτος χρησιμοποιώντας εισροές στο πλάι ή στο μπροστινό μέρος του κύτους και στη συνέχεια τρέχει το νερό εισαγωγής μέσω αγωγών. Το νερό διέρχεται από μια τουρμπίνα μέσα στο κύτος και ωθείται έξω από το πρυμναίο άκρο του οχήματος. Οι πίδακες μπορούν επίσης να βοηθούν στους ελιγμούς εάν έχουν "κουβάδες" στην έξοδο του οχήματος. Οι κάδοι έχουν παρόμοιο σχήμα με αγκώνες σωλήνων που διοχετεύουν τα καυσαέρια σε διαφορετικές κατευθύνσεις ανάλογα με το πώς είναι μετακινηθεί. Στα υπερ των jet είναι πιο "δυνατά", εννώντας ότι μπορούν να δημιουργήσουν μεγαλύτερη ορμή στο όχημα και επίσης έχουν μικρή οπισθέλκουσα. Ενώ, στα κατά, δεν είναι το ίδιο ικανά με τις προπέλες και παράγουν θόρυβο.



Εικόνα 9. 1 Jet

#### 4.5.2. Ενέργεια

Τα υποβρύχια οχήματα που τροφοδοτούνται με μπαταρία είναι ενεργειακά περιορισμένα, πράγμα που σημαίνει ότι η διαθέσιμη ισχύς έχει περιορισμένη διαθέσιμη τιμή σε πεπερασμένο χρόνο. Η ποσότητα ισχύος που απαιτείται για ένα όχημα μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την εμβέλεια και την ταχύτητα που ορίζονται από την αποστολή για την οποία το όχημα σχεδιαστεί. Η ισχύς ορίζεται ως δύναμη επί ταχύτητα.

$$P = F * V$$

όπου P είναι η ισχύς, F είναι η δύναμη και V είναι η ταχύτητα του οχήματος. Ως εκ τούτου, ως αρχική εκτίμηση, η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης μπορεί να εκτιμηθεί από την οπισθέλκουσα του οχήματος (D) και τη ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το όχημα. Από την υδροδυναμική του οχήματος, η οπισθέλκουσα είναι ανάλογη προς την ταχύτητα του οχήματος στο τετράγωνο, έτσι η απαιτούμενη ενέργεια υπολογίζεται ως:

$$P = D * V = C_D * A * 1/2 * \rho * V^2 * V$$

όπου CD είναι ο συντελεστής οπισθέλκουσας του οχήματος που ορίστηκε προηγουμένως στο υδροδυναμικό τμήμα. Επίσης, η ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται ορίζεται ως η δύναμη που επενεργεί στο όχημα επί την απόσταση, ή αυτονομία, πάνω από την οποία έχει ταξιδέψει το όχημα. Επομένως, η ποσότητα ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται στο όχημα μπορεί να εκτιμηθεί ως:

$$E = F * d = D * d = C_D * A * 1/2 * \rho * v^2 * R$$

όπου E είναι η διαθέσιμη ενέργεια. Ο γενικός όρος d (απόσταση) μπορεί να εξομοιωθεί με το R, που είναι η αυτονομία του οχήματος

Για να υπολογισθεί η αυτονομία που μπορεί να επιτευχθεί από ένα όχημα με δεδομένη μπαταρία, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση ορίζεται ως

$$E = \frac{E}{CD * A * 1/2 * \rho * V^2}$$

Υπάρχουν επίσης κι άλλοι αισθητήρες επί του οχήματος που χρησιμοποιούν ισχύ από την μπαταρία. Για να συμπεριλάβουμε την επίδραση της ισχύος που χρησιμοποιείται από τον ενσωματωμένο εξοπλισμό στην εμβέλεια που μπορεί να επιτευχθεί από το AUV, η εξίσωση αυτονομίας μπορεί να είναι επαυξημένη ώστε να περιλαμβάνει την "αποθηκευμένη ισχύ" ή την ισχύ που απαιτείται για τη διατήρηση των λειτουργιών του πλοίου του οχήματος. Αναφερόμενη στον παραπάνω ορισμό της ενέργειας, μια ισοδύναμη δύναμη που ενεργεί στο το σύστημα μπορεί να εκτιμηθεί από την απαιτούμενη αποθηκευμένη ισχύ:

$$P_H = F_H * V \quad \text{ή} \quad F_H = \frac{P_H}{V}$$

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την εξίσωση ενέργειας, η συνολική ενέργεια που απαιτείται για να διανύσετε μια απόσταση R είναι:

$$E = (D + F_H) * R$$

Ενώ για να υπολογίσουμε την απόσταση

$$R = \frac{E}{D + F_H} = \frac{E}{CD * A * \frac{1}{2} * \rho * V^2 + (P_H/V)}$$

Παρακάτω θα δούμε στον πίνακα κάποιες μπαταρίες και τα χαρακτηριστικά τους

ΤΥΠΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (Whr/kg)	ΚΥΚΛΟΙ	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	ΣΧΟΛΙΑ
ΑΛΚΑΛΙΚΗ	140	1	Εύκολη αποθήκευση και μπορεί να μεταφερθεί και αεροπορικώς	Οικονομική και εύκολη στην χρήση



ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΛΙΘΙΟΥ	190	100	Θα πρέπει να φορτιστεί με συγκεκριμένο με φορτιστή και να μεταφερθεί προσεκτικά καθώς υπάρχει κίνδυνος έκρηξης	Μικρό μέγεθος και προσοχή στην χρήση της
ΝΙΚΕΛΙΟΥ	33	100	Εύκολη αποθήκευση και μπορεί να μεταφερθεί και αεροπορικώς	Ακόμα και αποφορτισμένη λειτουργεί καλά
ΜΟΛΥΒΔΟΥΧΟ ΟΞΥ	30	10	Ειδικό πακετάρισμα για μεταφορά	Ιδιαίτερη εμφάνιση
ΥΔΡΙΔΙΚΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ	50	100	Εύκολη αποθήκευση και μπορεί να μεταφερθεί και αεροπορικώς	Ακόμα και αποφορτισμένη λειτουργεί καλά

Τα χαρακτηριστικά των πιο συνηθισμένων επαναφορτισμένων μπαταριών είναι τα εξής:

	NiCd	NiMH	Lead Acid	Li-ion	Li-ion polymer	AGM VRSLAB
Gravimetric Energy Density (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	100-200	150-250	>100
Internal Resistance [mΩ] (includes peripheral circuits)	100 to 200 12V pack	200 to 300 6V pack	<100 12V pack	150 to 250 7.2V pack	200 to 300 7.2V pack	<50 12V pack
Life Cycle [cycles] (to 80% of initial capacity)	1500	500	300	1000	500	3000
Fast Charge Time	1h typical	2-4h	8-16h	2-4h	2-4h	<1h
Overcharge Tolerance	moderate	low	high	very low	low	Very high
Charge/Discharge Efficiency [%]	70% - 90%	66%	50% - 92%	80% - 90%	> 90%	98%
Self-discharge / Month (room temperature)	20%	30%	5%	10%5	~10%	1-3%
Cell Voltage(nominal)	1.25V	1.25V	2V	3.6V	3.6V	2V
Load Current - peak / rated value [%]	2000	500	500	>200	>200	>2000
Operating Temperature (discharge only)	-40 to 60°C	-20 to 60°C	-20 to 60°C	-20 to 60°C	0 to 60°C	-40 to 70°C
Maintenance Requirement	60 days	60 to 90 days	3 to 6 months	not req.	not req.	not req.
Typical Battery Cost (US\$, estimative only)	\$100 (7.2V)	\$60 (7.2V)	\$25 (12V)	\$100 (7.2V)	\$100 (7.2V)	\$100 (12V)
Cost / Life Cycle (\$/cycles)	\$0.08	\$0.12	\$0.1	\$0.1	\$0.29	\$0.03-0.04
Commercial use since	1950	1990	1970	1991	1999	1985

Εικόνα 10. 1ωΧαρακτηριστικά μπαταριών

### 4.5.3. Πλοήγηση

Ορίζουμε την πλοήγηση ως τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης, της ταχύτητας και του σχετικού προσανατολισμού σε γνωστή αναφορά. Η συζήτησή μας για το θέμα αυτό θα περιοριστεί στο πρόβλημα της υποβρύχιας πλοήγησης οχημάτων με οργανικά όργανα.

Κατά συνέπεια, δεν θα ασχοληθούμε με την λύσεις πλοήγησης που απαιτούν υποβρύχιους φάρους ή priori χάρτες. Αναλογικά με το υδάτινο περιβάλλον και τις επιθυμητές

αποστολές υπάρχουν και διαφορετικοί σχεδιασμοί για την πλοήγηση ενός σκάφους.

Σήμερα το περισσότερα υποβρύχια ρομποτικά οχήματα δουλεύουν με την υποστήριξη επιφανειακών σκαφών για λόγους πλοήγησής τους. Όμως υπάρχουν και σκάφη χαμηλής κατανάλωσης και μεγάλου εύρους πεδίου, που είναι ικανά να δρουν αυτόνομα για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα δίνοντας περιοδικά πληροφορίες μέσω δορυφόρου σε αυτούς που τα χειρίζονται στην ακτή πριν βγουν στην επιφάνεια για συλλογή.

Στις αποστολές μικρού εύρους, που υπάρχει η δυνατότητα σκάφους υποστήριξης, χρησιμοποιούμε το σκαφος υποστήριξης για να υπολογίσουμε την θέση του AUV μέσω

του GPS. Αυτό γίνεται μέσω ακουστικών κυμάτων και μετρήσεων απόστασης κάποιου σχετικού συστήματος συντεταγμένων. Από την άλλη πλευρά σε περιπτώσεις αποστολών μεγάλων εύρους δεν έχουμε αυτή την ευελιξία. Έτσι το ίδιο το σκάφος ανεβαίνει μόνο του στην επιφάνεια ώστε μέσω ενσωματωμένου GPS να υπολογιστεί η θέση του. Στα ενδιάμεσα σημεία και στην υποβρύχια κίνησή του ένα σύστημα υπολογισμού της αδράνειας που είναι ενσωματωμένο στο ρομποτικό όχημα υπολογίζει την επιτάχυνση και την ταχύτητα κίνησής του αναλογικά με τις κινήσεις του ρομποτικού οχήματος. Αυτά αποτελούν μαζί με μια ηλεκτρονική πυξίδα ένα σύστημα πλοήγησης.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες εντοπισμού θέσης, οι απόλυτες και οι σχετικές. Στις απόλυτες, η θέση του οχήματος υπολογίζεται ασχέτως τις προηγούμενες του. Ένα παράδειγμα αυτών, είναι το GPS. Το GPS έχει το θετικό ότι δεν θα σφάλει ποτέ για την τοποθεσία. Από την άλλη πλευρά όμως το GPS παρουσιάζει πολλές φορές απώλειες σήματος στο εξωτερικό περιβάλλον και δεν έχει εξωτερικές προεκτάσεις για επεξεργασία της πληροφορίας. Για σχετικούς υπολογισμούς θέσης χρησιμοποιείται η μέθοδος του νεκρού υπολογισμού.

#### ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΝΕΚΡΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Η μέθοδος του νεκρού υπολογισμού βασίζεται στην εκτίμηση της γεωγραφικής θέσης ενός οχήματος έχοντας ως δεδομένο μια γνωστή καταγεγραμμένη θέση και χρησιμοποιώντας την χρονική διαδρομή, την ταχύτητα και την απόσταση που διανύθηκε. Εάν η αρχική θέση του οχήματος είναι γνωστό, μπορεί να ενημερωθεί ενσωματώνοντας τη μέτρηση ταχύτητας κατά μήκος κάθε πλαισίου αναφοράς άξονας. Εάν  $V(k)$  και  $\psi(k)$  υποδηλώνουν, αντίστοιχα, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του οχήματος στο διακριτό χρόνο  $k$ , η θέση DR ( $XN, YE$ ) στις βόρειες και ανατολικές συντεταγμένες υπολογίζεται ως εξής:

$$XN(k+1) = XN(k) + V(k)\cos[\psi(k)], \quad k=0,1,2,\dots, \quad XN(0)=X0$$

$$YE(k+1) = YE(k) + V(k)\sin[\psi(k)], \quad k=0,1,2,\dots, \quad YE(0)=Y0$$

Στα υποθαλάσσια οχήματα η ταχύτητα καταγράφεται με ένα αισθητήρα καταμέτρησης Doppler (DVL). Μια απλή γεωμετρική ανάλυση του αλγορίθμου DR δείχνει την ονομαστική σχέση μεταξύ σφάλματα οργάνων πλοήγησης και σφάλμα εκτίμησης θέσης. Με αισθητήρα καταμέτρησης Doppler, η μέτρηση ταχύτητα οχήματος,  $\tilde{V}$  είναι,

$$\tilde{V} = (1+a)V$$

όπου  $a$  είναι το σφάλμα συντελεστή κλίμακας DVL και  $V$  είναι η πραγματική ταχύτητα.

Το σφάλμα θέσης ενός υποβρύχιου συστήματος πλοήγησης εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό διανυθείσα απόσταση. Δεδομένης μιας φαινομενικής απόστασης ταξιδιού S, το σφάλμα ποσοστού διανυθείσας απόστασης, το D είναι ορίζεται ως,

$$D = \frac{\Delta R}{S} \times 100$$

, όπου το ακτινικό σφάλμα,  $\Delta R$  είναι συνάρτηση των αποκλίσεων βόρειας και ανατολικής θέσης. Για μικρά σφάλμα επικεφαλίδας, το σφάλμα βόρειας και ανατολικής θέσης είναι:

$$\Delta N = (1 + \alpha)S - S$$

Έτσι,

$$D = \sqrt{a^2 + (1 + a)^2 \Delta \psi^2} \times 100$$

Για παράδειγμα, αν  $\alpha = 0,004$  και  $\Delta \psi = 1^\circ$ , τότε  $D = 1,8\%$ . Ως εκ τούτου, σε μια διαδρομή ταξιδιού 100 μέτρων, το τελικό σφάλμα θέσης θα ήταν περίπου 1,8 μέτρα. Αυτό το σφάλμα είναι επιπλέον της μέτρησης σφάλμα στην αρχική διόρθωση θέσης.

Ένα πολύ βασικό μοντέλο εύρεσης του λάθους πλοήγησης για ένα AUV είναι το παρακάτω:

$$\text{TotalError} = \sqrt{\varepsilon_r^2 + (D \sin \phi_0)^2 + (D \sin \phi_0 \text{DI})^2 + (D \delta V_0)^2 + (D \delta V_A)^2}$$

όπου

$\varepsilon_r$  : σημειακό σφάλμα της θέσης του οχήματος

$\delta V_A$  : παράπλευρο σφάλμα ταχύτητας κίνησης [Type equation here.](#)

$\phi_0$  : σημειακό σφάλμα προσανατολισμού

$\Delta v_0$  : εγκάρσιο σφάλμα ταχύτητας κίνησης

$\phi \text{DI}$  : απώλεια θέσης προσανατολισμού αισθητήρα

Οι τιμές των παραπάνω όρων είναι συνδυασμένοι στο να δώσουν μια τιμή σφάλματος σαν συνάρτηση της διανυθείσας απόστασης (D). Οι παραπάνω παράγοντες σφάλματος είναι ανεξάρτητοι της ταχύτητας του σκάφους και υψηλότερων όρων. όπως η κατεύθυνση και η επιτάχυνση.

Μαγνητική πυξίδα



Εικόνα 11. 1 Μαγνητική πυξίδα

Μια μαγνητική πυξίδα είναι μια συνηθισμένη επιλογή για τη μέτρηση της κατεύθυνσης του οχήματος. Οι μετρήσεις της μαγνητικής πυξίδας γίνονται σε σχέση με την οριζόντια συνιστώσα του τοπικού διανύσματος μαγνητικού πεδίου της γης. Εάν η ένδειξη ο προσανατολισμός του τοπικού πεδίου σε σχέση με το βορρά είναι γνωστός, η μέτρηση της πυξίδας μπορεί να μετατραπεί σε πραγματική τιμή του βορρά.

Οι σύγχρονες πυξίδες είναι γενικά κατασκευασμένες από συσκευές fluxgate ή μαγνητοαντίστασης. Η πυξίδα αποτελείται από μια ορθογώνια τριάδα μαγνητομέτρων ροής που μετρούν το τοπικό μαγνητικό πεδίο σε τρεις διαστάσεις. Εάν η συμπεριφορά του οχήματος (γωνία κύλισης και βήματος) είναι γνωστή, οι μετρήσεις fluxgate μπορούν να μεταφραστούν στο οριζόντιο σχέδιο για τον υπολογισμό μιας μαγνητικής μέτρησης. Ένας μαγνητοαντεκτικός αισθητήρας είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα κατασκευασμένο από permalloy (μαγνητικές ταινίες νικελίου-σιδήρου) που αλλάζουν την ηλεκτρική αντίσταση με το εφαρμοσμένο μαγνητικό πεδίο. Μια ορθογώνια τριάδα αυτών των αισθητήρων μπορεί να μετρήσει το μαγνητικό πεδίο όπως μια πυξίδα ροής.

Οι μαγνητικές πυξίδες είναι σχετικά φθηνές και ανθεκτικές, γεγονός που τις καθιστά ελκυστικές επιλογή για υποβρύχια πλοήγηση μικρών οχημάτων. Ωστόσο, η πυξίδα είναι ευαίσθητη σε σημαντικές πηγές σφαλμάτων μέτρησης που πρέπει να κατανοηθούν και να αντιμετωπιστούν.

### Πλοήγηση Αδράνειας(IMU)

Μια άλλη παραδοσιακή μέθοδος υποβρύχιας πλοήγησης είναι η αδρανειακή πλοήγηση. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί μια ορθογώνια τριάδα αδρανειακών επιταχυνσιόμετρων για να ανιχνεύσει τις επιταχύνσεις του οχήματος κατά μήκος κάθε άξονα πλαισίου

αναφοράς.. Τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου πρέπει να διορθώνονται ώστε να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της βαρύτητας. Τα δεδομένα του γυροσκοπίου ρυθμού υποβάλλονται σε επεξεργασία για την εκτίμηση της στάσης του οχήματος (κύλιση, βήμα και κατεύθυνση). Αυτοί οι έξοδοι χρησιμοποιούνται για τη μετάφραση των ενδείξεων του επιταχυνσιόμετρου από το πλαίσιο του ιμάντα στο πλαίσιο πλοήγησης. Τα μετασχηματισμένα σήματα στη συνέχεια ενσωματώνονται για τον προσδιορισμό της ταχύτητας και της θέσης κατά μήκος κάθε άξονα πλαισίου πλοήγησης.

Το βασικό στοιχείο ενός συστήματος αδρανειακής πλοήγησης είναι η αδρανειακή μονάδα μέτρησης, η οποία περιέχει το επιταχυνσιόμετρο και ρυθμίζει τις γυροσκοπικές ορθογώνιες τριάδες. Οι έξοδοι ενός σύγχρονου IMU είναι οι μεταβολές στην ταχύτητα και τη γωνία στάσης ( $\Delta V, \Delta \theta$ ) με κάποιο σταθερό ρυθμό δειγματοληψίας. Οι σύγχρονες μονάδες IMUs είναι strapdown συσκευές στις οποίες τα επιταχυνσιόμετρα και οι γύροι ρυθμού διατηρούν τον προσανατολισμό τους σε σχέση με το άξονες του οχήματος. Ένας γύρος ρυθμού πλοήγησης είναι συνήθως ένας σχεδιασμός ring-laser ή οπτικών ινών με μεροληψία (ρυθμός μετατόπισης) περίπου 0,01 μοίρες/ώρα. Τα τελευταία χρόνια, μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα βασισμένα στα επιταχυνσιόμετρα και οι γύροι με βάση το (MEMS) έχουν βελτιωθεί σε ποιότητα και χρησιμοποιούνται για εφαρμογές πλοήγησης (Lawrence 1998, Barbour 1998).



