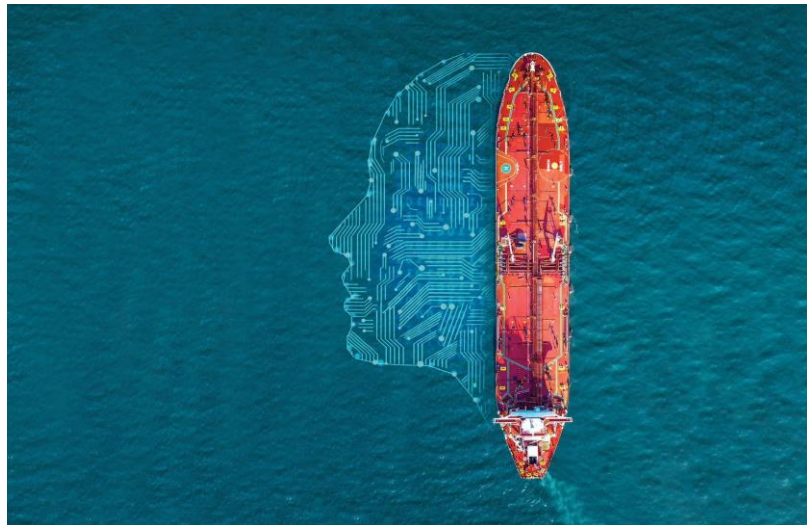




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : “ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ BALLAST WATER SYSTEM
(BWS) ΜΕ ΕΛΕΓΚΤΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ”**



Σπουδαστής : ΒΛΑΧΟΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Αριθμός Μητρώου : 47508

Επιβλέπων : ΖΑΧΑΡΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2023

THESIS
"MODELISE OF BALLAST WATER SYSTEM WITH FUZZY LOGIC CONTROLLER"

Student : VLACHOS NEKTARIOS ANASTASIOS

A.M : 47508

Supervisor : ZACHARIA PARASKEVI

PEIRAEUS 2023

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή :

ΖΑΧΑΡΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ Επίκουρη Καθηγήτρια	
ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ Καθηγητής	
ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΒΡΑΑΜ Λέκτορας Εφαρμογών	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βλάχος Νεκτάριος του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου 47508 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της 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 Δηλών



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σημερινή εποχή , στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης και του αυτοματισμού η έννοια της ασαφούς λογικής έχει εισβάλλει σε μεγάλο βαθμό . Η ασαφής ανάλυση και τα ευφυή συστήματα ασαφούς λογικής είναι μια σημαντική εφαρμογή στην προσπάθεια μας να μοντελοποιήσουμε έννοιες του πραγματικού κόσμου αλλά και να μεταβαίνουμε σε έννοιες βαθμιαία και όχι υιοθετώντας την δυαδική λογική που επικρατούσε μέχρι μια εποχή. Πλέον η ασαφής θεωρία έχει γίνει επιστήμη και ένας από τους τομείς που εφαρμόζεται είναι ο αυτόματος έλεγχος . Μέσω αυτής της μελέτης θα γίνει προσπάθεια για την μοντελοποίηση της λειτουργίας ενός συστήματος που χρησιμοποιείται σε φορτηγά πλοία σε δεξαμενόπλοια και σε επιβατηγά πλοία κατά την διάρκεια της φόρτο-εκφόρτωσης τους και είναι καθοριστικό στην διατήρηση της ευστάθειας του πλοίου αλλά και της ασφαλούς πλεύσης αυτού . Η διεργασία που επιτελεί το σύστημα ονομάζεται ballasting ή de-ballasting και επιτελείται μέσω ενός κυκλώματος σωληνώσεων νερού , αντλιών , βαλβίδων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων . Το σύστημα που θα αναλύσουμε ονομάζεται Ballast Water System (BWS)

ABSTRACT

Nowadays fuzzy logic technology is very significant in the field of artificial intelligence, programming and automation technology . Fuzzy analysis and intelligent fuzzy logic systems are a major tool in our effort to model real-world concepts but also to process input and output data incrementally rather than adopting the binary logic that prevailed until a time ago. Now fuzzy theory has become a science and one of the scientific fields is applied is automatic control . We, through this work, will try to model the automatic operation of a system used in cargo ships, tankers and passenger ships during the loading and unloading of their cargo. This system is responsible for to maintain the stability in the ship and to provide safe sailing for the ship . The process is called ballasting or de-ballasting and is carried out by a complex system of a water circuit , water pumps , valves and controllers. The system that it is analyzed through this work is called Ballast Water System (BWS)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
○ 1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ.....	4
○ 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 BALLAST WATER SYSTEM.....	5
○ 2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	5
▪ 2.1.1 BALLAST WATER SYSTEM.....	6
▪ 2.1.2 BALLAST WATER TREATMENT.....	10
○ 2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ – OPERATION.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ.....	17
○ 3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	17
○ 3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ.....	18
▪ 3.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΜΑΜΔΑΝΙ.....	20
▪ 3.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΤΑΚΑΓΙ-SUGENO	21
○ 3.3 ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ.....	22
▪ 3.3.1 ΟΦΕΛΗ/ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ.....	24
▪ 3.3.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ (FLC).....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΑΤΛΑΒ – FUZZY TOOLBOX KIT.....	28
○ 4.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	28
○ 4.2 ΞΕΝΑΓΗΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΧΡΗΣΤΗ.....	31
▪ 4.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΟΥ – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	34
○ 5.1 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.....	35
○ 5.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΣΟΔΩΝ / ΕΞΟΔΩΝ.....	35
○ 5.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ.....	36
○ 5.4 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	38
○ 5.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	45