Εικόνα 12. 1 Αδρανειακή μονάδα μέτρησης

### Ταυτόχρονη χαρτογράφηση και εντοπισμός

Η ταυτόχρονη χαρτογράφηση και εντοπισμός είναι μια σχετικά νέα προσέγγιση στην υποβρύχια ναυσιπλοΐα. Ο στόχος αυτής της μεθόδου είναι να δημιουργήσει έναν χάρτη του περιβάλλοντος και ταυτόχρονα να χρησιμοποιήσει αυτόν το χάρτη για να βοηθήσει στην πλοήγηση. Με τη μέθοδο αυτή, το όχημα κατασκευάζει έναν χάρτη ανιχνεύοντας ορόσημα με ενσωματωμένο αισθητήρα, όπως ένα σόναρ με προοπτική (FLS). Κάθε εκ νέου παρατήρηση ενός χαρτογραφημένου ορόσημο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μετατόπιση θέσης πλοήγησης. Λόγω της ανάγκης για ορόσημα, η μέθοδος αυτή είναι πιο

κατάλληλη για πλοήγηση σε περιοχές με σχετικά μεγάλη, ομοιόμορφη πυκνότητα, όπου η πιθανότητα συχνής συνάντησης ορόσημων είναι υψηλή.

Μια προσέγγιση για την ταυτόχρονη χαρτογράφηση και εντροπισμο είναι γνωστή ως στοχαστικός χάρτης. Σε αυτή τη μέθοδο, οι συντεταγμένες θέσης κάθε επαφής είναι στοιχεία εκτεταμένου διανύσματος κατάστασης φίλτρου Kalman. Η κατάσταση φίλτρου παρακολουθεί ορόσημα καθώς και την εκτιμώμενη θέση του οχήματος. Καθώς εντοπίζονται νέα ορόσημα, το διάνυσμα ενισχύεται με τις νέες συντεταγμένες των ορόσημων.

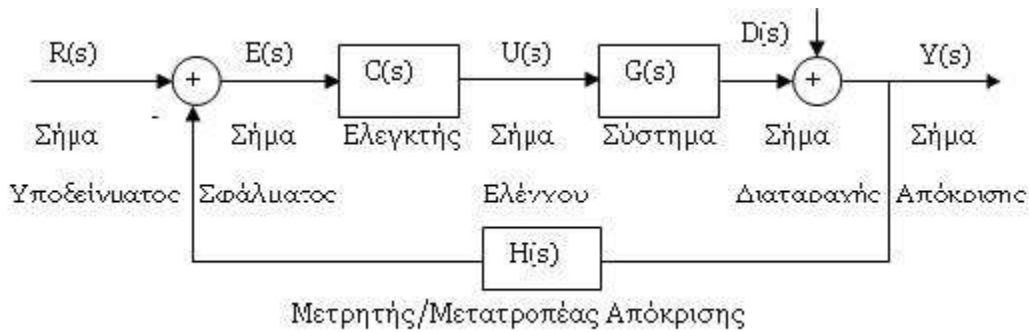
#### 4.5.4. Συστήματα ελέγχου

Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου κλειστού βρόχου ή ανάδρασης αποτελούν τυπικό στοιχείο αυτόνομου και ημιαυτόνομου υποβρύχιου οχήματος. Για παράδειγμα, ένας βρόχος ελέγχου επιτρέπει στο όχημα να ακολουθεί και να διατηρεί μια διατεταγμένη κατεύθυνση ή ένα επιθυμητό βάθος ή υψόμετρο πάνω από τον πυθμένα. Το κλειστό σύστημα ελέγχου βρόχου παράγει ένα σήμα εντολής ενεργοποιητή για το πηδάλιο, το πρυμναίο επίπεδο ή τον προωθητήρα που επιτρέπει στο όχημα να ακολουθεί την εξωτερική εντολή.

. Η πιο κλασική μέθοδος αυτόματου ελέγχου επιλέγει τις παραμέτρους αντιστάθμισης για να διαμορφώσει τη συνάρτηση μεταφοράς κλειστού βρόχου όσο χρειάζεται για την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών ελέγχου, όπως γρήγορη απόκριση (μεγάλο εύρος ζώνης), περιορισμένη ζώνη απόρριψη διαταραχής, απόρριψη θορύβου μέτρησης ή μοντελοποίηση ανθεκτικότητας (περιθώρια σταθερότητας). Ένας κλασικός αυτόματος πιλότος ελέγχου αποτελείται από έναν κανόνα ελέγχου αναλογικού-ολοκληρώματος-διαφορικού (PID) με τη μορφή,

$$\delta = K_p * e + K_i \int e dt + K_d * \dot{e}$$

όπου  $K_p$ ,  $K_i$  και  $K_d$  είναι, αντίστοιχα, τα αναλογικά, ολοκληρωτικά και διαφορικά κέρδη (σχεδιασμός παραμέτρους), και  $e$  είναι το σφάλμα ανάδρασης. Οι κλασικές μέθοδοι σχεδιασμού ελέγχου συζητούνται από D'Azzo και Houpis (1981), Ogata (1987). Η εργαλειοθήκη σχεδίασης ελέγχου MATLAB® περιέχει πολλές εύχρηστες λειτουργίες κλασικού σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της διαδραστικής λειτουργίας `sisotool()` για συστήματα μίας μονής εισόδου-εξόδου.



Εικόνα 13. 1 Παράδειγμα συστήματος αυτόματου ελέγχου

Το σχήμα περιγράφει μια ενιαία είσοδο, σύστημα μίας εξόδου, αλλά παρόμοιες αρχές ισχύουν για συστήματα πολλαπλών μεταβλητών. Το σύστημα είναι ελεγχόμενο και είναι κοινώς γνωστή ως το φυτό. Εάν το σύστημα συμπεριφέρεται σαν γραμμικό, αναλλοίωτο στο χρόνο, μπορεί να αναπαρασταθεί από μια συνάρτηση μεταφοράς μετασχηματισμού Laplace,  $G(s)$ . Ο ελεγχόμενος το σήμα,  $y$ , είναι μία από τις καταστάσεις του συστήματος, για παράδειγμα κατεύθυνση ή βάθος. Το σήμα του ενεργοποιητή – πηδάλιο, πρυμναίο επίπεδο ή προωθητής – αντιπροσωπεύεται από το  $U(s)$ . Το σήμα  $R(s)$  υποδηλώνει το εξωτερικό επιθυμητό για το  $y$ , όπως η εντολή επικεφαλίδας ή βάθους. Το σύστημα ελέγχου αποτελείται από έναν ελεγκτή,  $C(s)$  και ένα αντισταθμιστής απόκρισης,  $H(s)$ . Αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι μια σταθερά ή μια πιο σύνθετη συνάρτηση.

### Έλεγχος στρεπτικής ροής

Κατά την διαδικασία ελέγχου του χειρισμού της ρομποτικής μονάδας συνήθως χρησιμοποιείται σύστημα ελέγχου της ροπής στρέψης που δίνει την επιθυμητή κίνηση. Αυτός ο μηχανισμός έλεγχου δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα όταν τα δυναμικά τεχνικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού οχήματος είναι σαφώς ορισμένα μέσα στο σύστημα με τον μέγιστο βαθμό ακρίβειας. Αυτό οδηγεί σε μια ελεύθερη ανατροφοδότηση ενός μη-γραμμικού συστήματος.

Ο σκοπός είναι αυτά τα μη-γραμμικά συστήματα να συμπεριφερθούν ως γραμμικά έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η θεωρία γραμμικών συστημάτων στην σχεδίαση του επιθυμητού ελεγκτή. Αυτό γιατί οι ενδείξεις από την ανατροφοδότηση του συστήματος δεν έχουν την ικανότητα να αντιληφθούν τις επιδράσεις της βαρύτητας, της τριβής, την επίδραση της αδράνειας, το φαινόμενο της απώλειας ικανότητας προσανατολισμού και των φυγόκεντρων δυνάμεων που επιδρούν στο σύστημα. Η χρήση ενός δυναμικού όμως μοντέλου του τύπου *Lagrange-Euler* είναι ικανό να συμπεριλάβει τέτοιες μη-γραμμικές παραμέτρους.

### Ψηφιακός Έλεγχος



Η συνήθης πρακτική είναι η υλοποίηση των εξισώσεων του συστήματος ελέγχου σε ένα ψηφιακό υπολογιστή. Η δειγματοληψία που απαιτείται για τη μετατροπή σημάτων συνεχούς χρόνου σε διακριτά εισάγει μια αποσταθεροποιητική υστέρηση αντιστρόφως ανάλογη του ρυθμού δειγματοληψίας. Επομένως, η δειγματοληψία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ταχύτερη και συμβατή με το επιθυμητό εύρος ζώνης απόκρισης. Για τα υποβρύχια οχήματα, το εύρος ζώνης της εγκατάστασης κυμαίνεται συνήθως από 0,1 Hz έως 2 Hz, ανάλογα με το κατάσταση (βάθος, κλίση, γωνιακός ρυθμός κ. λπ. ). Ο ελάχιστος ρυθμός δειγματοληψίας ελέγχου πρέπει να είναι πέντε έως δέκα φορές γρηγορότερα από το εύρος ζώνης για να ελαχιστοποιηθεί το φαινόμενο της παραμόρφωσης δειγματοληψίας. Εάν αυτό δεν είναι δυνατόν επειδή ο υπολογιστής δεν είναι αρκετά γρήγορος, τότε τα κέρδη ελέγχου πρέπει να μειωθούν (δηλαδή, η απόκριση του ελέγχου θα πρέπει να επιβραδυνθεί) για να καταστεί το σύστημα ελέγχου συμβατό με το ρυθμό δειγματοληψίας. Το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης μετριασμού είναι ότι το όχημα αντιδρά πιο αργά και μπορεί να μην να είναι σε θέση να ελίσσεται επαρκώς σε ορισμένες συνθήκες λειτουργίας.

#### Ολοκληρωμένος Έλεγχος

Η ολοκληρωμένη ανατροφοδότηση απαιτείται σε κάθε κατάσταση όπου η θέση του ενεργοποιητή σε σταθερή κατάσταση πρέπει μην είναι μηδενική. Για τα υποβρύχια οχήματα, η ολοκληρωμένη ανατροφοδότηση είναι απαιτείται στο βρόχο ελέγχου βάθους ή ύψους. Εάν το όχημα δεν έχει τέλεια έρμα σε κάθε βάθος, το σύστημα ελέγχου θα απαιτήσει ένα μη μηδενικό πρυμναίο επίπεδο προκειμένου να διατηρήσει το διατεταγμένο βάθος. Χωρίς ολοκληρωμένη ανατροφοδότηση, η εντολή του πρυμναίου επιπέδου θα είναι μηδενική μόλις το όχημα φτάσει στο επιθυμητό βάθος. Τότε, η ανισορροπία του συστήματος περιποίησης θα αναγκάσει το όχημα να ανυψωθεί ή να βυθιστεί. Καθώς το σύστημα ελέγχου ανιχνεύει την απόκλιση βάθους, εκδίδει για ένα μη μηδενικό πρυμναίο επίπεδο μια εντολή για να επιστρέψει το όχημα στο βάθος που διατάχθηκε, και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Έτσι, χωρίς ολοκληρωμένη ανατροφοδότηση ( $K_i=0$ ) η απόκριση του ελέγχου βάθους θα τείνει να ταλαντώνεται γύρω από την εντολή βάθους.

#### Έλεγχος ολισθαίνοντος τρόπου λειτουργίας

Η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο τόσο υδροδυναμικά διαμορφωμένων αυτόνομων υποβρύχιων οχημάτων και τηλεχειριζόμενων υποθαλάσσιων οχημάτων (ROV), για τα οποία οι υδροδυναμικές δυνάμεις είναι πιο δύσκολο να προβλεφθούν. Ο ελεγκτής ολίσθησης έχει ένα γραμμικό τμήμα που μπορεί να σχεδιαστεί με οποιαδήποτε κλασική ή σύγχρονη μέθοδο, και ένα μη γραμμικό μέρος που εξαρτάται

από το μέγεθος της αβεβαιότητας στο μοντέλο της εγκατάστασης. Αυτό το χαρακτηριστικό αποδίδει αυξημένη ευρωστία για έλεγχο συστημάτων που είναι μη γραμμικά ή ανεπαρκώς μοντελοποιημένα. Η εφαρμογή του Sliding Mode ελέγχου σε υποβρύχια οχήματα με υδροδυναμικό σχήμα συζητείται από τους Cristi και Healy (1990), Healy και Leinard (1993), Willy (1994) και Fossen (2002). Για τα ROV, το έργο του Yoerger και Slotine (1985), Yoerger, Cooke και Slotine (1991), ή Slotine και Li (1991) μπορεί να είναι συμβουλευτήκε.

### Υποβρύχια ακουστική και ραντάρ

Τα ηχητικά κύματα ή τα κύματα πίεσης διαδίδονται με την ταχύτητα του ήχου,  $c$ , για το μέσο. Υπάρχουν εμπειρικοί τύποι για τον υπολογισμό της ακριβούς ταχύτητας του ήχου. Συνήθως το  $c$  είναι 1500 m/s στο θαλασσινό νερό και 1435 m/s σε γλυκό νερό. Στον αέρα το  $c$  είναι 340 m/s. Αυτά μπορούν να αλλάξουν καθώς η θερμοκρασία, η αλατότητα (για το νερό) και η πυκνότητα ποικίλλει. Για σταδιακές αλλαγές σε αυτές τις παραμέτρους, το  $c$  αλλάζει και το ηχητικό κύμα κάμπτεται ή διαθλώνται. Αυτό προκαλεί την αλλαγή κατεύθυνσης της διαδρομής διάδοσης. Το κύμα πίεσης που διαδίδεται θα λυγίσει προς τη φθίνουσα ταχύτητα του ήχου. Υπολογίζεται η γωνία διάθλασης, θεωρώντας ένα επίπεδο κύμα και μικρές αλλαγές στην ταχύτητα του ήχου, χρησιμοποιώντας μια μορφή του νόμου του Snell. Δηλαδή ότι ο λόγος  $n_2/n_1$  των δεικτών διάθλασης είναι αντιστρόφως ανάλογος με το λόγο των ταχυτήτων στα δύο μέσα και αντιστρόφως ανάλογος του λόγου των ημιτόνων των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης. Αυτό είναι σημαντικό και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη εάν επιχειρεί κανείς σε περιβάλλον, όπως οι παράκτιες περιοχές του ωκεανού, όπου η θερμοκρασία μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, ή σε περιοχές κοντά σε έξοδο γλυκού νερού όπου μπορεί να υπάρξουν μεγάλες αλλαγές στην αλατότητα.

### Αισθητήρες βάθους και υψομέτρου

Τα περισσότερα AUV εξαρτώνται από έναν αισθητήρα πίεσης κάποιου τύπου για τον προσδιορισμό του βάθους του οχήματος σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας (επιφάνεια του νερού της πισίνας). Ορισμένοι χρησιμοποιούν επιπλέον ένα ακουστικό βατόμετρο για την μέτρηση του υψομέτρου πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας. Η επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να ποικίλλει κάπως με τη δράση των κυμάτων και τον κυματισμό, ο πυθμένας μπορεί να διαφέρει σημαντικά, ακόμη και σε σχετικά μικρές

αποστάσεις. Οι χρήσιμες μετρήσεις τόσο του βάθους όσο και του υψομέτρου πρέπει να είναι επαρκώς ακριβείς και απαλλαγμένες από παρεκκλίσεις με την πάροδο του χρόνου ή/και με την αλλαγή της θερμοκρασίας.

Το βάθος υπολογίζεται συνήθως με βάση την έξοδο ενός αισθητήρα πίεσης. Κατά κανόνα, κάποιος μπορεί να υπολογίσει το βάθος στο γλυκό νερό χρησιμοποιώντας την απλή εξίσωση:

$$D = 2,3 * P$$

όπου D είναι το βάθος κάτω από την επιφάνεια του νερού και P η πίεση που μετράται σε αυτό το βάθος. Ωστόσο, υπάρχει ένας αριθμός πρόσθετων επιδράσεων πίεσης που συμβάλλουν στη συνολική μετρούμενη πίεση, και τα χαρακτηριστικά του ίδιου του αισθητήρα (όπως η συνολική εμβέλεια του αισθητήρα, η ακρίβεια ανίχνευσης, ανάλυση (για ψηφιακές μονάδες), μη γραμμικότητα, μηδενική μετατόπιση, υστέρηση, σταθερότητα στη θερμοκρασία, ολίσθηση και φαινόμενα γήρανσης) μπορεί να επηρεάσουν περαιτέρω το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Η υποβρύχια μέτρηση της πίεσης μπορεί ουσιαστικά να θεωρηθεί ως μέτρηση της πίεσης που παράγεται από το συνολικό βάρος της στάθμης του νερού πάνω από τον αισθητήρα. Η μέτρηση της πίεσης θα ποικίλλει ανάλογα με την πυκνότητα του νερού, την ατμοσφαιρική πίεση πάνω από το νερό, ακόμη και τις βαρυτικές μεταβολές (που επηρεάζουν το βάρος της στάθμης του νερού). Οι μετρήσεις της πίεσης μπορούν επίσης να επηρεαστούν από την τοποθέτηση και τον προσανατολισμό του αισθητήρα στο υποβρύχιο, ενώ, η δυναμική του οχήματος μπορεί να επηρεάσει την πίεση που ανιχνεύεται, οπότε το σύστημα ελέγχου του οχήματος και το λογισμικό θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις αυτές. Φυσικά, ορισμένοι από αυτούς τους παράγοντες έχουν σχετικά μικρότερες επιπτώσεις σε σύγκριση με άλλες, ιδίως για μικρά βάθη, αλλά όλες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν η υψηλή ακρίβεια βάθους είναι σημαντική για την απόδοση της αποστολής του AUV.

#### Υποθαλάσσια οπτική και φωτεινότητα

Το φως του περιβάλλοντος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για κάθε οπτικό σύστημα στο νερό. Η παρουσία του φωτός του περιβάλλοντος μπορεί να είναι χρήσιμο, π. χ. όταν προσπαθούμε να απεικονίσουμε ένα αντικείμενο κάτω από το νερό χωρίς να χρησιμοποιήσουμε τεχνητός φωτισμό. Ωστόσο, η παρουσία του φωτός του περιβάλλοντος μπορεί επίσης να είναι πολύ επιζήμια, π.χ. όταν προσπαθούμε να ανιχνεύσουμε τη θέση και άλλα χαρακτηριστικά μιας υποβρύχιας πηγής φωτός. Τα

υποβρύχια επίπεδα φωτισμού εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους, την ώρα της ημέρας, την ημέρα του έτους, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες της επιφάνειας, την σκίαση, το βάθος και ουσίες στο νερό. Τα επίπεδα φωτισμού του περιβάλλοντος μπορούν επίσης να αλλάξουν γρήγορα στο χώρο και στο χρόνο. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση αν ο ήλιος βρίσκεται πάνω από το κεφάλι μας μια καθαρή ημέρα και υπάρχουν επιφανειακά κύματα. Στην περίπτωση αυτή, τα επιφανειακά κύματα μπορεί να προκαλέσουν έντονη εστίαση και αποεστίαση του φωτός του περιβάλλοντος στο κάτω μέρος. Αυτά τα καυστικά μοτίβα αλλάζουν γρήγορα καθώς αλλάζει η δομή των επιφανειακών κυμάτων.

Επιπλέον, ο τεχνητός φωτισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσπαθήσει να δώσει πιο σταθερό φωτισμό από αυτόν που το φως του περιβάλλοντος μπορεί να παρέχει. Εάν χρησιμοποιείται τεχνητός φωτισμός, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες. Πρώτον, εκτός από την απορρόφηση του φωτός, το νερό και τα αιωρούμενα σωματίδια διασκορπίζουν το φως. Αυτή η σκέδαση είναι εξαιρετικά κατευθυντική, με έντονη κορύφωση τόσο στην εμπρόσθια όσο και στην κατευθύνσεις προς τα πίσω. Λόγω της ισχυρής συνιστώσας οπισθοσκέδασης, θα πρέπει να καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια για τον μέγιστο διαχωρισμό των τεχνητών πηγών φωτός από τις κάμερες. Με αυτόν τον τρόπο θα μειώνουν σημαντικά την ποσότητα του θορύβου οπισθοσκέδασης στις εικόνες.



Εικόνα 14. 1 Κάμερα για AUV

#### 4.6. Εξαρτήματα

Ύστερα από την θεωρητική ανάλυση,ας δούμε πιο αναλυτικά τα εξαρτήματα που θα χρειαστούμε για το AUV.

## 1. Σόναρ

Το σόναρ (συντομογραφία των λέξεων Sound Navigation and Ranging) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται συνήθως στα Αυτόνομα Υποβρύχια Οχήματα (AUVs) για διάφορους σκοπούς, όπως η υποβρύχια πλοήγηση, η χαρτογράφηση και η καταγραφή των περιοχών ng, και ανίχνευση αντικειμένων.

Ακολουθούν ορισμένες από τις συγκεκριμένες εργασίες που μπορεί να εκτελέσει το σόναρ σε ένα AUV:

α) Αποφυγή εμποδίων: Το σόναρ μπορεί να βοηθήσει ένα AUV να αποφύγει συγκρούσεις με υποβρύχια εμπόδια, όπως βράχους, υφάλους ή βυθισμένα πλοία. Στέλνοντας ηχητικά κύματα και αναλύοντας την ηχώ που ανακλάται, το AUV μπορεί να δημιουργήσει έναν χάρτη του περιβάλλοντος και να ανιχνεύσει πιθανούς κινδύνους.

β) Χαρτογράφηση: Το σόναρ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία χαρτών υψηλής ανάλυσης του βυθού ή υποθαλάσσιων δομών. Αναλύοντας τα μοτίβα των ηχητικών κυμάτων που ανακλώνται από τον πυθμένα ή άλλα υποβρύχια χαρακτηριστικά, ένα AUV μπορεί να δημιουργήσει έναν λεπτομερή τρισδιάστατο χάρτη της περιοχής που ερευνά.

γ) Ανίχνευση αντικειμένων: Το σόναρ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και τον εντοπισμό συγκεκριμένων υποβρύχιων αντικειμένων, όπως αγωγοί, ναυάγια ή άλλες κατασκευές.

Εμείς θα επιλέξουμε το ECHOLOGGER MRS900 το οποίο είναι ένα από τα πιο συμπαγή σόναρ απεικόνισης στην αγορά. Προσφέρει υποβρύχια απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο με χρήση ακουστικής, εικόνες υψηλής ανάλυσης με έναν πιεζο-σύνθετο ευρυζωνικό μορφοτροπέα και έχει μηχανισμό περιστροφικής σάρωσης χωρίς επαφή

**Κατασκευαστής:** Echologger

**Βάρος:** 580g(στον αέρα), 350g(στο νερό)

**Μέγιστο Βάθος:** 2.000m

**Τάση λειτουργίας και κατανάλωση:** 12 ~ 60VDC / 4W Max.

**Μέγιστο έυρος:** 60m

**Ταχύτητα σάρωσης:** 4sec / 360° @ range 5m, scan resolution 0.9°

Είσοδοι/Έξοδοι: RS232/485

Τιμή: 3.000€



Εικόνα 15. 1 Σόναρ

## 2. Αισθητήρας πίεσης και θερμοκρασίας

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV) χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων σχετικά με το υποβρύχιο περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί το AUV. Ακολουθούν λίγα περισσότερα για το τι κάνουν αυτοί οι αισθητήρες:

1. Αισθητήρες θερμοκρασίας: Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος νερού, η οποία είναι σημαντική για την κατανόηση των φυσικών ιδιοτήτων της υδάτινης στήλης. Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα του ήχου στο νερό, η οποία με τη σειρά της μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των αισθητήρων σόναρ του AUV. Τα δεδομένα θερμοκρασίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των αλλαγών στη θερμοκρασία των ωκεανών με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην έρευνα για την κλιματική αλλαγή.

2. Αισθητήρες πίεσης: Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν την πίεση του περιβάλλοντος νερού, η οποία μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το βάθος στο οποίο λειτουργεί το AUV. Τα δεδομένα πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός προφίλ της υδάτινης στήλης, το οποίο μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού σε διάφορα βάθη. Οι αισθητήρες πίεσης

μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των αλλαγών στα ωκεάνια ρεύματα ή στα πρότυπα των κυμάτων.

Τόσο τα δεδομένα θερμοκρασίας όσο και τα δεδομένα πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος πλοήγησης του AUV, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα του ήχου και την πυκνότητα του νερού. Επιπλέον, τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιστημονικές έρευνες, όπως η μελέτη της συμπεριφοράς των θαλάσσιων οργανισμών, η παρακολούθηση των ωκεάνιων ρευμάτων ή η διερεύνηση των αλλαγών στο ωκεάνιο περιβάλλον με την πάροδο του χρόνου.

Εμείς θα επιλέξουμε τον ISD4000.

**Κατασκευαστής:** Impact Subsea

**Βάρος:** 42g

**Μέγιστο βάθος:** 8000m

**Τύπος Μπαταρίας:** N/A

**Μέγεθος:** 0.08 x 0,047

**Είσοδοι/ Έξοδοι:** RS232 & RS485

**Τιμή:** 135€

**Website:** <https://geo-matching.com/bottom-pressure-gauges/isd4000-range-of-survey-grade-depth-sensors>



Εικόνα 16. 1 Αισθητήρας Πίεσης και Θερμοκρασίας

3. Σύστημα πλοήγησης αδράνειας και μέτρησης της

Το αδρανειακό σύστημα πλοήγησης (INS) αποτελεί βασικό στοιχείο ενός αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος (AUV), καθώς επιτρέπει στο όχημα να πλοηγείται αυτόνομα χωρίς την ανάγκη εξωτερικών σημάτων ή αναφορών. Το INS μετρά την κίνηση και τον προσανατολισμό του AUV σε τρεις διαστάσεις χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων και στη συνέχεια χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσει τη θέση και την ταχύτητα του AUV σε σχέση με το σημείο εκκίνησής του.

Το INS λειτουργεί με τη μέτρηση της επιτάχυνσης και της περιστροφής του AUV και την ολοκλήρωση αυτών των μετρήσεων με την πάροδο του χρόνου για τον υπολογισμό της θέσης και της ταχύτητάς του. Το INS συνήθως υποβοηθείται από άλλους αισθητήρες, όπως ένα μαγνητόμετρο για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου της Γης, έναν αισθητήρα πίεσης για τη μέτρηση του βάθους και ένα σύστημα GPS για τη λήψη στοιχείων θέσης όταν το AUV βρίσκεται στην επιφάνεια.

Το INS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλες εφαρμογές, όπως υποβρύχια χαρτογράφηση, επιθεώρηση αγωγών, ωκεανογραφική έρευνα και επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα σήματα GPS, όπως σε βαθιά νερά ή σε περιοχές με ανεπαρκή δορυφορική κάλυψη.

Μια μονάδα αδρανειακών μετρήσεων (IMU) είναι μια συσκευή που μετρά τον προσανατολισμό, την ταχύτητα και την επιτάχυνση ενός οχήματος ή αντικειμένου. Στο πλαίσιο ενός αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος (AUV), η IMU είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που βοηθά το AUV να πλοηγηθεί και να διατηρήσει τη θέση του κάτω από το νερό. Η IMU αποτελείται συνήθως από τρία επιταχυνσιόμετρα και τρία γυροσκόπια που μετρούν τη γραμμική επιτάχυνση και τη γωνιακή ταχύτητα, αντίστοιχα. Αυτοί οι αισθητήρες συχνά συνδυάζονται με μαγνητόμετρο για να παρέχουν μια πιο ισχυρή μέτρηση του προσανατολισμού του οχήματος. Τα επιταχυνσιόμετρα μετρούν τη γραμμική επιτάχυνση του οχήματος σε τρεις διαστάσεις, ενώ τα γυροσκόπια μετρούν τον ρυθμό περιστροφής γύρω από κάθε μία από αυτές τις διαστάσεις. Ολοκληρώνοντας τις ενδείξεις από αυτούς τους αισθητήρες με την πάροδο του χρόνου, η IMU μπορεί να εκτιμήσει την τρέχουσα θέση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό του οχήματος.

Συνολικά, η IMU είναι ένα βασικό στοιχείο για ένα AUV ώστε να πλοηγείται με ακρίβεια στο υποβρύχιο περιβάλλον, να διατηρεί τη θέση του και την αποφυγή εμποδίων.

Εμείς θα επιλέξουμε τον μετρητή VN-200.

**Κατασκευαστής:** VECTORNAV

**Τάση λειτουργίας:** 500 mW

**Μέγιστο Βάθος / Θερμοκρασία λειτουργίας:** -40°C έως 85 °C

**Είσοδοι/ Έξοδοι:** 1 x 72 Channel GNSS Receiver: GPS L1 C/A, Galileo E1, SBAS: L1 C/A

**Βάρος:** 16g



**Μήκος:** 11,3cm

**Είσοδοι/Έξοδοι:** RS-232

**Τιμή:** 3.200€

**Website:** <https://www.vectornav.com/store/products/gnss-ins/p/vn-200-rugged-gnssins>



**Εικόνα 17. 1 INS**

#### 4. Υδρόφωνο

Το υδρόφωνο είναι ένας τύπος αισθητήρα που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και ανάλυση ηχητικών κυμάτων στο νερό. Σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV), τα υδρόφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς, όπως η υποβρύχια επικοινωνία, η ακουστική απεικόνιση και η ανίχνευση της παρουσίας άλλων υποβρυχίων οχημάτων ή αντικειμένων.

Τα υδρόφωνα λειτουργούν μετατρέποντας τα κύματα πίεσης στο νερό σε ηλεκτρικά σήματα. Συνήθως αποτελούνται από ένα ευαίσθητο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο που παράγει ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα όταν υπόκειται σε μεταβολές της πίεσης, όπως αυτές που προκαλούνται από ηχητικά κύματα. Σε ένα AUV, τα υδρόφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη ακουστικών σημάτων από άλλα υποβρύχια οχήματα, επιτρέποντας στο AUV να επικοινωνεί με άλλα οχήματα ή να λαμβάνει εντολές από έναν απομακρυσμένο χειριστή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για υποβρύχια ακουστική απεικόνιση, η οποία μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για το υποβρύχιο περιβάλλον, όπως η θέση και η κίνηση θαλάσσιων ζώων ή η δομή του βυθού.

Συνολικά, τα υδρόφωνα είναι ένας σημαντικός αισθητήρας για τα AUV, καθώς επιτρέπουν στο όχημα να πλοηγείται, να επικοινωνεί και να εκτελεί διάφορες εργασίες στο υποβρύχιο περιβάλλον.

Εμείς θα επιλέξουμε το υδρόφωνο TC4013.

Κατασκευαστής: RESON Group

Βάρος: 75g

Μέγιστος βάθος: 700m/ -2°C to +80°C

Μέγεθος: 63mm x 7mm

Είσοδοι / Έξοδοι: : RS232

Τιμή: 1030€

Website: <http://www.teledynemarine.com/RESON>



Εικόνα 18. 1 Υδρόφωνο

### Κινητήρας

Ο κινητήρας σε ένα AUV αποτελούν σημαντικό μέρος του συστήματος πρόωσης του οχήματος. Ένα τυπικό AUV διαθέτει πολλαπλούς κινητήρες που βρίσκονται σε

διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του σώματός του, οι οποίοι του επιτρέπουν να κινείται προς διαφορετικές κατευθύνσεις και να επιτυγχάνει ακριβή έλεγχο της κίνησής του. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κίνηση του AUV προς τα εμπρός, προς τα πίσω, προς τα πάνω, προς τα κάτω και για τη στροφή ή περιστροφή του οχήματος.

Οι κινητήρες σε ένα AUV τροφοδοτούνται συνήθως με ηλεκτρική ενέργεια και ελέγχονται από έναν ενσωματωμένο υπολογιστή ή ελεγκτή. Η ποσότητα της ώθησης που παράγεται από κάθε προωθητήρα μπορεί να ρυθμιστεί σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στο AUV να πλοηγείται σε πολύπλοκα περιβάλλοντα και να εκτελεί ποικίλες εργασίες.

Ακολουθούν ορισμένοι από τους τρόπους με τους οποίους χρησιμοποιούνται οι κινητήρες στα AUV:

- Εμπρόσθια κίνηση: Η κύρια λειτουργία των κινητήρων είναι να παρέχουν κίνηση προς τα εμπρός στο AUV, επιτρέποντάς του να κινείται μέσα στο νερό με ελεγχόμενη ταχύτητα. Αυτό είναι σημαντικό τόσο για σκοπούς πλοήγησης όσο και για σκοπούς συλλογής δεδομένων.
- Διατήρηση θέσης: Οι κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διατηρήσουν το AUV σε σταθερή θέση σε σχέση με τον πυθμένα της θάλασσας ή ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εργασίες όπως η τοπογράφηση ή η επιθεώρηση, όπου το AUV πρέπει να διατηρήσει σταθερή θέση για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Αιώρηση: Οι κινητήρες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να επιτρέψουν στο AUV να αιωρείται στη στήλη του νερού σε σταθερό βάθος, κάτι που είναι χρήσιμο για εργασίες όπως η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού ή η μελέτη θαλάσσιων οργανισμών.
- Ελιγμοί: Οι κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση της θέσης και του προσανατολισμού του AUV, επιτρέποντάς του να στρίβει, να γέρνει ή να κυλιέται ανάλογα με τις ανάγκες. Αυτό είναι σημαντικό για την πλοήγηση γύρω από εμπόδια, την αποφυγή συγκρούσεων ή την προσαρμογή του προσανατολισμού του οχήματος για τη λήψη δεδομένων από συγκεκριμένες γωνίες.

Συνοπτικά, οι κινητήρες ενός AUV είναι απαραίτητοι για τον έλεγχο της κίνησης του οχήματος και για την εκπλήρωση της αποστολής του να εξερευνήσει και να μελετήσει το υποβρύχιο περιβάλλον.

Εμείς θα επιλέξουμε τον T200, έναν από τους πιο γνωστούς κινητήρες για ROV και AUV.

Κατασκευαστής: Blue Robotics

Μήκος: 11,3 cm

Διάμετρος: 10cm

Υλικά: Πολυανθρακικό, Εποξειδική, Ανοξειδωτο ατσάλι, Πλαστικό, Πολυουρεθάνη

Βάρος στον αέρα(με ένα μέτρο καλώδιο): 344g

Βάρος στο νερό(με ένα μέτρο καλώδιο):156g

Μέση τάση κατανάλωσης: 205 Watts- 645 Watts

Τιμή: 236€

Website: <https://bluerobotics.com/store/thrusters/t100-t200-thrusters/t200-thruster-r2-rp/>



Εικόνα 19. 1 Κινητήρας

## Motor Driver

Ο motor driver σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV) είναι ένα εξάρτημα που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των ηλεκτροκινητήρων που κινούν τους κινητήρες. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που λαμβάνει σήματα από τον ενσωματωμένο υπολογιστή ή το σύστημα ελέγχου του AUV και χρησιμοποιεί αυτά τα σήματα για τον έλεγχο της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των κινητήρων.

Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες του οδηγού κινητήρα σε ένα AUV:

- Έλεγχος ταχύτητας: Ο οδηγός κινητήρα επιτρέπει στον υπολογιστή ή το σύστημα ελέγχου του AUV να ρυθμίζει την ταχύτητα των κινητήρων ανάλογα με τις ανάγκες, προκειμένου να διατηρηθεί μια επιθυμητή ταχύτητα ή να γίνει ελιγμός του οχήματος με συγκεκριμένο τρόπο.
- Έλεγχος κατεύθυνσης: Ο οδηγός κινητήρα επιτρέπει επίσης στο AUV να ελέγχει την κατεύθυνση των κινητήρων, επιτρέποντας στο όχημα να στρίβει, να γέρνει ή να κυλιέται όπως απαιτείται για να προσαρμόζει τη θέση και τον προσανατολισμό του.
- Ανίχνευση σφαλμάτων: Ο οδηγός κινητήρα μπορεί επίσης να παρακολουθεί την απόδοση των κινητήρων και να ανιχνεύει τυχόν σφάλματα ή δυσλειτουργίες, όπως υπερθέρμανση ή ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στο AUV ή να θέσουν σε κίνδυνο την αποστολή του.

Συνολικά, ο οδηγός κινητήρα είναι ένα κρίσιμο στοιχείο του συστήματος πρόωσης του AUV, που επιτρέπει στο όχημα να κινείται και να ελίσσεται στο υποβρύχιο περιβάλλον με ακρίβεια και έλεγχο. Συνήθως σχεδιάζεται για να είναι ανθεκτικό και αξιόπιστο, ώστε να διασφαλίζεται ότι το AUV μπορεί να λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα σε δύσκολες συνθήκες.

Εμείς θα επιλέξουμε τον PID motor controller της Gamoto Inc.

Βάρος: 38g

Μέγεθος: 63,23mm x 44,57mm

Τάση Λειτουργίας και κατανάλωση: minimum motor supply voltage of 12V, and a maximum of 55VDC

Είσοδοι / Έξοδοι: Serial port, at 9600, 19200 or 115200 baud, RS-232 converter

Τιμή: 160€

Website: <http://www.astanadigital.com/products/Gamoto-PID-Motor-Controller/820>



Εικόνα 20. 1 Motor Driver

### Σερβοκινητήρας

Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται μερικές φορές στα Αυτόνομα Υποβρύχια Οχήματα (AUV) για συγκεκριμένους σκοπούς, όπως ο έλεγχος του προσανατολισμού ή της κίνησης μηχανικών εξαρτημάτων, όπως μια κάμερα ή ένας βραχίονας δειγματοληψίας. Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες του σερβοκινητήρα σε ένα AUV:

- Ακριβής έλεγχος: Οι σερβοκινητήρες έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ακριβή και ακριβή έλεγχο της κίνησης ενός μηχανικού εξαρτήματος, πράγμα που είναι σημαντικό σε εφαρμογές όπως η δειγματοληψία ή η επιθεώρηση, όπου απαιτείται ακριβής τοποθέτηση.
- Ανατροφοδότηση θέσης: Οι σερβοκινητήρες είναι συχνά εξοπλισμένοι με αισθητήρες που παρέχουν ανατροφοδότηση σχετικά με τη θέση και τον προσανατολισμό του μηχανικού εξαρτήματος που κινούν. Αυτό επιτρέπει στον ενσωματωμένο υπολογιστή του AUV να παρακολουθεί και να ρυθμίζει την κίνηση του εξαρτήματος ανάλογα με τις ανάγκες.
- Έλεγχος ταχύτητας και ροπής: Οι σερβοκινητήρες μπορούν επίσης να παρέχουν έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής του μηχανικού εξαρτήματος που κινούν, επιτρέποντας στο AUV να ρυθμίζει την ταχύτητα και τη δύναμη της κίνησης ανάλογα με τις ανάγκες.