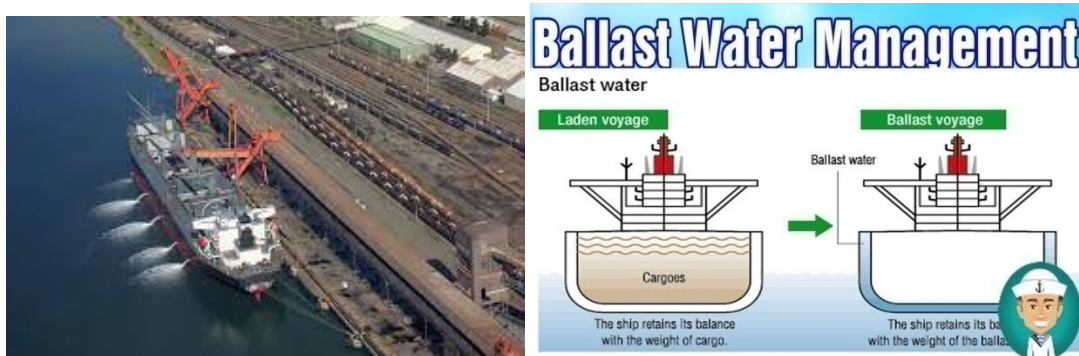
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Θα ξεκινήσουμε την διπλωματική αυτή εργασία αναλύοντας το έρμα και την χρησιμότητά του στα πλοία . Μπορούμε να ορίσουμε ως έρμα το θαλασσινό νερό που εισρέει και απορρέει από τα πλοία για τον έλεγχο της ευστάθειας του και την διατήρηση του βυθίσματος τους . Το θαλασσινό νερό εισρέει μέσω ενός συστήματος αντλιών σε ειδικές δεξαμενές (ballast tanks) με την διαδικασία αυτή να ονομάζεται ερματισμός και απορρέει από αυτές με την διαδικασία να ονομάζεται αφερματισμός .

Το σύστημα αντλιών με το οποίο επιτυγχάνεται ο ερματισμός και ο αφερματισμός αλλά και η επεξεργασία του θαλασσινού νερού την οποία θα αναλύσουμε αργότερα ονομάζεται Ballast Water Monitoring System και αποτελεί μια από τις σημαντικότερες διεργασίες σε ένα πλοίο . Η διεργασία αυτή επιτελείται σε παντός είδους εμπορικά πλοία αλλά και σε επιβατηγά πλοία και αποτελεί τόσο σημαντική διεργασία καθώς ο έλεγχος της ευστάθειας του πλοίου είναι απαραίτητος για την ασφαλή πλεύση αυτού αλλά και την ασφάλεια κατά την διαδικασία της φορτοεκφόρτωσης τους.

Το σύστημα Ballast Water Monitoring (BWM) είναι ένα σύνθετο σύστημα που αποτελείται από αντλίες εισροής και εκροής , βαλβίδες , σταθμούς επεξεργασίας του θαλασσινού νερού, ηλεκτρικά κυκλώματα και συστήματα αυτοματισμού τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω στην μελέτη . Χειρίζεται και παρακολουθείται από μέλη του πληρώματος της γέφυρας και της μηχανής ωστόσο ανά τα χρόνια με τις νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στη ναυτιλία βελτιστοποιείται και όχι μόνο αυτοματοποιείται αλλά οδεύει προς τον πλήρη αυτοματισμό . Η αυτοματοποιημένη λειτουργία του συστήματος αυτού είναι και το θέμα που θα μας απασχολήσει στην μελέτη αυτή .



Εικόνα 1.1 (αριστερά) : Αφερματισμός πλοίου

Εικόνα 1.2 (δεξιά) : Ερματισμός (ballast) κατά την διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου ²

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

Ο σκοπός μας στην άσκηση αυτή είναι να αναλύσουμε το σύστημα Ballast Water System (BWS) και να μοντελοποιήσουμε τη λειτουργία του με τη δημιουργία ενός ελεγκτή ασαφούς λογικής . Αυτό που θέλουμε να επιτύχουμε είναι ο έλεγχος ροής του νερού έρματος για την πλήρωση των δεξαμενών του πλοίου βάση κάποιων καταστάσεων και κάποιων συνθηκών με έναν ελεγκτή ασαφούς λογικής .

Αναλυτικότερα θα επεξηγήσουμε το σύστημα αυτό , από τι δομικά μέρη αποτελείται , την αρχή λειτουργίας του και τα 2 βασικά μέρη στα οποία διαχωρίζεται τα οποία είναι το Ballast Water Monitoring και το Ballast Water Treatment . Όσον αφορά τη δημιουργία του ελεγκτή ασαφούς λογικής αρχικά θα επεξηγήσουμε τον όρο ασαφής λογική και θα αναλύσουμε την χρησιμότητα και την σημασία του όρου αυτού για τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα . Την μοντελοποίηση της λειτουργίας του BWS θα την επιτύχουμε δημιουργώντας ένα πρόγραμμα ασαφούς λογικής με απλές λογικές συνθήκες χωρίς αυστηρή γλώσσα προγραμματισμού και σύνταξη , που είναι και το προτέρημα της ασαφούς λογικής , και θα το αναπτύξουμε με την πλατφόρμα του MATLAB και συγκεκριμένα με το Fuzzy Toolbox Kit πρόγραμμα το οποίο θα επεξηγήσουμε αναλυτικά . Στόχος μας είναι ο αυτοματοποιημένος έλεγχος ροής του Ballast Water System (BWS) . Αυτό που θέλουμε να επιτύχουμε είναι στην ουσία η διαδικασία της ερμάτωσης – αφερμάτωσης να ελεγχθεί όχι από τον αξιωματικό γέφυρας του πλοίου όπως καθιερωμένα γίνεται στα πλοία αλλά από έναν ελεγκτή ασαφούς λογικής FLC .