- Αξιοπιστία: Οι σερβοκινητήρες σχεδιάζονται συχνά για να είναι ανθεκτικοί και αξιόπιστοι, ώστε να διασφαλίζεται η αποτελεσματική λειτουργία τους στο σκληρό και απαιτητικό υποβρύχιο περιβάλλον.

Εν κατακλείδι, η χρήση σερβοκινητήρων σε ένα AUV επιτρέπει τον ακριβή και αξιόπιστο έλεγχο της κίνησης των μηχανικών εξαρτημάτων, ο οποίος μπορεί να είναι σημαντικός για εργασίες όπως η δειγματοληψία, η επιθεώρηση ή άλλες επιστημονικές βιομηχανικές εφαρμογές. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιούν όλα τα AUV σερβοκινητήρες, καθώς η χρήση τους καθορίζεται συνήθως από τις ειδικές απαιτήσεις της αποστολής και τον σχεδιασμό του AUV.

Στο δικό μας AUV θα χρησιμοποιήσουμε τον HS-646WP.

Κατασκευαστής: HiTEC

Βάρος: 60g

Μέγεθος: 41.8mm x 21.0mm x 40.0mm

Τάση λειτουργίας και κατανάλωση: 6V – 7,4V

Τιμή: 52€

Website: <https://hitecrd.com/products/servos/digital/waterproof-digital/hs-646wp/product>



Εικόνα 21. 1 Σερβοκινητήρας

## Μητρική πλακέτα

Η μητρική πλακέτα είναι ένα κρίσιμο εξάρτημα σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV), καθώς χρησιμεύει ως κεντρικός κόμβος για όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα του οχήματος. Η μητρική πλακέτα παρέχει μια πλατφόρμα για τη σύνδεση και τη συντονισμένη συνεργασία όλων των ηλεκτρονικών συστημάτων του AUV. Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες της μητρικής πλακέτας σε ένα AUV:

- **Έλεγχος και επικοινωνία:** Η μητρική πλακέτα είναι υπεύθυνη για την παροχή πρόσβασης σε όλους τους αισθητήρες, τους ενεργοποιητές και τα άλλα ηλεκτρονικά συστήματα του οχήματος στον ενσωματωμένο υπολογιστή ή το σύστημα ελέγχου του AUV. Επιτρέπει επίσης την επικοινωνία μεταξύ του ενσωματωμένου υπολογιστή και εξωτερικών συσκευών, όπως απομακρυσμένων χειριστών ή άλλων αυτόνομων οχημάτων.
- **Επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων:** Η μητρική πλακέτα περιλαμβάνει συνήθως έναν ισχυρό επεξεργαστή και μνήμη, που της επιτρέπει να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες δεδομένων από τους αισθητήρες και τα άλλα ηλεκτρονικά συστήματα του AUV. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για εργασίες όπως η πλοήγηση, η χαρτογράφηση και η συλλογή επιστημονικών δεδομένων.
- **Διανομή ισχύος:** Η μητρική πλακέτα είναι συχνά υπεύθυνη για τη διανομή ισχύος στα διάφορα ηλεκτρονικά συστήματα εντός του AUV, διασφαλίζοντας ότι όλα έχουν πρόσβαση στην ισχύ που χρειάζονται για να λειτουργούν αποτελεσματικά.
- **Διαχείριση αισθητήρων:** Η μητρική πλακέτα μπορεί επίσης να παρέχει διεπαφές για τη σύνδεση και τη διαχείριση των διαφόρων αισθητήρων του AUV, όπως κάμερες, σόναρ ή αισθητήρες θερμοκρασίας. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα ελέγχου του AUV να παρακολουθεί και να ερμηνεύει τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο.

Η μητρική πλακέτα αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο ενός AUV, παρέχοντας την υποδομή και τη συνδεσιμότητα που απαιτούνται για το συντονισμό και τον έλεγχο των ηλεκτρονικών συστημάτων του οχήματος. Συνήθως σχεδιάζεται για να είναι στιβαρό, αξιόπιστο και ευέλικτο, ώστε να διασφαλίζεται ότι μπορεί να λειτουργεί αποτελεσματικά στο δύσκολο και δυναμικό υποβρύχιο περιβάλλον.

Εμείς θα επιλέξουμε την VIA EPIA PX10000.

Κατασκευαστής: VIA TECHNOLOGIES



Είσοδοι/Εξοδοι: 4 USB pin headers for 4 USB 2.0 ports • 1 COM port connector • 1 PS2 mouse/keyboard pin header • 1 LVDS/DVI connector • 1 Multimedia connector to support external TV-out interface, Video capture port interface and Low pin count interface (an add-on card is required) • 1 Audio pin header for line-out, line-in, mic-in, S/PDIF in, and 7.1 channels audio output • 1 Fan pin header for CPU fan • 1 Pico-iTX power connector

Μέγεθος: 10 cm x 7.2 cm

Τιμή: 195€

Website: <https://www.viagallery.com/epia-px10000/>



Εικόνα 22. 1 Μητρική πλακέτα

### Daughterboard

Σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV), η daughterboard είναι μια πλακέτα κυκλώματος που συνδέεται με την κύρια μητρική πλακέτα και παρέχει πρόσθετη λειτουργικότητα ή επεξεργαστική ισχύ. Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες μιας θυγατρικής πλακέτας σε ένα AUV:

- Διευρυμένες δυνατότητες: Οι daughterboards μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσθήκη νέων λειτουργιών ή δυνατοτήτων στο AUV, όπως πρόσθετοι αισθητήρες, διεπαφές επικοινωνίας ή επεξεργαστική ισχύς. Αυτό επιτρέπει στο AUV να εκτελεί πιο προηγμένες ή εξειδικευμένες εργασίες.
- Αρθρωτή δομή: Οι daughterboards συχνά σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι αρθρωτές, επιτρέποντας την εύκολη προσθήκη ή αφαίρεσή τους ανάλογα με τις

ανάγκες. Αυτό διευκολύνει την αναβάθμιση ή την τροποποίηση των ηλεκτρονικών και των αισθητήρων του AUV με την πάροδο του χρόνου.

- Διαχείριση πόρων: Οι daughterboards μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση των πόρων του AUV, όπως η ισχύς και η ικανότητα επεξεργασίας. Μεταφέροντας μέρος της επεξεργασίας σε μια θυγατρική πλακέτα, η κύρια μητρική πλακέτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποδοτικά.
- Επιδιόρθωση: Οι daughterboards μπορούν επίσης να παρέχουν επιδιορθωση σε περίπτωση βλάβης της κύριας μητρικής κάρτας ή άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων. Παρέχοντας ένα εφεδρικό σύστημα για κρίσιμα συστήματα, οι daughterboards μπορούν να συμβάλουν στην ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του AUV.

Η χρήση daughterboard σε ένα AUV μπορεί να ενισχύσει τις δυνατότητες του οχήματος και να παρέχει ευελιξία για την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αποστολής. Οι θυγατρικές πλακέτες χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με μια κύρια μητρική πλακέτα για να παρέχουν μια αρθρωτή και επεκτάσιμη πλατφόρμα για τον έλεγχο και το συντονισμό των ηλεκτρονικών συστημάτων του AUV.

Εμείς θα επιλέξουμε την NUCLEO-F429ZI.

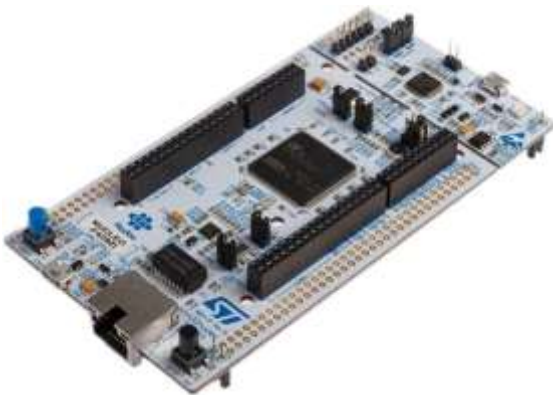
Κατασκευαστής: STMicroelectronics

Είσοδοι/Εξοδοι: SWD ◦ ST Zio expansion connector including ARDUINO® Uno V3 ◦ ST morpho expansion connector ◦ USB with Micro-AB or USB Type-C® ◦ Ethernet RJ45

Βάρος: 300g

Τιμή: 22.49€

Website: <https://gr.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/NUCLEO-F429ZI?qs=mKNKSX85ZJcE6FU0UkiXTA%3D%3D>



Εικόνα 23. 1 Daughterboard

## Gumstix και Robostix

Οι Gumstix και Robostix είναι δύο τύποι μικρών ενσωματωμένων υπολογιστών χαμηλής ισχύος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (AUV) για να παρέχουν πρόσθετη επεξεργαστική ισχύ και δυνατότητες ελέγχου. Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες αυτών των εξαρτημάτων σε ένα AUV:

- **Επεξεργαστική ισχύς:** Τα Gumstix και Robostix έχουν σχεδιαστεί για να είναι συμπαγή και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ παράλληλα παρέχουν σημαντική επεξεργαστική ισχύ. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποφόρτιση ορισμένων εργασιών επεξεργασίας από την κύρια μητρική πλακέτα, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος.
- **Έλεγχος αισθητήρων:** Το Gumstix και το Robostix μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο και τη διασύνδεση με ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων και ενεργοποιητών που χρησιμοποιούνται σε ένα AUV. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα σόναρ, κάμερες, κινητήρες και άλλες συσκευές. Παρέχοντας ειδικό έλεγχο για αυτά τα συστήματα, το Gumstix και το Robostix μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης και αξιοπιστίας του συστήματος.
- **Αυτονομία:** Το Gumstix και το Robostix μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αυτόνομη λειτουργία του AUV, παρέχοντας προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας για εργασίες όπως η πλοήγηση, η χαρτογράφηση και η αποφυγή εμποδίων.
- **Ευελιξία:** Τα Gumstix και Robostix έχουν σχεδιαστεί για να είναι αρθρωτά και ευέλικτα, επιτρέποντας την εύκολη ενσωμάτωσή τους στο ηλεκτρονικό σύστημα ενός AUV. Αυτό μπορεί να διευκολύνει την αναβάθμιση ή την τροποποίηση των ηλεκτρονικών και των αισθητήρων του AUV με την πάροδο του χρόνου.

Συνολικά, η χρήση του Gumstix και του Robostix σε ένα AUV μπορεί να προσφέρει πρόσθετη επεξεργαστική ισχύ, δυνατότητες ελέγχου και αυτονομία, οι οποίες μπορεί να είναι απαραίτητες για την επίτευξη των στόχων της αποστολής του οχήματος. Ωστόσο, η συγκεκριμένη χρήση και διαμόρφωση αυτών των εξαρτημάτων θα εξαρτηθεί από τις απαιτήσεις του AUV και τις εργασίες που έχει σχεδιαστεί να εκτελεί.

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε το Gumstix Jetson Nano/Xavier NX Snapshot Board.

Κατασκευαστής: Gumstix Inc

Είσοδοι/Έξοδοι : RJ45 Jack with Gigabit Magnetics, 2 × Micro B USB Plug, 1 × 2.0 mm 20V DC Power Jack, 2 × FTDI FT232RQ USB UART Interface, 1 × SMD Module, ESP32-D0WD, 32MBITS Flash, U.fl Connector

Τιμή: 279€

Website: <https://www.gumstix.com/manufacturer/nano-snapshot.html>



Εικόνα 24. 1 Gumstix

Επίσης θα χρησιμοποιήσουμε το Robostix ATmega128

Κατασκευαστής: Gumstix

Τάση Λειτουργίας και κατανάλωση: 2.7-5.5 V

Μέγεθος: 15.75x15.75mm

Είσοδοι / Έξοδοι: 10-bit A/D Channels

Τιμή: 140€

Website: <https://socotek.co/gumstix-robostix-board-with-extras-st0036760>



Εικόνα 25. 1 Robostix

### Αναλογικές και ψηφιακές μονάδες εισόδου/εξόδου

Οι αναλογικές και ψηφιακές μονάδες εισόδου/εξόδου είναι τα εξαρτήματα σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV) που επιτρέπουν στο όχημα να διασυνδεθεί με εξωτερικούς αισθητήρες και ενεργοποιητές. Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες αυτών των μονάδων σε ένα AUV:

- Διασύνδεση αισθητήρων: Οι αναλογικές και ψηφιακές μονάδες εισόδου/εξόδου παρέχουν στο AUV τη δυνατότητα διασύνδεσης με μια ποικιλία εξωτερικών αισθητήρων, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες πίεσης ή συστήματα σόναρ. Αυτοί οι αισθητήρες τυπικά εξάγουν αναλογικά ή ψηφιακά σήματα που οι μονάδες I/O μπορούν να ερμηνεύσουν και να επεξεργαστούν.
- Έλεγχος ενεργοποιητών: Οι αναλογικές και ψηφιακές μονάδες εισόδου/εξόδου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο εξωτερικών ενεργοποιητών, όπως κινητήρες, χειριστήρια ή άλλες μηχανικές συσκευές. Οι μονάδες μπορούν να εξάγουν αναλογικά ή ψηφιακά σήματα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της λειτουργίας αυτών των συσκευών.

- Συλλογή δεδομένων: Οι αναλογικές μονάδες εισόδου εξόδου χρησιμοποιούνται συχνά για σκοπούς συλλογής δεδομένων, επιτρέποντας στο AUV να συλλέγει αναλογικά δεδομένα από εξωτερικούς αισθητήρες. Οι μονάδες μπορούν να μετατρέψουν τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακή μορφή για επεξεργασία από τον ενσωματωμένο υπολογιστή του AUV.
- Επεξεργασία σήματος: Οι ψηφιακές μονάδες εισόδου/εξόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εργασίες επεξεργασίας σήματος, όπως φιλτράρισμα, ενίσχυση ή επεξεργασία σήματος. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των σημάτων που λαμβάνονται από εξωτερικούς αισθητήρες ή αποστέλλονται σε εξωτερικούς ενεργοποιητές.

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε το SI-MOD32xx FMC Expansion I/O Module.

Κατασκευαστής: Sheldon Instruments Inc

Τάσης λειτουργίας και κατανάλωση : 7 Watts typical with maximum configuration:  
+15Vdc@0.17A; -15Vdc@0.17A; [+5Vdc@0.12A](#);

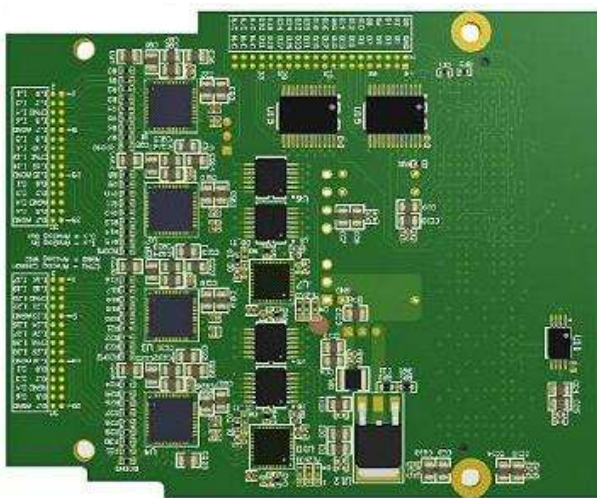
Είσοδοι/Έξοδοι: 8SE/4DE, 16SE/8DE or 32SE/16 DE Analog Inputs, 8 analog outputs,  
32 digital I/O lines

Βάρος: 85g

Διαστάσεις: 8.4cm x 6.9cm

Τιμή: 700€

Website: <https://sheldoninstruments.com/products/hardware/multifunction-io-boards/p=si-mod32xx/>



Εικόνα 26. 1 Μονάδα εισόδου εξόδου

## Απομονωμένος Μετατροπέας RS-232 σε RS-422/485

Σύμφωνα με χαρακτηριστικά των μέχρι τώρα εξαρτημάτων θα χρειαστούμε έναν μετατροπέα. Ένας απομονωμένος μετατροπέας RS-232 σε RS-422/485 είναι μια συσκευή που επιτρέπει σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV) να διασυνδεθεί με εξωτερικές συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο επικοινωνίας RS-422/485. Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες αυτού του τύπου μετατροπέα σε ένα AUV:

- **Μετατροπή σήματος:** Ο μετατροπέας επιτρέπει στο AUV να μετατρέπει το σήμα RS-232, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για επικοινωνία μικρής εμβέλειας, σε μορφή RS-422/485, η οποία έχει σχεδιαστεί για επικοινωνία μεγαλύτερης εμβέλειας μέσω καλωδίωσης συνεστραμμένου ζεύγους.
- **Απομόνωση:** Ο μετατροπέας παρέχει απομόνωση μεταξύ του AUV και της εξωτερικής συσκευής, η οποία συμβάλλει στην προστασία των ηλεκτρονικών του AUV από πιθανό ηλεκτρικό θόρυβο ή βλάβη που μπορεί να προκληθεί από την εξωτερική συσκευή.
- **Μείωση του θορύβου:** Ο μετατροπέας μπορεί να συμβάλει στη μείωση του ηλεκτρικού θορύβου που μπορεί να υπάρχει στη γραμμή επικοινωνίας, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία της επικοινωνίας.
- **Συμβατότητα:** Ο μετατροπέας επιτρέπει τη διασύνδεση του AUV με ένα ευρύ φάσμα εξωτερικών συσκευών που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RS-422/485, όπως συστήματα σόναρ, κάμερες ή άλλους αισθητήρες.

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε τον ADAM-4520.

Κατασκευαστής: Advantech

Τάση λειτουργίας και κατανάλωση: 10~30 VDC

Είσοδοι/Έξοδοι: 1 x DB9 female connector, 1 x 10-pin plug-in screw terminal

Διαστάσεις: 70 x 122 x 30 mm.

Τιμή: 86,15€

Website: <https://buy.advantech.eu/I-O-Devices-Communication/Remote-I-O-Modules-RS-485-I-O-Modules/model-ADAM-4520-F.htm>



Εικόνα 27. 1 Μετατροπέας RS-232 σε RS-422/485

## Φώτα Led

Τα φώτα LED σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV) μπορούν να εξυπηρετήσουν διάφορες λειτουργίες, όπως:

- **Πλοήγηση:** Τα φώτα LED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν το AUV να πλοηγηθεί σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή σκότους. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φωτίσουν τον πυθμένα ή άλλα χαρακτηριστικά για να βοηθήσουν το AUV να προσανατολιστεί.
- **Απεικόνιση:** Τα φώτα LED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φωτίσουν την περιοχή γύρω από το AUV, διευκολύνοντας τις κάμερες και τους αισθητήρες επί του σκάφους να καταγράφουν καθαρές εικόνες και δεδομένα.
- **Επικοινωνία:** Τα φώτα LED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή σημάτων σε άλλα AUV ή υποβρύχια συσκευές. Για παράδειγμα, μια σειρά φώτων που αναβοσβήνουν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αποστολή κωδικοποιημένου μηνύματος σε άλλα AUV.
- **Ασφάλεια:** Τα φώτα LED μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως χαρακτηριστικό ασφαλείας, καθιστώντας το AUV πιο ορατό σε άλλα υποβρύχια οχήματα ή σε ανθρώπους στην επιφάνεια.