2 BALLAST WATER SYSTEM (BWS)

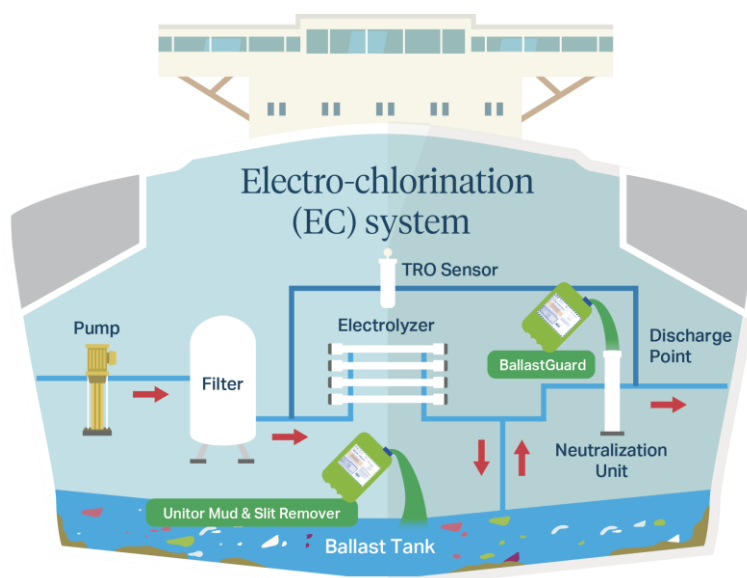
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Όπως προαναφέρθηκε , η λειτουργία του συστήματος διαχείρισης του έρματος είναι πολύ σημαντική για την διατήρηση της ευστάθειας του πλοίου , την αποφυγή σημαντικών πιέσεων στη γάστρα του πλοίου και συνεπώς στην διατήρηση της ασφαλούς πλεύσης του πλοίου .

Στο παρελθόν , όταν ακόμη τα πλοία κατασκευάζονταν από ξύλο , η διεργασία αυτή πραγματοποιούνταν , για τους ίδιους λόγους ασφαλής πλεύσης με την μόνη σημαντική διαφορά ότι το έρμα ήταν στέρεο και συγκεκριμένα πέτρες , σάκοι άμμου ή μπλοκ σιδήρου .

Κατά την βιομηχανική επανάσταση , τα πλοία αντικατέστησαν το ξύλινο κύτος με μεταλλικό και ανέπτυξαν τη χρήση του νερού ως έρμα σταθεροποίησης .

Στα σημερινά πλοία το έρμα διαχειρίζεται από ένα πολυσύνθετο σύστημα αντλιών και δεξαμενών πλήρωσης το οποίο παρακολουθείται και επεξεργάζεται σε πραγματικό χρόνο από μέλη του πληρώματος και ονομάζεται Ballast Water Monitoring αλλά και ένα σύστημα επεξεργασίας , καθαρισμού και φιλτραρίσματος του θαλασσινού νερού που εισρέει στο πλοίο, του οποίου την χρησιμότητα θα αναλύσουμε παρακάτω και ονομάζεται Ballast Water Treatment . Και τα δύο μαζί συνθέτουν το Ballast Water System .



Εικόνα 1.3 : Δομή συστήματος Ballast Water Treatment

2.1.1 Ballast Water System (BWS)

Πρόκειται για ένα σύνθετο σύστημα που αποτελείται από αντλίες , δεξαμενές , βαλβίδες , ένα σύνθετο κύκλωμα σωληνώσεων από όπου διαρρέει νερό και ένα κλειστό κύκλωμα ελέγχου . Το σύστημα ελέγχεται από ένα πάνελ χειρισμού στο control room του πλοίου από όπου με μεγάλη προσοχή αξιωματικοί της γέφυρας ελέγχουν την λειτουργία των βαλβίδων (valves) και των αντλιών (pumps) και λαμβάνουν δεδομένα όπως η στάθμη των δεξαμενών .

Η διαδικασία του ballasting απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και ο έλεγχος του συστήματος απαιτεί αξιωματικούς με εμπειρία καθώς ο παραμικρός λάθος υπολογισμός και το παραμικρό λάθος είναι ικανό να οδηγήσει σε μεγάλες πιέσεις στην γάστρα του πλοίου , σε απώλεια της ευστάθειας και συνεπώς σε ένα μεγάλο ατύχημα .

Για να κατανοήσουμε πλήρως τη λειτουργία του συστήματος θα αναλύσουμε ξεχωριστά το κάθε μέρος του .

Αντλίες αναρρόφησης (Sanction Pumps)

Ονομάζονται είτε αντλίες αναρρόφησης (sanction pumps) είτε αντλίες ballast (ballast water pumps) και αποτελούν καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία του ballasting καθώς είναι υπεύθυνες είτε για την μεταφορά του νερού προς τις δεξαμενές αν πρόκειται για ballasting operation είτε για την εκροή του νερού προς τη θάλασσα (discharging) αν πρόκειται για deballasting operation . Αρχή λειτουργίας τους είναι η φυγόκεντρος δύναμη . Το μοτέρ της αντλίας είναι συνδεδεμένο με έναν άξονα ο οποίος περιστρέφεται . Ο άξονας συνδέεται με μια φτερωτή (impeller) όπου περιστρέφεται μαζί με τον άξονα και έτσι το νερό όπου διαρρέει την αντλία με την φυγόκεντρο δύναμη διαπερνάει την αντλία είτε προς τις δεξαμενές είτε προς την θάλασσα αναλόγως ποιο operation είναι σε λειτουργία . Σε συνδυασμό με πολλά άλλα συμβαλλόμενα μέρη επιτυγχάνει την λειτουργία της . Οι αντλίες είναι συνήθως 2 στα περισσότερα είδη πλοίων καθώς οι δεξαμενές πλήρωσης βρίσκονται σε 2 σειρές στις άκρες της γάστρας του πλοίου συνεπώς για την πλήρωση τους υπάρχει ένα κύκλωμα σωληνώσεων και βαλβίδων στα αριστερά του πλοίου και ένα στα δεξιά .