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε το 1500 lumen subsea LED light.



Κατασκευαστής: Lumen

Βάρος στον αέρα: 118g

Βάρος στο νερό: 50g

Διαστάσεις: 78.4 mm x 37 mm

Τάση λειτουργίας/ Κατανάλωση: 7 – 48V

Μέγιστη φωτεινότητα: 1,500 lumens

Τιμή: 150€

Website: <https://bluerobotics.com/store/thrusters/lights/lumen-r2-rp/>



Εικόνα 28. 1 Φως

## Κάμερα

Η κάμερα σε ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα εξυπηρετεί διάφορες σημαντικές λειτουργίες, όπως:

- Χαρτογράφηση και τοπογράφηση: Μια κάμερα τοποθετημένη σε ένα AUV μπορεί να καταγράψει εικόνες υψηλής ανάλυσης του βυθού ή άλλων υποβρύχιων χαρακτηριστικών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία λεπτομερών χαρτών και ερευνών της περιοχής.
- Παρακολούθηση του περιβάλλοντος: Οι κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος γύρω από το AUV, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας του νερού, της αλατότητας και της παρουσίας ρύπων ή άλλων ουσιών.
- Επιστημονική έρευνα: Οι κάμερες μπορούν να καταγράφουν εικόνες της θαλάσσιας ζωής, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών, των κοραλλιών και άλλων οργανισμών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επιστημονική έρευνα και παρακολούθηση
- Επιθεώρηση και συντήρηση: Τα AUV που είναι εξοπλισμένα με κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιθεώρηση υποβρύχιων υποδομών, όπως αγωγοί ή πετρελαιοπηγές, και για τη διενέργεια εργασιών συντήρησης και επισκευής ανάλογα με τις ανάγκες.

Για την δική μας περίπτωση θα επιλέξουμε την exploreHD 2.0 Underwater Subsea ROV/AUV USB Camera.

Κατασκευαστής: DW deepwater

Μέγιστο Βάθος: 400m

Τάση λειτουργίας/ Κατανάλωση: 5V

Ανάλυση: 1920x1080

Τιμή: 279€

Website: <https://dwe.ai/products/explorehd-rov-auv-usb-camera#technical-data>



Εικόνα 29. 1 Κάμερα

### Μπαταρίες

Οι μπαταρίες αποτελούν κρίσιμο στοιχείο στα Αυτόνομα Υποβρύχια Οχήματα , καθώς παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια για τη λειτουργία του οχήματος. Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες των μπαταριών σε ένα AUV:

- Πηγή ενέργειας: Οι μπαταρίες είναι η κύρια πηγή ενέργειας για ένα AUV, παρέχοντας την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των διαφόρων συστημάτων και εξαρτημάτων του οχήματος, όπως οι κινητήρες, οι αισθητήρες και ο ενσωματωμένος υπολογιστής.
- Αντοχή: Η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στις μπαταρίες καθορίζει την αντοχή του AUV, ή πόσο καιρό μπορεί να λειτουργήσει πριν χρειαστεί να επαναφορτίσει ή να αντικαταστήσει τις μπαταρίες του.
- Κατανομή βάρους: Η τοποθέτηση και η κατανομή των μπαταριών μπορεί επίσης να επηρεάσει τη σταθερότητα και την πλευστότητα του AUV. Οι μπαταρίες τοποθετούνται συνήθως σε στρατηγικές θέσεις εντός του οχήματος για τη βελτιστοποίηση της ισορροπίας και της απόδοσής του.

- **Ασφάλεια:** Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα AUV πρέπει να επιλέγονται και να σχεδιάζονται με γνώμονα την ασφάλεια. Οι μπαταρίες που δεν έχουν σχεδιαστεί, χειριστεί ή φορτιστεί σωστά μπορεί να ενέχουν σημαντικό κίνδυνο πυρκαγιάς ή έκρηξης, ο οποίος μπορεί να είναι επικίνδυνος για το AUV και το προσωπικό που εμπλέκεται στη λειτουργία του.

Συνολικά, η χρήση μπαταριών σε ένα AUV παρέχει στο όχημα την απαραίτητη ισχύ για τη λειτουργία του, καθορίζει την αντοχή του και μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα και την ασφάλειά του. Οι συγκεκριμένες μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε ένα AUV εξαρτώνται από τις απαιτήσεις του οχήματος και της αποστολής του και πρέπει να επιλέγονται και να σχεδιάζονται προσεκτικά ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση και ασφάλεια.

Εμείς θα επιλέξουμε τις Lithium-ion Battery.

Κατασκευαστής: Blue Robotics

Βάρος: 1163g

Τάση λειτουργίας/ Κατανάλωση: 14.8V 60A Maximum Continuous Current Draw 3.8C

Διαστάσεις: 146mm x 74.2mm

Τιμή: 330€

Website: <https://bluerobotics.com/store/comm-control-power/powersupplies-batteries/battery-li-4s-15-6ah/>



Εικόνα 30. 1 Μπαταρία

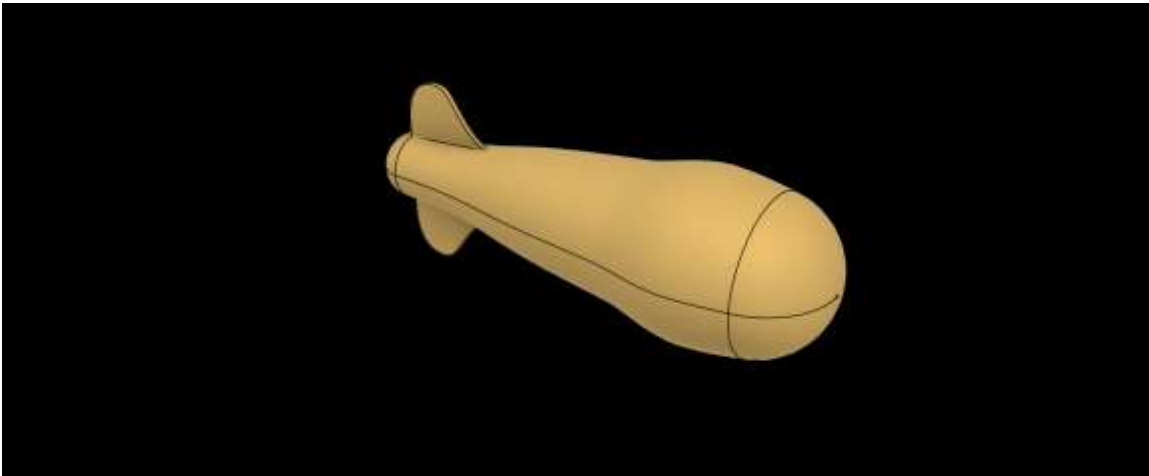
## Καλούπι

Το καλούπι ενός αυτόνομου υποβρύχιου οχήματος (AUV) είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που χρησιμεύει ως το κύριο σώμα του οχήματος, περικλείοντας όλα τα άλλα εσωτερικά εξαρτήματα και προστατεύοντάς τα από το υποθαλάσσιο περιβάλλον. Το καλούπι είναι συνήθως κατασκευασμένο από ένα υψηλής αντοχής, ελαφρύ υλικό, όπως ανθρακονήματα ή υαλονήματα, και είναι σχεδιασμένο για να αντέχει σε υψηλή πίεση και κρούση.

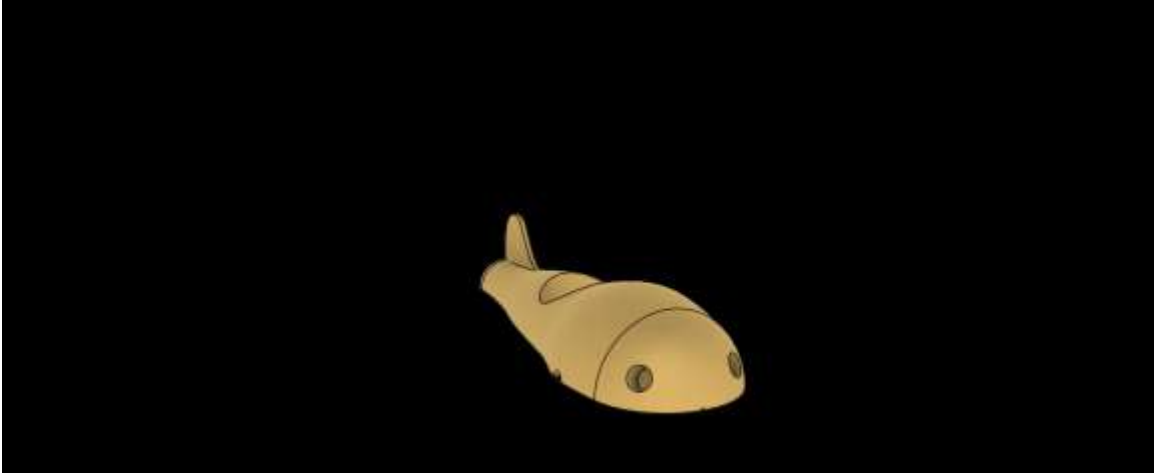
Το σχήμα του καλουπιού είναι κρίσιμο για την απόδοση του AUV, καθώς επηρεάζει την υδροδυναμική και την ευελιξία του. Το καλούπι σχεδιάζεται συνήθως με βελτιωμένο σχήμα για τη μείωση της αντίστασης και την αύξηση της ταχύτητας, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιείται η ακουστική υπογραφή του οχήματος ώστε να είναι λιγότερο ανιχνεύσιμο από άλλους υποβρύχιους αισθητήρες.

Το καλούπι περιλαμβάνει επίσης διάφορες διεισδύσεις ή ανοίγματα για εξαρτήματα όπως αισθητήρες, προωθητήρες και μονάδες μπαταριών. Αυτές οι διεισδύσεις πρέπει να σχεδιάζονται και να σφραγίζονται προσεκτικά, ώστε να αποτρέπεται η είσοδος νερού στο όχημα και η καταστροφή των εσωτερικών εξαρτημάτων. Το πάχος και η αντοχή του καλουπιού είναι επίσης κρίσιμοι παράγοντες για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η αντοχή του AUV σε υποθαλάσσια περιβάλλοντα. Το καλούπι πρέπει να αντέχει σε κρούσεις από βράχους και άλλα εμπόδια, καθώς και σε υψηλές πιέσεις σε μεγάλα βάθη.

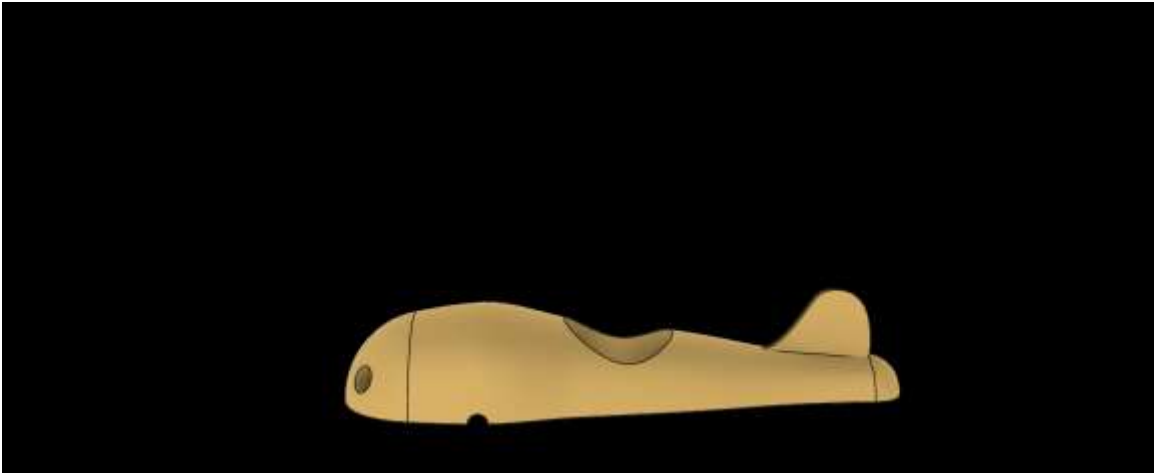
Για τον σχεδιασμό του καλουπιού εμείς χρησιμοποιήσαμε το Fusion 360.



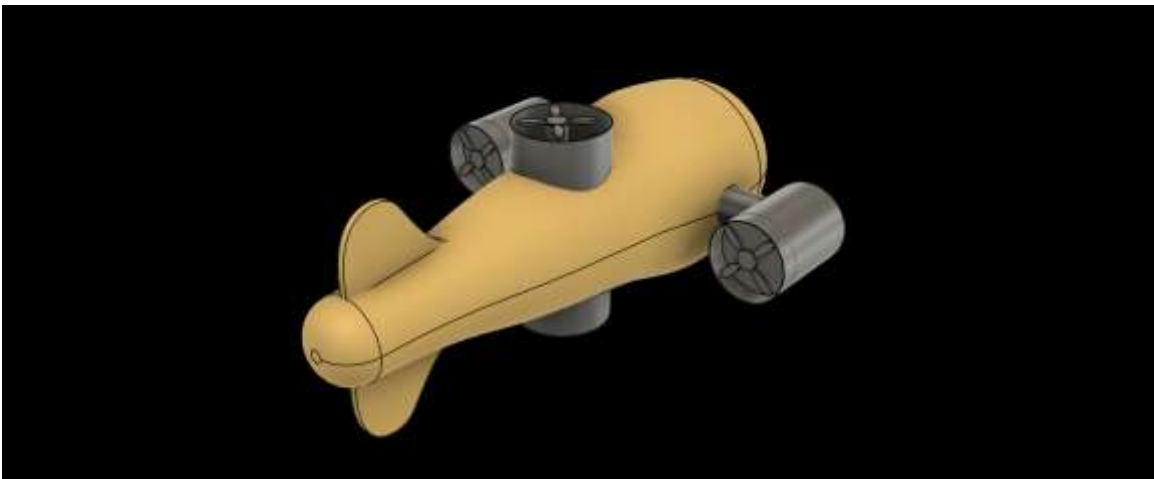
Εικόνα 31. 1 Καλούπι



Εικόνα 32. 1 Πάνω μισό του καλουπιού



Εικόνα 33. 1 Πλάγια όψη του πάνω μισού καλουπιού



Εικόνα 34. 1 Καλούπι μαζί με τους κινητήρες

## Καλώδια

### Τύποι υποβρύχιων καλωδίων

Πολλά από τα βασικά χαρακτηριστικά των υποβρύχιων καλωδίων είναι τα ίδια με εκείνα των χερσαίων (υπέργειων) καλωδίων- πρέπει να διαθέτουν επαρκή αριθμό αγωγών, κατάλληλης χωρητικότητας, για να μεταφέρουν την ενέργεια και το σήμα πρέπει να διαθέτουν επαρκή θωράκιση για την αποφυγή διασταυρούμενων παρεμβολών μεταξύ σημάτων ή παρεμβολών από εξωτερικές πηγές- και πρέπει να είναι μηχανικά αρκετά ανθεκτικά για το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται. Το πρόσθετο βασικό χαρακτηριστικό των υποβρύχιων καλωδίων είναι ότι πρέπει να κρατάτε όλο το νερό μακριά από το καλώδιο. Αν και κάποιος που αναπτύσσει AUV μπορεί να μπει στον πειρασμό να προσπαθήσει να κατασκευάσει τις δικές τους συναρμολογήσεις καλωδίων χρησιμοποιώντας έτοιμα εξαρτήματα καλωδίων και διάφορες σωληνώσεις, τα καλώδια αυτά σπάνια αποδίδουν καλά. Οι διαρροές μπορεί να είναι καταστροφικές.

Ο εξωτερικός μανδύας του καλωδίου και η εσωτερική κατασκευή των υποβρύχιων καλωδίων είναι συνήθως διαφορετικά από εκείνα των επίγειων καλωδίων. Ακόμα και μια μικρή τρύπα σε ένα καλώδιο μπορεί να παρουσιάσει ένα σημαντικό πρόβλημα διαρροής όταν το καλώδιο εκτίθεται στη σχετικά υψηλή πίεση ενός υποβρύχιου περιβάλλοντος. Τα υποβρύχια καλώδια που έχουν σχεδιαστεί για να τοποθετούνται στον πυθμένα της θάλασσας έχουν διαφορετικές μηχανικές απαιτήσεις από τα καλώδια εργασίας. Ένα καλό υποβρύχιο καλώδιο θα περιέχει ενδιάμεσα πληρωτικά υλικά για το μπλοκάρισμα του νερού, ώστε να περιορίζεται η διαρροή ή η κίνηση του νερού εντός του καλωδίου (σε περίπτωση διαρροής του μανδύα), και επαρκή αντοχή.

Τα τυπικά υποβρύχια καλώδια έχουν μανδύες από καλά δοκιμασμένα, αδιάβροχα υλικά, όπως πολυγλωροπρένιο (νεοπρένιο), πολυαιθυλένιο ή πολυουρεθάνη. Το υλικό του περιβλήματος είναι σημαντικό. ορισμένα υλικά μανδύα υποστηρίζουν καλύτερα τη χύτευση συνδέσμων ή την συγκρότηση συνδέσεων με πλεξούδες, ενώ άλλα είναι καλύτερα για χρήση με μηχανικές σφραγίδες καλωδίων. Κάποια είναι πιο ευέλικτα, ενώ άλλα είναι πολύ πιο ανθεκτικά στη φθορά από την τριβή.

Η ελαχιστοποίηση του αριθμού των υποβρύχιων συνδέσεων θα βοηθήσει στη βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας ενός υποβρύχιο σύστημα, γιατί και στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει γίνει προσπάθεια για να χρησιμοποιηθούν οι λιγότερες δυνατές.

Θα επιλέξουμε Marine Resistivity Cable.

Κατασκευαστής: Seis Tech

Ελάχιστη/Μέγιστη θερμοκρασία: -40°C ~ +70°C

Μέγιστη Τάση: 1000V

Τιμή: 20€

Website: <https://www.seis-tech.com/marine-resistivity-cable/>



Εικόνα 35. 1 Καλώδια

Στον παρακάτω πίνακα θα αναπτυχθεί το συνολικό κόστος του υποβρύχιου.

ΕΞΑΡΤΗΜΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΗ ΕΝΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Σόναρ	1	3000€	3000€
Αισθητήρας πίεσης	1	135€	135€
IMU	1	3200€	3200€
Υδρόφωνο	3	1030€	3090€
Κινητήρας	3	236€	708€
Motor driver	3	160€	480€
Servomotor	2	52€	104€
Μητρική Πλακέτα	1	195€	195€
Daughterboard	1	22.49€	22.49€
Gumstix	1	279€	279€
Robostix	1	140€	140€
I/O module	1	700€	700€
Μετατροπέας	1	86.15€	86.15€
Φώτα	2	150€	300€
Κάμερα	1	279€	279€
Μπαταρίες	4	330€	1320€



Υποδοχή μπαταριών	1	60€	60€
Κουτί κάμερας	1	60€	60€
Κουτί ηλεκτρονικών	1	150€	150€
Κουτί servomotor	3	10€	30€
καλούπι	1	500€	500€
ένωση servo thruster	2	20€	40€
Καλώδια	10	20€	200€

Το συνολικό κόστος είναι 15.078,64€

### Ασφάλεια

Η ασφάλεια είναι πάντα ένα θέμα που απασχολεί κατά το σχεδιασμό και τη δοκιμή τεχνικών συστημάτων. Είναι απαραίτητο να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο τα εξαρτήματα του οχήματος θα χειριστούν, θα αποθηκευτούν και θα ενσωματωθούν με ασφάλεια από κάποιον στο τελικό προϊόν. Σε αυτή την ενότητα, θα αναφερθούν γενικά θέματα ασφάλειας.

**Μπαταρίες:** Οι παράγοντες ασφαλείας των μπαταριών περιλαμβάνουν τον τύπο, το μέγεθος, τη φόρτιση και τις εκτιμήσεις για το σχεδιασμό του κυκλώματος.

**Προπέλες:** Η προπέλα εισάγει ζητήματα επιχειρησιακής ασφαλείας. Ο χειρισμός των ελίκων πρέπει να γίνεται με προσοχή, καθώς τα πτερύγια μπορεί να είναι αιχμηρά και ενδεχομένως να κόψουν το προσωπικό που κινείται γύρω τους. Απαιτούνται προπέλες με κάλυμμα.

**Βάση οχήματος:** Όταν εργαζόμαστε στο όχημα, είναι συχνά πιο βολικό να έχουμε μια βάση που να ταιριάζει στη φόρμα του οχήματος, μια βάση στην οποία μπορεί να καθίσει το όχημα. Η βάση κατασκευάζεται συχνά από ξύλο και έχει δύο έως τρία σημεία στήριξης κατανεμημένα κατά μήκος της ατράκτου. Μια βάση θα παρέχει ένα ασφαλές πλαίσιο στην οποία το όχημα μπορεί να αναπαύεται όταν το επισκευάζουν ή όταν είναι αποθηκευμένο.

**Συσκευασία οχήματος:** Κατά τη μεταφορά του οχήματος, μπορεί να κατασκευαστεί ένα κιβώτιο στο οποίο να μπορεί να εξασφαλιστεί η βάση. Αυτό θα παρέχει εξωτερική προστασία, καθώς και μια εσωτερική διαμορφωμένη έδρα για το όχημα. Μπορούν να τοποθετηθούν προστατευτικά υλικά γύρω από το όχημα ή να στερεωθεί η βάση όπου το όχημα είναι ελεύθερο από άλλα παραγεμισμένα στηρίγματα και συσκευασίες.

(Liam Paull; Sajad Saeedi; Mae Seto; Howard Li, 2013) ( Robert D. Christ, Robert L. Wernli, Sr., 2014) (Νικόλαος, 2008) (Blidberg, 2001) (Drtil, 2006) (Pedro Bernalte Sánchez,Mayorkinos Papaelias,Fausto Pedro García Márquez, 2020) (Cruz, 2011) (Dr. Deborah Furey,Steve Ebner,Kate Mangum,Benjamin Ruppel, 2007)

## 5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ

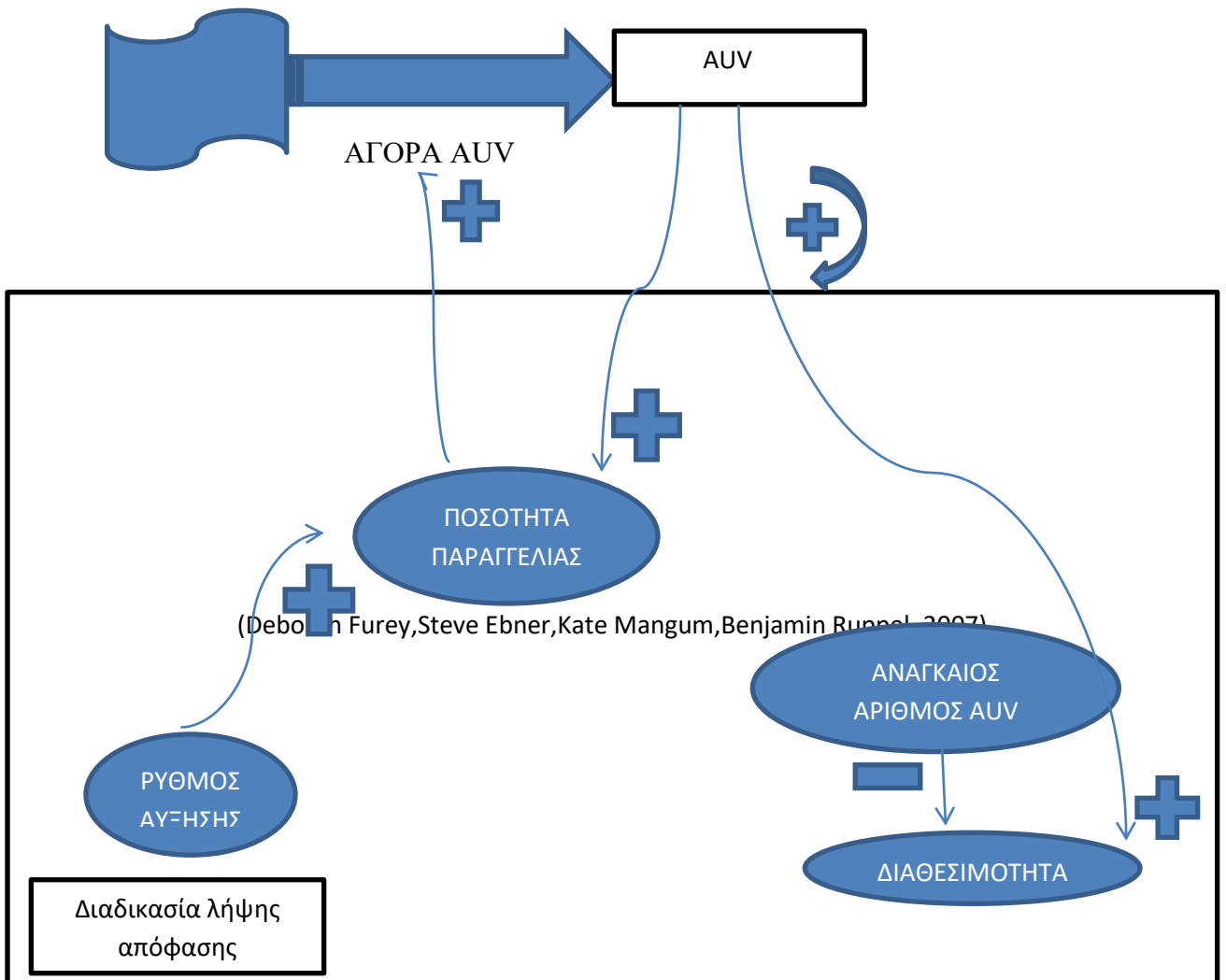
Το παρόν αυτόνομο υποβρύχιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή του βυθού. Θα μπορούσε να βοηθήσει στην έρευνα αλλά και στην φύλαξη των συνόρων παρακολουθώντας κάτω από την θάλασσα για τυχόν εισβολές υποβρυχίως. Τα ύψιστα από το συγκεκριμένο όχημα θα τα πάρουμε όταν συνεργαστεί με άλλα. Δημιουργώντας δηλαδή έναν δυναμικό στόλο οχημάτων.

Παράδειγμα1

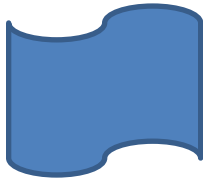
Στην πρώτη περίπτωση η διαμόρφωση του ρυθμού ανανέωσης του στόλου των οχημάτων μπορεί να προκύπτει είτε χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι χρονικές καθυστερήσεις που παρατηρούνται κατά τη διαδικασία λήψης και υλοποίησης της απόφασης αγοράς νέων οχημάτων είτε αναγνωρίζοντας αυτές τις καθυστερήσεις. Επίσης δεν θα ληφθούν υπόψη οι βλάβες και η παλαίωση των οχημάτων.

Συμπεριφορά συστήματος χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι χρονικές καθυστερήσεις

Figure 2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 1:



Όπου,



= Πηγές/ Αποδέκτες



= ΡΟΕΣ



= Θετικός βρόγχος. Το σύμβολο αυτό βρίσκεται στο μέσο ενός κλειστού βρόχου και δείχνει ότι ο βρόχος συνεχίζει να πηγαίνει στην ίδια κατεύθυνση, συχνά προκαλώντας είτε συστηματική

ανάπτυξη ή πτώση.



= Το πρόσημο (+) κοντά στο κεφάλι βέλους δείχνει ότι τα στοιχεία στην ουρά και το κεφάλι αλλάζουν προς την ίδια κατεύθυνση



= Το πρόσημο (-) κοντά στο κεφάλι του βέλους δείχνει ότι τα

στοιχεία στην ουρά και το κεφάλι αλλάζουν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Π.χ. αν το στοιχείο στην ουρά του βέλους αυξάνει, το στοιχείο στο κεφάλι του βέλους μειώνεται

Στο διάγραμμα ροής 1 η καταστατική μεταβλητή AUV περιγράφει σε κάθε χρονική στιγμή το συνολικό αριθμό των ενεργών AUV που βρίσκονται στον στόλο του οργανισμού. Με τον όρο «ενεργά AUV» εννοούμε τα AUV που είναι διαθέσιμα για χρήση κάθε χρονική στιγμή.

Η μεταβλητή AUV επηρεάζεται, δηλαδή οι τιμές της αυξάνονται με την ΑΓΟΡΑ AUV. Θεωρώντας ότι τα AUV που παραγγέλνονται μπορούν άμεσα να ενταχθούν στο ενεργό δυναμικό του στόλου η τιμή της μεταβλητής ΑΓΟΡΑ AUV ισούται με την τιμή της μεταβλητής Ποσότητα Παραγγελίας, η οποία εκφράζει το πόσα AUV θα παραγγείλουμε από τον κατασκευαστή.

Στο σύστημα παρατηρείται μια θετική ανάδραση. Έτσι χρησιμοποιώντας την τυπική μορφή της αναλογικής αύξησης μπορούμε να υπολογίσουμε την Ποσότητα παραγγελίας με τον τύπο:

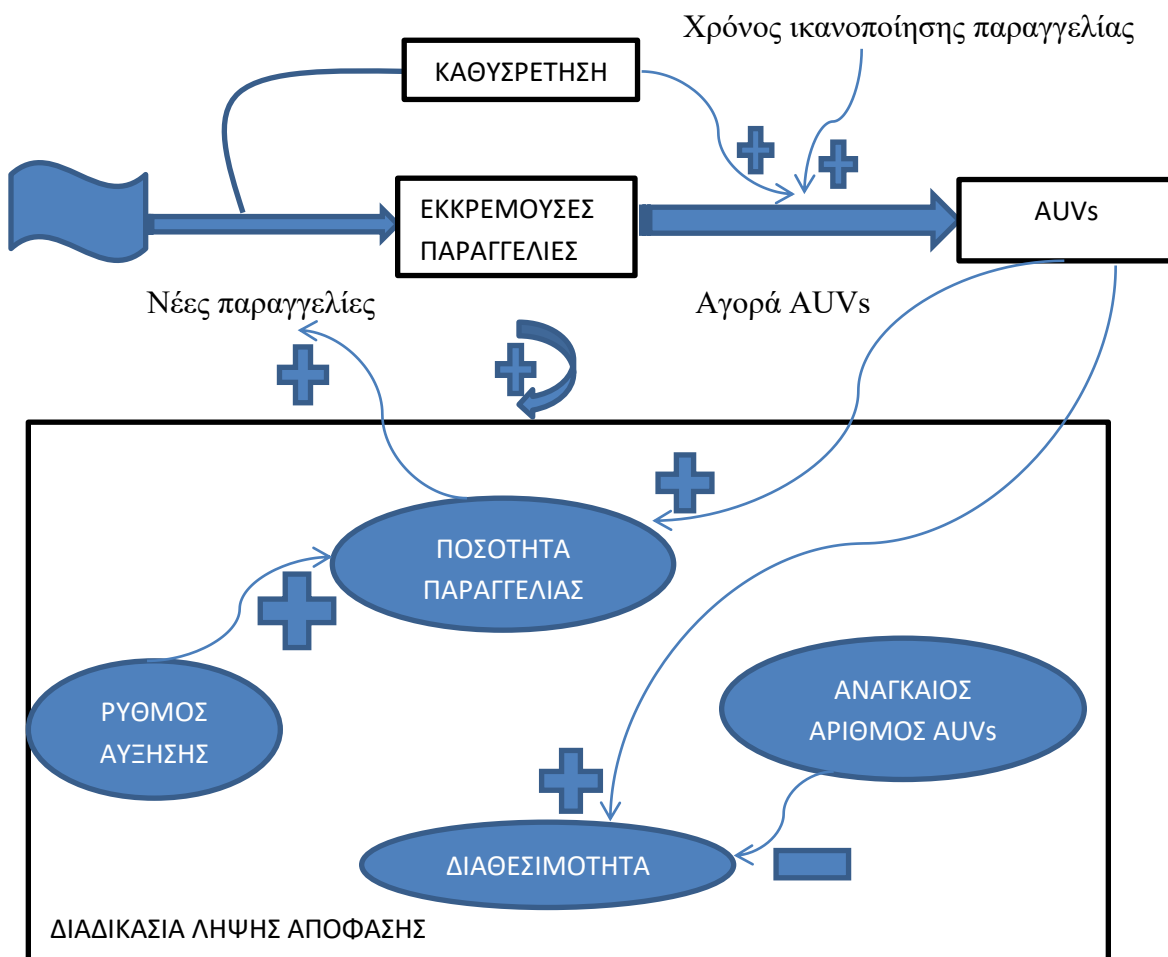
$$\text{Ποσότητα παραγγελίας} = \text{Ρυθμός Αύξησης} * \text{AUV}$$

Όπου ρυθμός αύξησης ορίζεται η τιμή αύξησης το ενεργού δυναμικού που επιθυμούμε να πετύχουμε κάθε χρόνο. Ως κριτήριο αποδοτικότητας του συστήματος θα χρησιμοποιήσουμε την διαθεσιμότητα των AUV που ορίζεται ως εξής

$$\text{Διαθεσιμότητα} = \text{AUV} / \text{Αναγκαίος αριθμός AUV} [\%]$$

Παρακάτω, θα δούμε πως διαμορφώνεται το διάγραμμα ροής εφόσον λάβουμε υπόψη τις χρονικές καθυστερήσεις που θα υπάρξουν. Η καθυστέρηση θα υπάρξει από την στιγμή που θα δοθεί η παραγγελία για AUVs μέχρι τελικώς να παραληφθούν και να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν ενεργά στον στόλο των υπολοίπων.

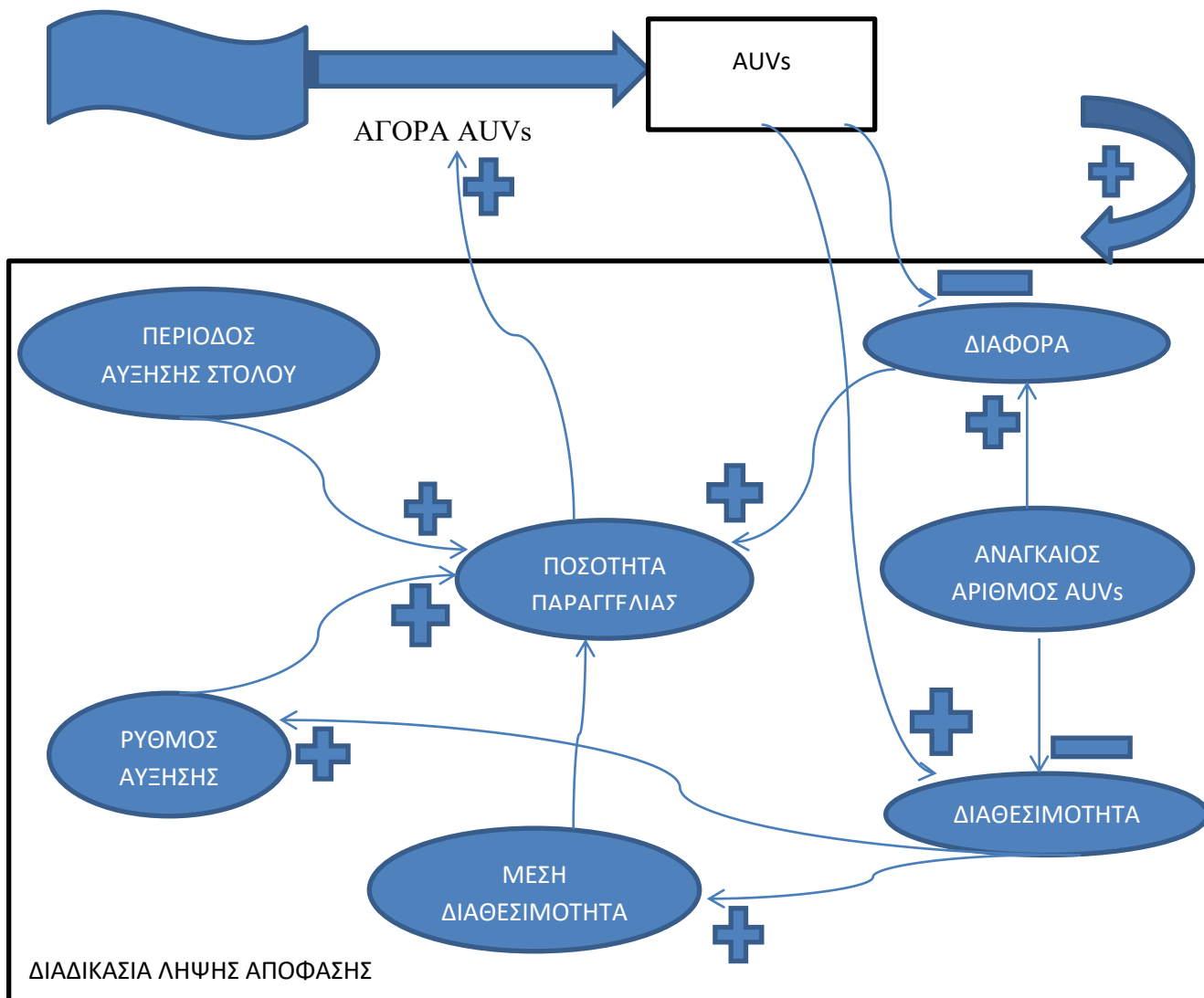
Figure 3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 2:



Τώρα, θα μελετήσουμε το ίδιο σύστημα, με τις ίδιες υποθέσεις (δηλαδή δεν λαμβάνετε υπόψη η παλαίωση του οχήματος και τα οχήματα δεν εμφανίζουν βλάβες) μόνο που η αγορά AUVs δεν θα γίνει με αναλογική αύξηση αλλά με προσαρμογή σε στόχο.