Εικόνα 2.1 : Αντλία αναρρόφησης (Ballast Water Pump)

Βαλβίδες ροής νερού (Valves)

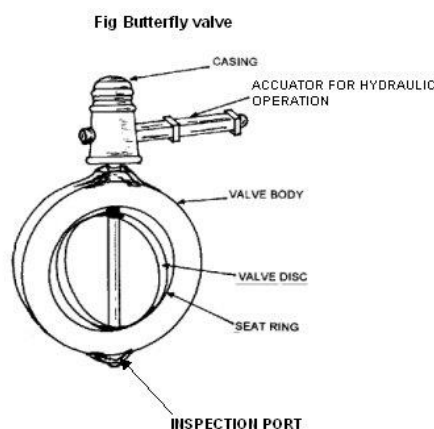
Το κύκλωμα των σωληνώσεων είναι πολύ σύνθετο και οι δεξαμενές όπου δέχονται το νερό είναι πολλαπλές κατά μήκος του πλοίου . Παράλληλα υπάρχει η ανάγκη να ελέγχεται ποια δεξαμενή πληρώνεται κατά την διάρκεια της διαδικασίας αλλά και το πόσο θα πληρωθεί . Ο λόγος για το παραπάνω είναι διότι κατά το ballasting αυτό που πρέπει να επιτύχουμε είναι η ισοκατανομή του βάρους όπου προσθέτουμε στο πλοίο και ένα αργό και σταθερό βύθισμα ώστε να αποφύγουμε την απώλεια της ευστάθειας αυτού αλλά και άλλες ζημίες όπου έχουμε αναφέρει παραπάνω .

Για τον λόγο αυτό λοιπόν στο κύκλωμα των σωληνώσεων υπάρχουν πολλαπλές βαλβίδες οι οποίες είναι 2 καταστάσεων , είτε επιτρέπουν πλήρως την διόδο του νερού κατά μήκος του σωλήνα είτε το εσωτερικό μέρος τους περιστρέφεται και εμποδίζει την διόδο του νερού οπότε αυτό πρέπει να διαφύγει από άλλη κατεύθυνση . Έτσι λοιπόν με βαλβίδες 2 καταστάσεων (Normally Close – Normally Open) οι οποίες ελέγχονται από ηλεκτρονικό κύκλωμα μπορούμε να καθορίσουμε την ροή του νερού και να επιλέξουμε τη σειρά με την οποία οι δεξαμενές θα πληρωθούν . Επιπλέον υπάρχουν και οι κεντρικές βαλβίδες ίδιας μορφής όχι όμως 2 καταστάσεων , αλλά αναλογικές . Η διαφορά τους με τις προηγούμενες είναι ότι σε αυτές μπορούμε να ελέγξουμε πλήρως το άνοιγμα του εσωτερικού τους μέρους ώστε να ελέγξουμε έτσι την ροή του νερού που εισρέει ή εκρέει . Με αυτές τις βαλβίδες λοιπόν μπορούμε να επηρεάσουμε την συνολική ώρα του operation αλλά και ελέγχοντας την ροή του νερού (flow rate) να αποφύγουμε σημαντικές πιέσεις στην γάστρα .

Είναι σημαντικό εδώ να αναφέρουμε ότι οι κεντρικές βαλβίδες ροής που αναφέραμε παραπάνω θα είναι και η έξοδος στο πρόγραμμα το οποίο θα ετοιμάσουμε . Μέσω λοιπόν ενός ελεγκτή ασαφούς λογικής θα πραγματοποιήσουμε έλεγχο της ροής του έρματος .



Εικόνα 2.2 (αριστερά) : Βαλβίδα ροής

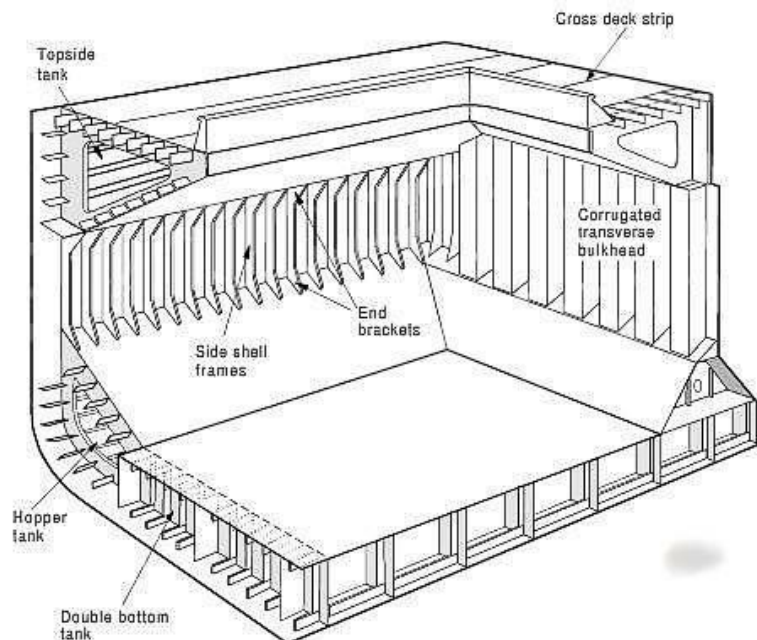


Εικόνα 2.3 (δεξιά) : Σχεδιάγραμμα βαλβίδας ροής

Δεξαμενές έρματος (Ballast tanks)

Ως δεξαμενές έρματος ονομάζουμε τις δεξαμενές όπου συγκεντρώνεται το νερό κατά την ερμάτωση . Συνήθως οι δεξαμενές αυτές εντοπίζονται στα πλαϊνά μέρη του πλοίου είτε μπροστά στο εμπρόσθιο μέρος . Ανάλογα με τον διαφορετικό τύπο των πλοίων οι δεξαμενές μπορεί να είναι διπλού πυθμένα (double bottom tanks) οι οποίες εκτείνονται σε όλο το πλάτος του πλοίου , είτε wing tanks (lower hopper tanks) οι οποίες εντοπίζονται στα πλαϊνά μέρη του εσωτερικού κύτους του πλοίου , είτε δεξαμενές topside οι οποίες καταλαμβάνουν το άνω γωνιακό τμήμα μεταξύ του κύτους του πλοίου και του κύριου καταστρώματος .

Η συνολική χωρητικότητα των δεξαμενών γενικά στα επιβατηγά και στα φορτηγά πλοία κυμαίνεται από 1500 m³ έως 5000 m³ . Σε δεξαμενόπλοια και πλοίο ξηρού φορτίου (bulk carriers) συναντάμε και χωρητικότητες άνω των 5000 m³ . Είναι σημαντικό να αναφέρουμε επίσης ότι για την προστασία των δεξαμενών από την οξείδωση εφαρμόζεται ειδικό εποξικό οξύ είτε τοποθετούνται ανόδια κατά μήκος αυτών .



Εικόνα 2.4 : Σχεδιάγραμμα δεξαμενών έρματος

2.1.2 Ballast Water Treatment (BWT)

Αναφέραμε ότι η διαδικασία της ερμάτωσης και της αφερμάτωσης πραγματοποιείται σε λιμάνια ή παράκτιες περιοχές όπου η ανταλλαγή νερού είναι εφικτή . Αυτό όμως έχει ως μπορεί να οδηγήσει την μεταφορά επεκτατικών θαλάσσιων οργανισμών από ωκεανό σε ωκεανό το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και συνεπώς της οικονομίας και της ανθρώπινης υγείας .

Για την πρόληψη λοιπόν της εξάπλωσης των θαλάσσιων οργανισμών στα πλοία έχουν αναπτυχθεί τα συστήματα διαχείρισης έρματος (Ballast Water Treatment) . Το 2004 ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) σύμφωνα πάντα με τους κανόνες που διέπει η MARPOL για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος ανέπτυξε τη Διεθνή Σύμβαση για τον Έλεγχο και τη Διαχείριση του έρματος και των ιζημάτων των πλοίων (BWM σύμβαση) για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος. Η Σύμβαση BWM καθορίζει τα πρότυπα και τις κατευθυντήριες γραμμές για τη διαχείριση και την επεξεργασία του νερού έρματος στα πλοία.

Η επεξεργασία γίνεται με διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές μεθόδους . Οι φυσικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη χρήση φίλτρων, υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) και ήλεκτρο-χλωρίωσης. Τα φίλτρα χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση οργανισμών από το νερό έρματος. Η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιείται για να σκοτώσει οργανισμούς καταστρέφοντας το DNA τους. Η ήλεκτρο-χλωρίωση περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος για την παραγωγή χλωρίου για τη θανάτωση των οργανισμών. Οι χημικές μέθοδοι χρησιμοποιούν βιοκτόνα για να σκοτώσουν οργανισμούς ωστόσο δεν χρησιμοποιούνται συνήθως λόγω των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους. Οι βιολογικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη χρήση μικροοργανισμών για την απομάκρυνση ή τη θανάτωση οργανισμών. Τέτοιες μέθοδοι εξακολουθούν να αναπτύσσονται και να δοκιμάζονται.

Αναλυτικότερα , μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στο Ballast Water Treatment αποτελούν :

- **Συστήματα φυσικού διαχωρισμού (Physical Separation/Filtration Systems)**

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό οργανισμών και αιωρούμενων στερεών υλικών από το νερό έρματος με τη χρήση συστημάτων καθίζησης ή επιφανειακής διήθησης. Τα αιωρούμενα στερεά υλικά και το νερό αποβλήτων (backwashing) από τη διαδικασία διήθησης είτε απορρίπτονται στην περιοχή από όπου λαμβάνεται το έρμα είτε υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία πριν από την απόρριψή τους.

- **Σήτες/Δίσκοι (Screens / Disks) :**

Οι σήτες ή δίσκοι (κόσκινα) χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων από το νερό έρματος με αυτόματη ανάπλυση. Αποτελούν φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς δεν απαιτούν τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών στο νερό έρματος. Η διήθηση με κόσκινα είναι αποτελεσματική για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών σωματιδίων μεγαλύτερων μεγεθών, αλλά δεν είναι πολύ πρακτική για την απομάκρυνση σωματιδίων και οργανισμών μικρότερων μεγεθών. Αν και οι σήτες είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην απομάκρυνση της πλειονότητας των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και των οργανισμών από μόνες τους δεν επαρκούν για την επεξεργασία του νερού έρματος σύμφωνα με τα πρότυπα του IMO.

- **Υδροκυκλώνας (Hydrocyclone) :**

Ο υδροκυκλώνας είναι ένα σύστημα παρόμοιο με τον διαχωριστήρα (centrifugal separator) επιτυγχάνει δηλαδή τον διαχωρισμό των αιωρούμενων στερεών από το νερό έρματος με την φυγόκεντρο δύναμη που προκαλείται από την υψηλής ταχύτητας περιστροφή του νερού . Καθώς ο υδροκυκλώνας δεν έχει κανένα κινούμενο μέρος, είναι εύκολη η εγκατάσταση, η λειτουργία και η συντήρησή του . Καθώς η λειτουργία του υδροκυκλώνα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μάζα και την πυκνότητα των σωματιδίου, δεν επιτυγχάνει τον διαχωρισμό μικρότερων οργανισμών από το νερό έρματος.

- **Πήξη (Coagulation) :**

Η πήξη περιλαμβάνει την προσθήκη χημικών ουσιών στο νερό έρματος για να σχηματιστούν μεγαλύτερα σωματίδια με τη συσσωμάτωση των αιωρούμενων ουσιών. Αυτά εν συνεχεία απομακρύνονται αποτελεσματικότερα μέσω διεργασιών καθίζησης ή διήθησης.