Αρχικά θα δούμε πάλι το διάγραμμα ροής αρχικά χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τις χρονικές καθυστερήσεις

Figure 4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 3



Ως μηχανισμό λήψης απόφασης θεωρούμε τον μηχανισμό της προσαρμογής σε στόχο. Συγκεκριμένα, οι τιμές του ρυθμού ΑΓΟΡΑ AUVs είναι ίσες με τις τιμές της μεταβλητής ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ που εκφράζει τον αριθμό των AUVs που

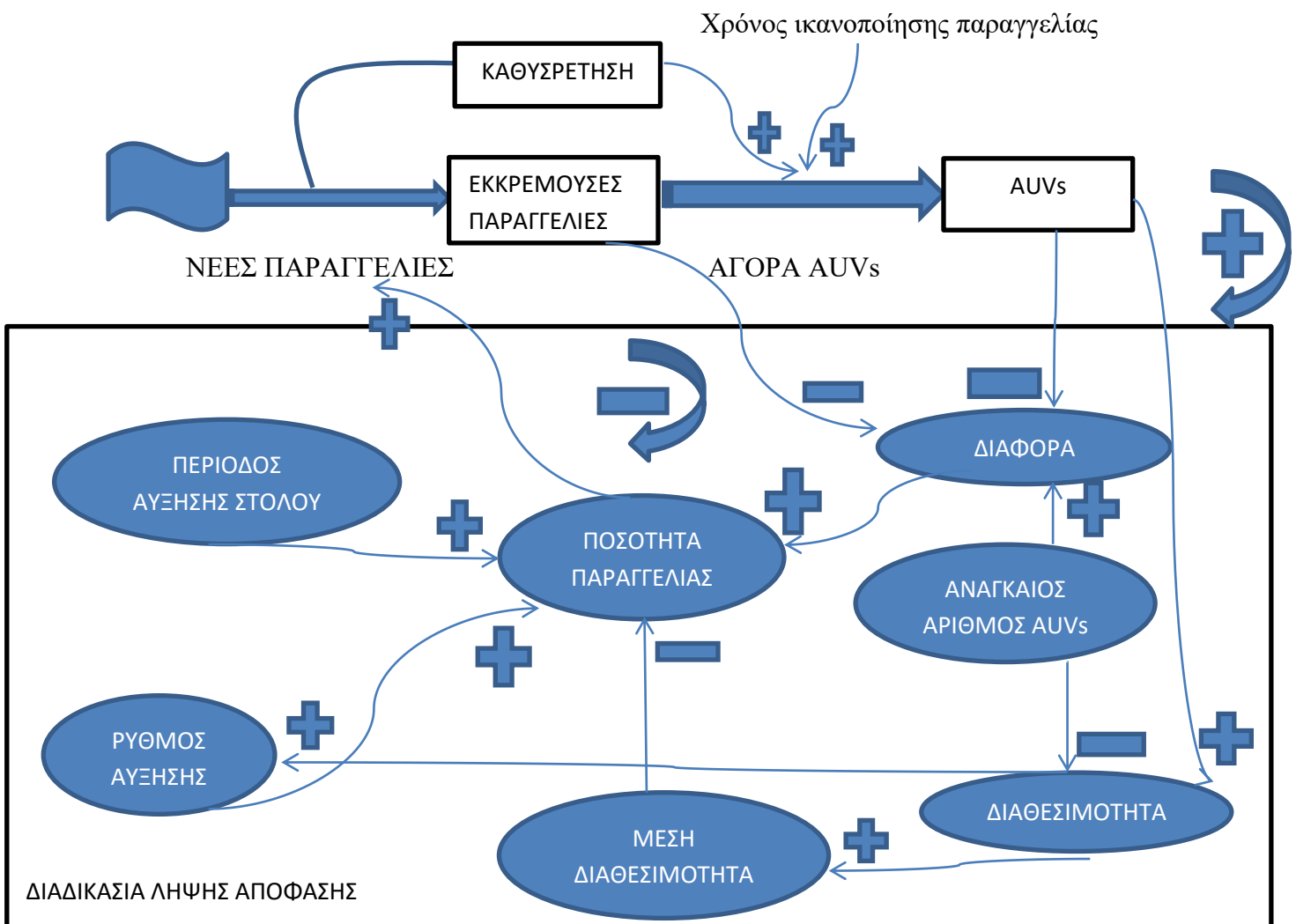
παραγγέλονται. Η παραγγελία ορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται η τιμή της διαφοράς που παρατηρείται μεταξύ του επιπέδου AUVs από την τιμή αναγκαίου αριθμού AUV, η οποία εκφράζει και τον επιθυμητό στόχο σε ότι αφορά το μέγεθος του στόλου. Πιο συγκεκριμένα, όταν η τιμή της διαφοράς είναι μηδέν τότε το μέγεθος του στόλου ισούται με την επιθυμητή τιμή. Αν θέλαμε να εκφράσουμε την σχέση αυτή με μαθηματικό τύπο θα ήταν:

$$\text{ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ} = \text{ΔΙΑΦΟΡΑ} * \text{ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ}$$

Ο ρυθμός αύξησης εκφράζει την δυνατότητα που έχει ο οργανισμός να ικανοποιεί τον αντικειμενικό του στόχο σε ότι αφορά το μέγεθος του στόλου των οχημάτων του. Πρακτικά όμως αυτό είναι δύσκολο μερικές φορές να επιτευχθεί, κυρίως για οικονομικούς λόγους. Όταν π.χ. ο αριθμός των ενεργών AUV είναι αρκετά μικρότερος από τον αναγκαίο αριθμό AUVs θα αναγκαστούμε να παραγγείλουμε πολλά οχήματα. Έτσι λοιπόν θα ήταν πιο σωστό αν ο ρυθμός αύξησης ήταν δυνατόν να προσδιοριστεί σε σχέση με την τιμή της μεταβλητής ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ.

Παρακάτω θα δούμε πως διαμορφώνεται το διάγραμμα ροής λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές καθυστερήσεις

Figure 5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 4:



### 5.1. Σύγκριση των δυο μεθόδων αγοράς οχημάτων

Όπως είδαμε παραπάνω, μελετήθηκε η δυναμική συμπεριφορά της μεταβλητής AUVs, με δυο μεθόδους πολιτικών αγοράς νέων οχημάτων.

Αρχικά με την πολιτική της αναλογικής αύξησης, είδαμε ότι ο αριθμός των AUV θα αυξάνεται χωρίς να υπάρχει κάποιο όριο. Αυτό όπως είναι λογικό θα οδηγήσει στην αγορά αρκετών οχημάτων που δεν θα είναι χρήσιμα ενώ θα σπαταλώνται και άσκοπα χρήματα.

Από την άλλη με την πολιτική της προσαρμογής σε στόχο λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες που υπάρχουν απο οχήματα. Έτσι οι παραγγελίες γίνονται πιο στοχευμένες και εξοικονομούνται χρήματα χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η λειτουργία του στόλου.

### 5.2. Διαμόρφωση διαγραμμάτων ροής με δυο πολιτικές συντήρησης των οχημάτων

Στην προηγούμενη ενότητα θεωρήθηκε ότι η διάρκεια ζωής των AUV είναι άπειρη και ότι επίσης λειτουργούν σε ιδανικές συνθήκες, χωρίς να παρουσιάζονται βλάβες. Για να φέρουμε λοιπόν το σύστημα πιο κοντά στην πραγματικότητα θα κρατήσουμε την πρώτη συνθήκη, οτι δηλαδή η διάρκεια ζωής τους είναι άπειρη αλλά θα δούμε πως θα διαμορφωθεί το σύστημα με το ενδεχόμενο των βλαβών. Θα μελετήσουμε το σύστημα με δύο πολιτικές συντήρησης,

- Συντήρηση αποκατάστασης των βλαβών
- Προληπτική συντήρηση

#### Πολιτική 1

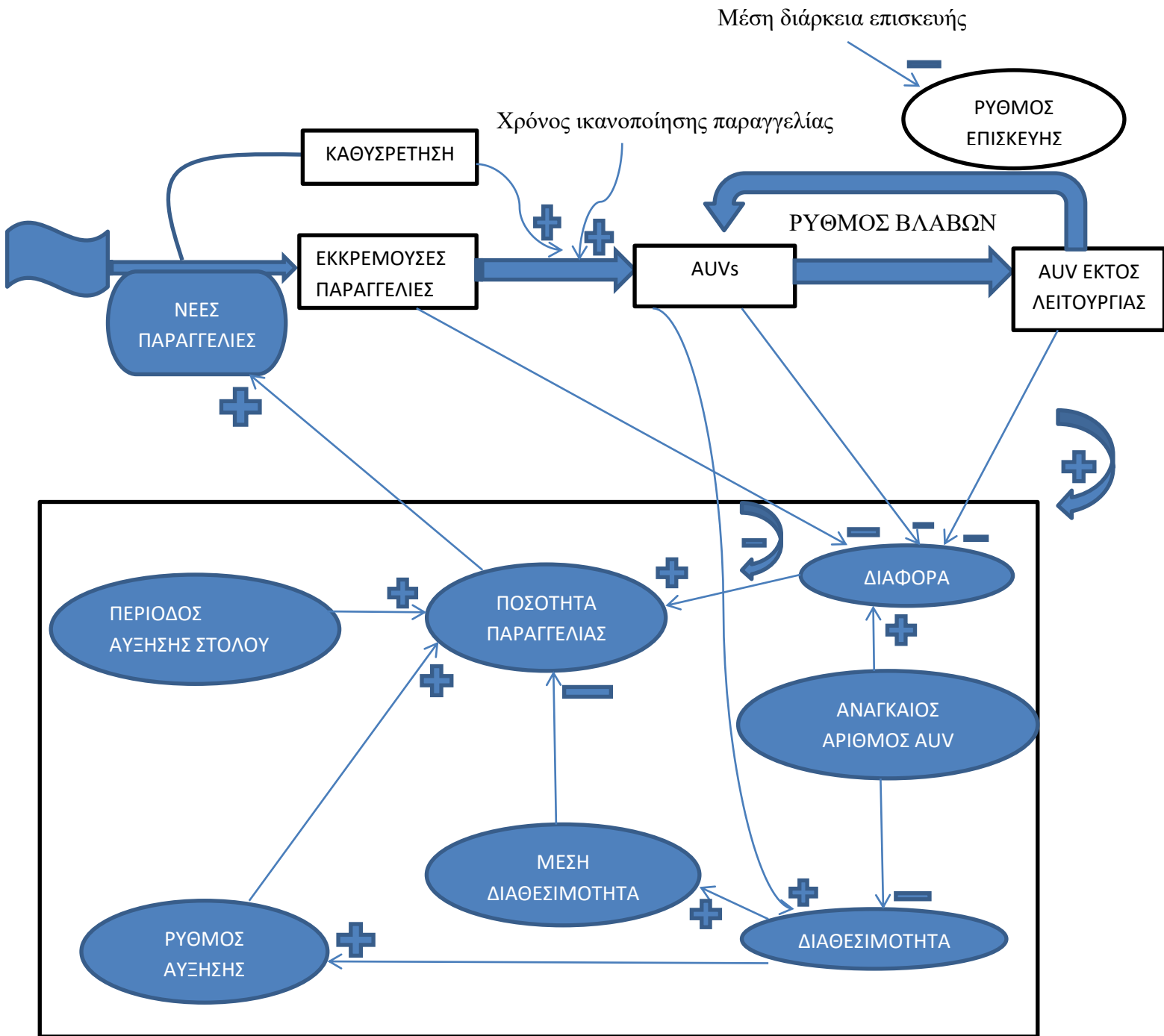
Στην συντήρηση αποκατάστασης των βλαβών, ένα AUV θα επισκευάζεται όταν παρουσιαστεί η βλάβη. Σε σχέση με τα προηγούμενα διαγράμματα ροής θα προστεθεί ο Ρυθμός Βλαβών. Μαθηματικά ο ρυθμός βλαβών ορίζεται ως,

$$f(t) = \frac{\varphi(t)}{R(t)} = \frac{\varphi(t)}{1-\Phi(t)}$$

όπου,  $\varphi(t)$  είναι η πυκνότητα πιθανότητας εμφάνισης βλαβών σε ένα AUV,  $R(t)$  είναι η αξιοπιστία του AUV και  $\Phi(t)$  η αντίστοιχη αθροιστική συνάρτηση.

Ακολουθεί το διάγραμμα ροής.

Figure 6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 5



Σε σχέση με τα προηγούμενα διαγράμματα ροής εντοπίζουμε διαφορές. Αρχικά, τα ΑUV που ακινητοποιούνται λόγω βλάβης (ΡΥΘΜΟΣ ΒΛΑΒΩΝ), μειώνουν τον αριθμό των ΑUV που βρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας και αυξάνουν τον αριθμό των ΑUV



ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ. Τα ακινητοποιημένα AUV μετά απο μια χρονική καθυστέρηση που εκφράζει την διάρκεια της επισκευής (Μέση διάρκεια επισκευής), επανέρχονται σε κατάσταση λειτουργίας (ΡΥΘΜΟΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ) και αυξομειώνουν την τιμή του επιπέδου AUV ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ. Επιπλέον θα αλλάξει και η σχέση της διαφοράς και θα διαμορφωθεί ως εξής,

Διαφορά = Αναγκαίος αριθμός AUV = - (AUV + Εκκρεμούσες παραγγελίες + AUV Εκτός λειτουργίας) [AUV] .

## Πολιτική 2

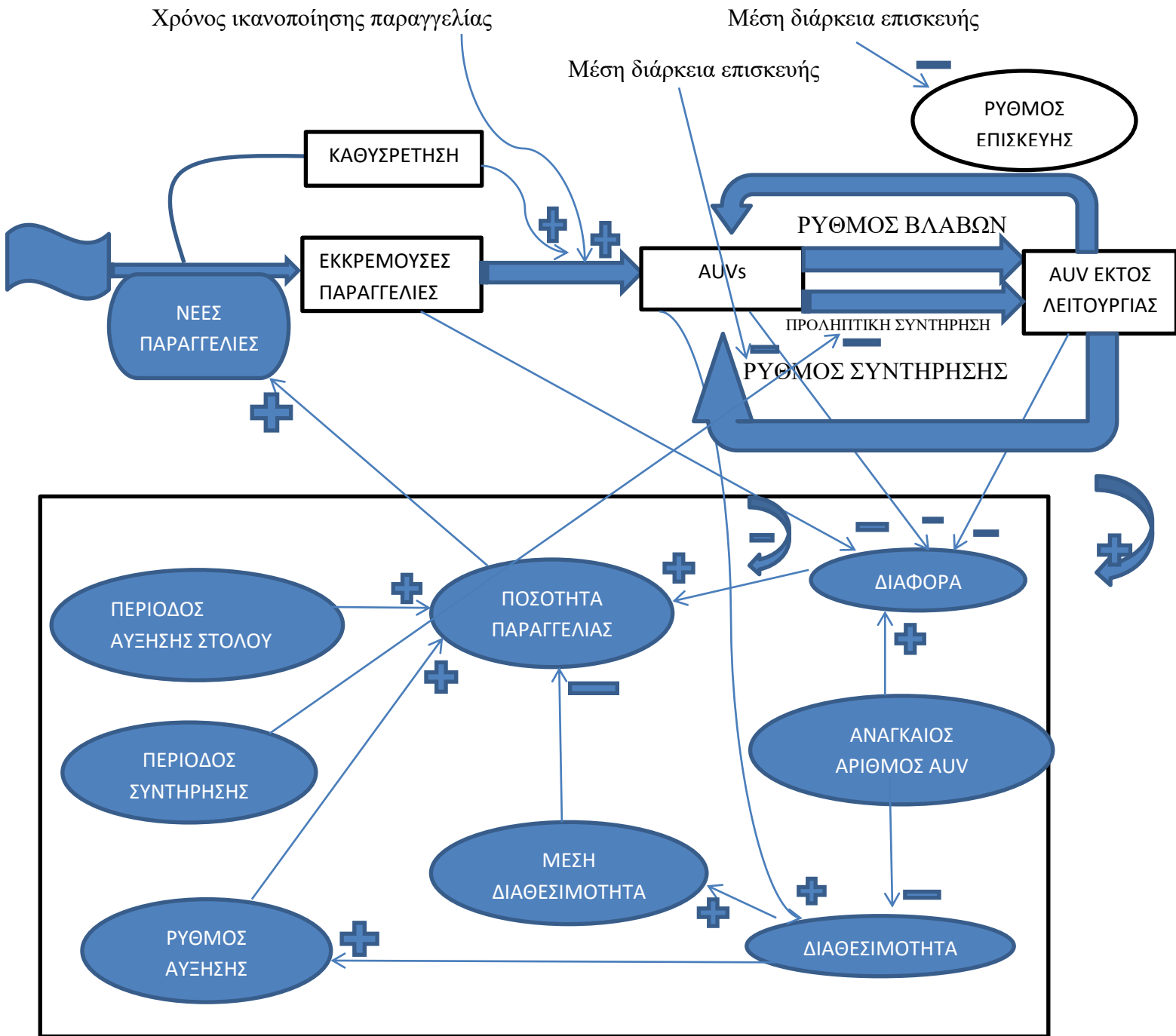
Στην Πολιτική 2 τα AUV θα επιθεωρούνται και θα συντηρούνται προληπτικά ανά προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (περίοδος συντήρησης) και όποτε εμφανίζεται βλάβη θα επιδιορθώνεται. Στο διάγραμμα ροής που θα παρουσιαστεί παρακάτω θα παρατηρήσουμε ότι τα λεωφορεία που είναι εκτός λειτουργίας πλέον θα τα επηρεάζει και η προληπτική συντήρηση. Η προληπτική συντήρηση μαθηματικά θα μπορούσε να εκφραστεί ως εξής,

$$\text{Προληπτική συντήρηση} = \frac{AUV}{\text{Περίοδος Συντήρησης}} \cdot$$

Τα AUV μετά απο το χρονικό διάστημα της συντήρησης (Μέση διάρκεια συντήρησης) επιστρέφουν στην λειτουργία (Ρυθμός συντήρησης) και έτσι αυξομειώνεται και η τιμή των AUV που είναι εκτός λειτουργίας.

Συνολικά, η τιμή των AUV που είναι εκτός λειτουργίας αυξάνεται με τις εισροές του ρυθμού βλάβης και της προληπτικής συντήρησης και μειώνεται με τις εκροές του ρυθμού επισκευής και του ρυθμού συντήρησης. Από την άλλη τα AUV αυξάνονται με την αγορά AUV, τον ρυθμό επισκευής και τον ρυθμό συντήρησης και μειώνονται με τον ρυθμό βλαβών και την προληπτική συντήρηση. Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα ροής.