- **Ηλεκτροπήξια (Electro coagulation)**

Κατά τη χημική αυτή μέθοδο χρησιμοποιείται ηλεκτρικό ρεύμα για να αποσταθεροποιηθούν τα αιωρούμενα σωματίδια και να προωθηθεί η συσσωμάτωσή τους. Η διαδικασία αυτή διευκολύνει την απομάκρυνση τόσο οργανικών όσο και ανόργανων ρύπων από το ballast water.

- **Υπεριώδης UV Ακτινοβολία (Ultraviolet UV Radiation)**

Πρόκειται για φυσική μέθοδο επεξεργασίας κατά την οποία το νερό έρματος εκτίθεται σε υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία καταστρέφει το DNA των ζωντανών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων οργανισμών όπως βακτήρια, ιούς και μικρών υδρόβιων ειδών.

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι αποτελεσματική στη θανάτωση των μικροοργανισμών και χρησιμοποιείται συχνά ως δευτερογενής επεξεργασία σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους για την αποτελεσματική επεξεργασία του νερού έρματος

- **Χλωρίωση (Chlorination)**

Πρόκειται για χημική μέθοδο επεξεργασίας . Η θανάτωση ανεπιθύμητων μικροοργανισμών και η απολύμανση του νερού έρματος επιτυγχάνεται με την χρήση χλωρίου ή ενώσεων με βάση το χλώριο . Πρόκειται για μια αποτελεσματική μέθοδο αλλά και επικίνδυνη παράλληλα καθώς ανά καιρούς έχουν εκφραστεί ανησυχίες για την απελευθέρωση επιβλαβών ουσιών για το θαλάσσιο οικοσύστημα .

- **Αποξυγόνωση (Deoxygenation)**

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την αφαίρεση του οξυγόνου από το νερό έρματος, δημιουργώντας έτσι ένα ανεπιθύμητο περιβάλλον για τα περισσότερα υδρόβια είδη. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή απαιτεί μπορεί να προκαλέσει διαβρώσεις και δομικές βλάβες στις δεξαμενές του πλοίου

- **Ηλεκτροχλωρίωση (Electro chlorination)**

Η ηλεκτροχλωρίωση είναι ένας συνδυασμός χημικής και βιολογικής επεξεργασίας. Περιλαμβάνει τη διέλευση χαμηλής τάσης ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του θαλασσινού νερού για τη μετατροπή ιόντων χλωρίου σε χλώριο, το οποίο δρα ως απολυμαντικό. Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει συνεχή παραγωγή χλωρίου, ενώ παράλληλα αποφεύγεται η χρήση χημικών ουσιών με βάση το χλώριο οι οποίες αναφέραμε παραπάνω την επικινδυνότητα που έχουν ως προς το θαλάσσιο οικοσύστημα .

- **Προηγμένη οξείδωση (Advanced Oxidation Process AOP)**

Η χημική αυτή μέθοδος επεξεργασίας είναι μια σειρά χημικών αντιδράσεων από τις οποίες παράγεται εξαιρετικά δραστικό υδροξύλιο που έχει ως αποτέλεσμα την διάσπαση οργανικών ενώσεων και την θανάτωση επιβλαβών οργανισμών .

Τέτοιες διεργασίες όπως η AOP είναι πολύ αποτελεσματικές σε επεξεργασία πολύπλοκων και ανθεκτικών οργανισμών, γεγονός που τις καθιστά από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους επεξεργασίας του νερού έρματος .

Συνοψίζοντας , για την αποτελεσματικότερη επεξεργασία του νερού έρματος είναι απαραίτητος ο συνδυασμός δύο και παραπάνω διαφορετικών μεθόδων επεξεργασίας γι'αυτό και τα κυκλώματα του ballast water treatment (BWS) διαθέτουν πολλαπλά στη σειρά συστήματα επεξεργασίας . Τέλος , είναι αναγκαίο να βελτιώνονται και να εξελίσσονται οι μέθοδοι επεξεργασίας σε μια προσπάθεια διατήρησης των θαλάσσιων οικοσυστημάτων για το μέλλον και τις επόμενες γενιές .



Εικόνα 2.5 : Treatment με υπεριώδη ακτινοβολία , UV Sterilizer (Πηγή: M/V OWL 1 – TUZZLA, TURKEY – 31/05/2023)

2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (BWS OPERATION)

Ερμάτωση - Ballasting

- ❖ Αξιολόγηση και σχεδιασμός: Πριν από την έναρξη της διαδικασίας πλήρωσης των δεξαμενών, το πλήρωμα του πλοίου αξιολογεί τις ειδικές απαιτήσεις του πλοίου. Η αξιολόγηση αυτή λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως το φορτίο του πλοίου, τις συνθήκες της θάλασσας και την ανάγκη διατήρησης της σταθερότητας κατά τη διέλευση ή τις εργασίες φόρτωσης/εκφόρτωσης.
- ❖ Επιλογή των κατάλληλων δεξαμενών: Η επιλογή των συγκεκριμένων δεξαμενών προς πλήρωση εξαρτάται από την τρέχουσα κατάσταση του πλοίου και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, εάν το πλοίο πρέπει να μειώσει το βύθισμά του για να πλεύσει σε ρηχότερα ύδατα, μπορεί να επιλεγούν συγκεκριμένες δεξαμενές για τη μείωση της άνωσης.
- ❖ Άνοιγμα βαλβίδων: Για να ξεκινήσει η διαδικασία πλήρωσης των δεξαμενών έρματος, το πλήρωμα του πλοίου ανοίγει τις κατάλληλες βαλβίδες που συνδέουν τις δεξαμενές με την κεντρική πηγή νερού. Η πηγή αυτή μπορεί να είναι η ίδια η θάλασσα ή ένα σύστημα αποθήκευσης γλυκού νερού επί του πλοίου, ανάλογα με τον σχεδιασμό και τις απαιτήσεις του πλοίου.
- ❖ Έναρξη πλήρωσης: Επιτρέπεται η ροή νερού στις επιλεγμένες δεξαμενές έρματος. Ο ρυθμός πλήρωσης και ο όγκος του προστιθέμενου νερού παρακολουθούνται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ο ακριβής έλεγχος της ευστάθειας και του trim του πλοίου. Πάνω στο κομμάτι αυτό της παρακολούθησης θα χτίσουμε τον ελεγκτή της παρούσας μελέτης.
- ❖ Παρακολούθηση του βυθίσματος και της σταθερότητας: Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας πλήρωσης, το βύθισμα του πλοίου (το βάθος του πλοίου κάτω από την ίσαλο γραμμή) και η ευστάθεια παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας διάφορα αισθητήρες και όργανα.
- ❖ Εξισορρόπηση: Η διαδικασία πλήρωσης μπορεί να περιλαμβάνει ασύμμετρη πλήρωση των δεξαμενών για την επίτευξη της επιθυμητής ισορροπίας, ιδίως σε πλοία με πολλαπλές δεξαμενές

έρματος. Η εξισορρόπηση της κατανομής του έρματος συμβάλλει στη διατήρηση της ευστάθειας και αποτρέπει το πλοίο από το να γέρνει (κλίση προς τη μία πλευρά) ή να γέρνει (κίνηση από εμπρός προς τα πίσω).

- ❖ Διακοπή της διαδικασίας πλήρωσης: Όταν επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες βύθισης και ευστάθειας, το πλήρωμα σταματά τη διαδικασία πλήρωσης της δεξαμενής έρματος κλείνοντας τις βαλβίδες και τις αντλίες .
- ❖ Ασφάλιση βαλβίδων: Μόλις οι δεξαμενές έρματος γεμίσουν στην επιθυμητή στάθμη, οι βαλβίδες που τις συνδέουν με την πηγή νερού κλείνουν με ασφάλεια. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται οποιαδήποτε ακούσια απόρριψη ή διαρροή.
- ❖ Λειτουργικές ρυθμίσεις: Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, ενδέχεται να απαιτηθούν προσαρμογές του έρματος για να ληφθούν υπόψη αλλαγές στο φορτίο, στις καιρικές συνθήκες ή σε άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη σταθερότητα του πλοίου. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει είτε την αποστράγγιση είτε την προσθήκη έρματος για τη διατήρηση της ευστάθειας.
- ❖ Αρχαιοθήτηση – reporting : Για την τήρηση αρχείων και τη συμμόρφωση με τους ναυτιλιακούς κανονισμούς και τα πρότυπα ασφαλείας τηρούνται αναλυτικά αρχεία των εργασιών πλήρωσης και εκφόρτωσης της δεξαμενής έρματος.

Αφερμάτωση – Deballasting

- ❖ Καθορισμός απόρριψης έρματος : Το πλήρωμα του πλοίου αξιολογεί την ανάγκη απόρριψης του έρματος, η οποία μπορεί να απαιτηθεί όταν το πλοίο εκφορτώνει το φορτίο του ή όταν συναντά ρηχότερα νερά που απαιτούν προσαρμογές στην ευστάθεια του πλοίου.
- ❖ Έλεγχος κανονισμών *: Πριν από την απόρριψη του έρματος, το πλήρωμα του πλοίου πρέπει να ελέγξει και να συμμορφωθεί με τους διεθνείς, εθνικούς και περιφερειακούς κανονισμούς και απαιτήσεις σχετικά με τη διαχείριση του έρματος. Οι κανονισμοί αυτοί αποσκοπούν στην πρόληψη της εξάπλωσης χωροκατακτητικών ειδών και παθογόνων μικροοργανισμών.

- ❖ Επιλογή θέσης απόρριψης : Το πλήρωμα του πλοίου επιλέγει μια κατάλληλη τοποθεσία για την απόρριψη του νερού έρματος. Η θέση αυτή πρέπει να είναι σύμφωνη με τους τοπικούς κανονισμούς, συνήθως σε περιοχές που βρίσκονται μακριά από ευαίσθητα οικοσυστήματα και σημεία υδροληψίας πόλεων ή βιομηχανιών.
- ❖ Επεξεργασία του νερού έρματος . Εάν το πλοίο είναι εξοπλισμένο με σύστημα επεξεργασίας νερού έρματος, το νερό μπορεί να υποβληθεί σε επεξεργασία για την απομάκρυνση ή την εξουδετέρωση δυνητικά επιβλαβών οργανισμών και παθογόνων μικροοργανισμών.
- ❖ Ανοιχτές βαλβίδες έρματος: Το πλήρωμα ανοίγει τις κατάλληλες βαλβίδες έρματος για να επιτρέψει στο νερό να ρέει από τις δεξαμενές έρματος στη θάλασσα (overboard valves)
- ❖ Παρακολούθηση της απόρριψης: Κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης, το πλήρωμα του πλοίου παρακολουθεί προσεκτικά τη διαδικασία για να διασφαλίσει ότι αυτή εξελίσσεται ομαλά και ότι το νερό εκφορτώνεται χωρίς προβλήματα.
- ❖ Τήρηση αρχείων: Η τήρηση αρχείων είναι ζωτικής σημασίας για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς. Το πλήρωμα διατηρεί λεπτομερή αρχεία της λειτουργίας απόρριψης, συμπεριλαμβανομένων του όγκου και της θέσης της απόρριψης, των μεθόδων επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν και τυχόν περιστατικά ή παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.
- ❖ Πλύση των δεξαμενών έρματος: Αφού ολοκληρωθεί η εργασία απόρριψης, το πλήρωμα μπορεί να ξεπλύνει τις δεξαμενές έρματος για να απομακρύνει τυχόν εναπομείναντα ιζήματα, οργανισμούς ή υπολείμματα χημικών ουσιών επεξεργασίας. Αυτό συμβάλλει στην πρόληψη της συσσώρευσης ανεπιθύμητων ουσιών στις δεξαμενές.
- ❖ Ασφάλιση των βαλβίδων έρματος: Μόλις ολοκληρωθεί η εργασία απόρριψης του έρματος, το πλήρωμα κλείνει και σφραγίζει με ασφάλεια τις βαλβίδες έρματος για να αποτρέψει τυχόν τυχαία απελευθέρωση νερού έρματος κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του πλοίου.