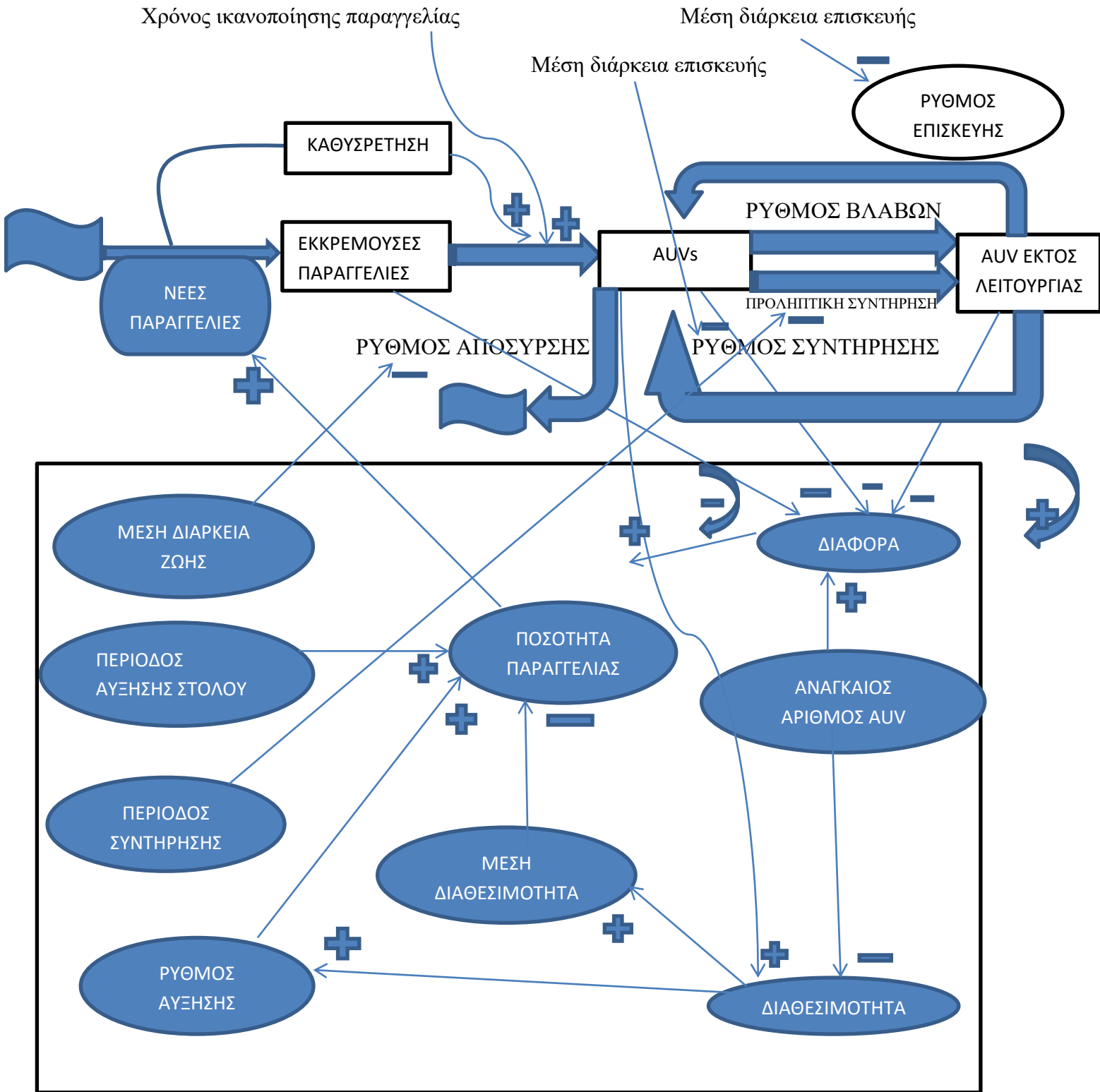
Figure 7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 6



### 5.3. Απόσυρση παλαιών οχημάτων

Στις προηγούμενες ενότητες θεωρούσαμε την ζωή των ΑUV άπειρη. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην πραγματικότητα, οπότε θα δούμε πως διαμορφώνεται το διάγραμμα ροής.

Figure 8 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ 7



Ο ρυθμός απόσυρσης εκφράζει την παλαιώση των οχημάτων και έτσι μειώνει τον αριθμό των ενεργών AUV. Ο ρυθμός απόσυρσης μαθηματικά ορίζεται ως εξής,

$$\text{Ρυθμός απόσυρσης} = \frac{AUV}{\text{Μέση διάρκεια ζωής}}$$

Ετσι λοιπόν, καταφέραμε να φέρουμε το σύστημα στην ακριβής πραγματικότητα χωρίς σενάρια.

#### 5.4.Μελέτης της οικονομικής πλευράς αύξησης στόλου

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε το σύστημά μας απο την οικονομική του πλευρά. Στις προηγούμενες ενότητες η απόφαση για να αυξηθεί ο στόλος παιρνόταν καθαρά όταν η διαθεσιμότητα των AUV είναι μικρότερη απο τον προκαθορισμένο αριθμό. Όπως καταλαβαίνουμε σε μια επιχείρηση αυτός δεν μπορεί να είναι ο μόνος παράγοντας που θα καθορίζει το πότε θα παραγγείλει καινούρια AUV. Μια επιχείρηση μακροπρόθεσμα στοχεύει στο κέρδος οπότε θα πρέπει η κάθε της επένδυση να εμπεριέχει και αυτόν τον παράγοντα. Βέβαια στην περίπτωση μας, όπου ο στόλος των AUV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την φύλαξη των συνόρων η για την έρευνα η απόφαση της οποιας επένδυσης δεν μπορεί να λαμβάνεται με μοναδικό στόχο το κέρδος. Σε αυτή την ενότητα όμως θα δούμε ένα γενικό υπόδειγμα μελέτης αύξησης/ανανέωσης του στόλου AUV με χρήση Θ.Δ.Σ. , μόνο από την πλευρά της οικονομικής σκοπιμότητας.

Θα πρέπει λοιπόν να μελετήσουμε τα στοιχεία κόστος και οφέλους. Τα στοιχεία κόστους θα αφορούν την επένδυση (αγορά νέων AUV) και στις διάφορες δαπάνες κατά την περίοδο λειτουργίας όπως κόστος συντήρησης AUV, κόστος επισκευής AUV, κόστος κίνησης AUV κ.λπ. Τα στοιχεία οφέλους αφορούν στα έσοδα που προέρχονται απο δωρεές και την μεταπώληση των AUV.

Παρακάτω θα δούμε το διάγραμμα επιρροής του καθορισμού των διαφόρων οικονομικών μεγεθών. Τα μεγέθη αυτά προσδιορίζονται ως εξής,

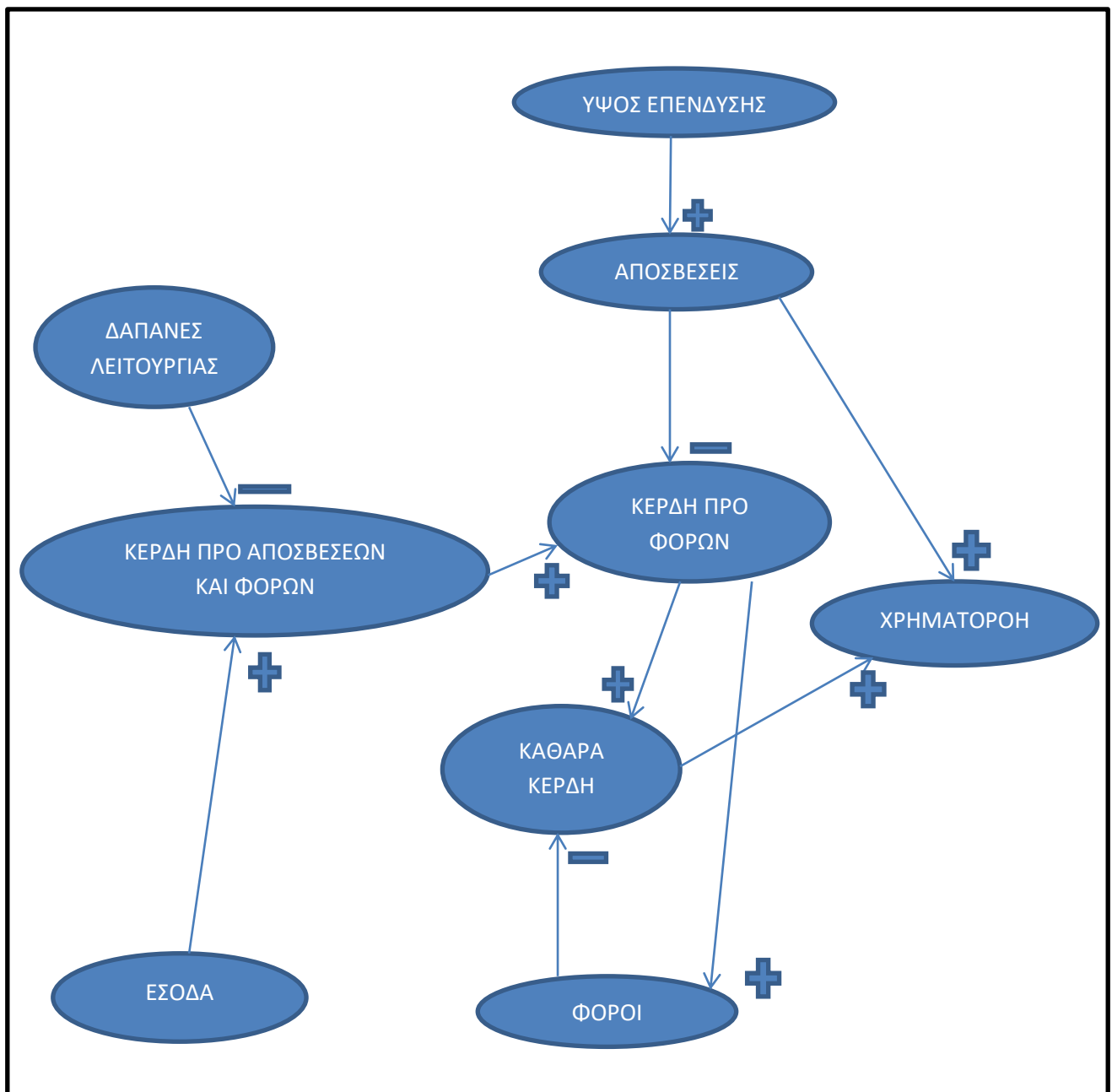
- Κέρδη προ αποσβέσεων και φόρων = Έσοδα – Δαπάνες λειτουργίας
- Κέρδη προ φόρων = Κέρδη προ αποσβέσεων και φόρων – Αποσβέσεις
- Καθαρά κέρδη = Κέρδη προ φόρων – Φόροι
- Χρηματοροή = Καθαρά κέρδη + Αποσβέσεις

Ως κριτήριο αξιολόγησης της αποδοτικότητας θα χρησιμοποιήσουμε την Κ.Π.Α. (Καθαρή Παρούσα Αξία) η οποία προσδιορίζεται ως εξής,

$$Κ.Π.Α = -A_0 + \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{(1+\rho)^i}$$

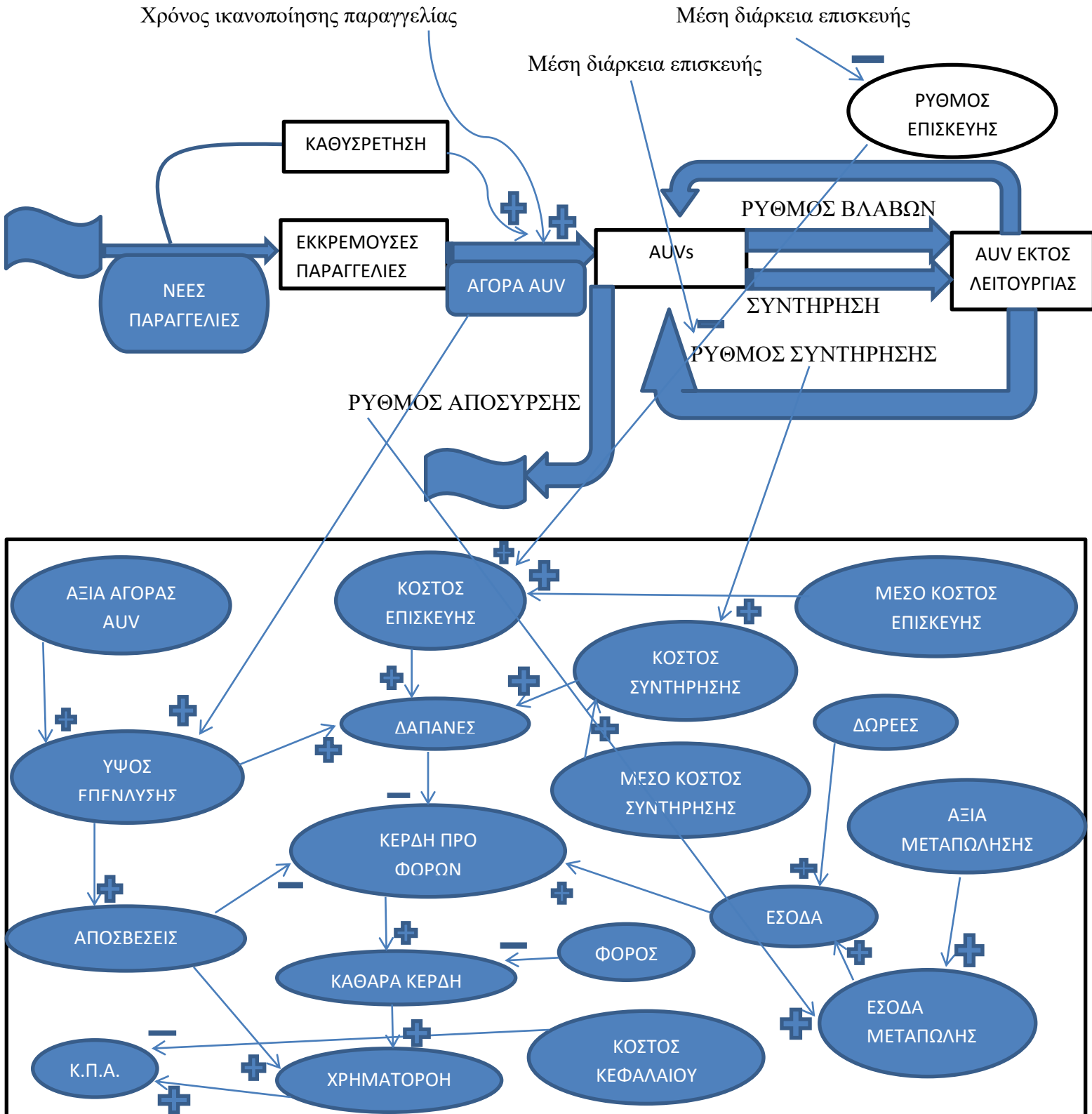
Όπου  $A_0$  είναι το ύψος της αρχικής επένδυσης,  $\rho$  το κόστος κεφαλαίου,  $X_i$  η χρηματοροή περιόδου  $i$  και  $n$  ο χρονικός ορίζοντας εξέτασης της επένδυσης. Ακολουθεί το διάγραμμα επιρροής

Figure 9 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ



Όταν η Κ.Π.Α. είναι θετική τότε η επένδυση θεωρείται οικονομικά σκόπιμη. Παρακάτω θα δούμε το διάγραμμα ροής της διαδικασίας αξιολόγησης της αποδοτικότητα της επένδυσης με χρήση Κ.Π.Α

Figure 10 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ



(ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Β. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ, ΑΔΑΜΙΔΗΣ Δ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, 2008),

## 6. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, τα Αυτόνομα Υποβρύχια Οχήματα (AUV) είναι πολύπλοκα συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε δύσκολα υποβρύχια περιβάλλοντα. Τα AUV είναι εξοπλισμένα με μια ποικιλία εξαρτημάτων, το καθένα με τις δικές του ειδικές λειτουργίες και δυνατότητες, ώστε το όχημα να μπορεί να εκτελέσει την αποστολή του. Από τους αισθητήρες που συλλέγουν δεδομένα για το περιβάλλον, τους προωθητήρες που επιτρέπουν στο AUV να κινείται μέσα στο νερό, μέχρι τους υπολογιστές και τα συστήματα επικοινωνίας που ελέγχουν και μεταδίδουν πληροφορίες, κάθε εξάρτημα παίζει κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία ενός AUV.

Η συστημική σκέψη, ο συστημικός σχεδιασμός και η συστημική δυναμική είναι όλες ισχυρές προσεγγίσεις για την κατανόηση και τη βελτίωση πολύπλοκων συστημάτων. Η συστημική σκέψη παρέχει μια ολιστική προοπτική για τα πολύπλοκα συστήματα, δίνοντας έμφαση στη σημασία της κατανόησης του συστήματος ως συνόλου και των βρόχων ανατροφοδότησης που το καθορίζουν. Ο σχεδιασμός συστημάτων βασίζεται στη συστημική σκέψη παρέχοντας μια δομημένη προσέγγιση για το σχεδιασμό και την υλοποίηση πολύπλοκων συστημάτων, με έμφαση στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος και την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Η συστημική δυναμική, εν τω μεταξύ, είναι μια συγκεκριμένη μεθοδολογία στο πλαίσιο της συστημικής σκέψης που χρησιμοποιεί μαθηματικά μοντέλα για την προσομοίωση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, με ιδιαίτερη έμφαση στις αλληλεπιδράσεις και τους βρόχους ανατροφοδότησης μεταξύ των συστατικών στοιχείων του συστήματος.

Εμείς είδαμε τον σχεδιασμό ενός AUV και μπορέσαμε μέσω της συστημικής σκέψης και της συστημικής δυναμικής να σχεδιάσουμε το πως θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένας στόλος οχημάτων. Η δυναμική συμπεριφορά του στόλου των οχημάτων είναι το αποτέλεσμα του είδους των αποφάσεων της διοίκησης. Με την μεθολογική προσέγγιση της Θ.Δ.Σ. που δείξαμε μπορεί μια διοίκηση να προσομοιώσει την συμπεριφορά του συστήματος ώστε να λάβει τις καλύτερες αποφάσεις. Ακόμα και αν όμως οι αποφάσεις αυτές δεν είναι αποδοτικές τελικά έχουμε την δυνατότητα μέσω αυτής της προσέγγισης να ανατρέξουμε και να βρούμε μέσω ποιάς απόφασης δεν είναι αποδοτικό το σύστημα.

## Βιβλιογραφία

- Robert D. Christ, Robert L. Wernli, Sr. (2014). *The ROV Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles*. ELSEVIER.
- Wendy Currie, Bob Galliers. (2003). *Rethinking Management Information Systems: An Interdisciplinary Perspective*.
- Blidberg, D. R. (2001). *The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUV)*;
- Cruz, N. A. (2011). *AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES*.
- Deborah Furey, Steve Ebner, Kate Mangum, Benjamin Ruppel. (2007). *AUVSI/ONR ENGINEER PRIMER DOCUMENT FOR THE*.
- Dr. Deborah Furey, Steve Ebner, Kate Mangum, Benjamin Ruppel. (2007). *AUVSI/ONR Engineering Primer Document for the Autonomous Underwater Vehicle (AUV)*.
- Drtil, M. (2006). *Electronics and sensor design of an Autonomous Underwater*.
- John Darzentas, J. D. (2014). *Systems Thinking in Design: Service Design and self-Services*.
- John Pourdehnad, Erica R. Wexler, Dennis V. Wilson. (2011). *Systems & Design Thinking: A Conceptual Framework for Their*.
- Liam Paull; Sajad Saeedi; Mae Seto; Howard Li. (2013). *AUV Navigation and Localization: A Review. IEEE Journal of Oceanic Engineering*.
- Lobontiu, N. (2010). *System Dynamics for Engineering Students: Concepts and Applications*.
- Pedro Bernalte Sánchez, Mayorkinos Papaelias, Fausto Pedro García Márquez. (2020). *Autonomous underwater vehicles: Instrumentation and measurements*.
- Ross D. Arnold\*, Jon P. Wade. (2015). *A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach*.
- Shepherd, S. (2014). *A review of system dynamics models applied in transportation*.
- ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Β. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ, ΑΔΑΜΙΔΗΣ Δ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ. (2008). *ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΗ. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ*.
- Νικόλαος, Γ. (2008). *ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ*.