- ❖ Αρχαιοθέρηση – reporting : Οι καταγεγραμμένες πληροφορίες τεκμηριώνονται και αναφέρονται όπως απαιτείται από τους ισχύοντες κανονισμούς και αρχές. Τα αρχεία αυτά συμβάλλουν στη διασφάλιση της διαφάνειας και της λογοδοσίας στη διαχείριση του υδάτινου έρματος.

* Διεθνής Σύμβαση Διαχείρισης Υδάτινου Έρματος – MARPOL / IMO

3 ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τι είναι η ασαφής λογική ; Ένα ερώτημα που απασχολούσε από την αρχαιότητα τους μεγάλους έλληνες φιλόσοφους Ηράκλειτο και Αριστοτέλη κλήθηκε να απαντήσει ην δεκαετία του 1960 ο Lotfi Zadeh ένας μαθηματικός . Ο Zadeh επινόησε τον όρο ασαφής λογική ως έναν όρο με τον οποίο μπορούμε να ορίσουμε την αβεβαιότητα και την ανακρίβεια κατά την λήψη αποφάσεων . Αντίθετα με την κλασική λογική, η οποία βασίζεται σε σαφή όρια μεταξύ αληθούς και ψευδούς, η ασαφής λογική αναγνωρίζει ότι πολλές έννοιες στον πραγματικό κόσμο υπάρχουν σε ένα ευρύτερο φάσμα . Η ασαφής λογική επιτρέπει την αναπαράσταση ασαφών ή μερικών πληροφοριών, αποδίδοντας μια γενικότερη αλήθεια στις δηλώσεις.

Η κλασική δυαδική λογική αδυνατεί να αποτυπώσει την πολυπλοκότητα των σεναρίων του πραγματικού κόσμου σε συστήματα ελέγχου αλλά και στην λήψη αποφάσεων σε ευρύτερα θέματα . Με την ασαφή λογική ωστόσο μπορούμε να ορίσουμε ένα ευρύ σύνολο εννοιών μεταξύ της απόλυτης αλήθειας και του ψεύδους, επιτρέποντας μια πιο διαφοροποιημένη και ανθρώπινη ερμηνεία των αβέβαιων ή ανακριβών πληροφοριών. Θα λέγαμε λοιπόν ότι η Ασαφής Λογική είναι η προσπάθεια των επιστημόνων και κυρίως αυτών που ασχολούνται με την “τεχνητή νοημοσύνη” να μελετήσουν και να μαθηματικοποιήσουν τη δομή της φυσικής γλώσσας του ανθρώπου . Η ασαφής λογική είναι η επέκταση της κλασικής δυαδικής λογικής από το δυαδικό σύνολο $\{0,1\}$ στο απειρότιμο σύνολο $[0,1]$.

Λόγω λοιπόν της δυνατότητας αυτής η ασαφής λογική έχει εφαρμογές σε διάφορους τομείς , από τη μηχανική και τη ρομποτική έως την οικονομία και την ιατρική και θέτει μια νέα , διαφορετική ερμηνεία στους όρους ασάφεια και ανακρίβεια .

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ

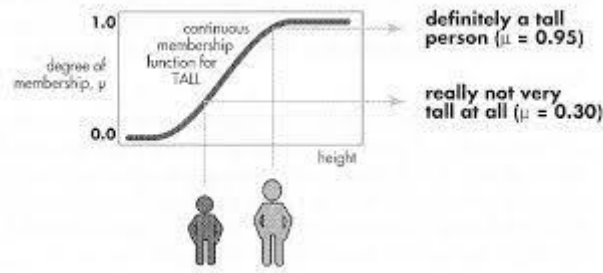
Για την ανάλυση της ασαφούς λογικής θα πρέπει να ξεκινήσουμε αποσαφηνίζοντας τους όρους γλωσσικές μεταβλητές και ασαφή σύνολα . Η γλωσσική μεταβλητή είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα χαρακτηριστικό που μπορεί να μην έχει ακριβή αριθμητική τιμή, όπως "ζεστό" ή "κρύο". Τα ασαφή σύνολα, επιτρέπουν τη σταδιακή ένταξη ενός στοιχείου σε ένα σύνολο σε ορισμένο βαθμό.

Ένα από τα πιο βασικά προτερήματα της ασαφούς λογικής είναι η ευελιξία. Σε τομείς όπως τα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου, η ασαφής λογική επέτρεψε την κατασκευή πιο προσαρμοστικών και ευέλικτων ελεγκτών, με την ικανότητα να χειρίζονται μη γραμμικές και αβέβαιες εισόδους, δηλαδή ασαφής πληροφορίες . Για παράδειγμα, στα συστήματα ελέγχου θερμοκρασίας, οι ελεγκτές ασαφούς λογικής μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά τα συστήματα θέρμανσης ή ψύξης προσαρμόζοντας την έξοδο με βάση τις ανακριβείς εισόδους θερμοκρασίας . Άλλο ένα παράδειγμα ασαφούς λογικής είναι ο έλεγχος της ροής του νερού για την πλήρωση μιας δεξαμενής με είσοδο έναν χρονικό διακόπτη . Πάνω σε αυτό το απλό παράδειγμα θα χτίσουμε την υπόθεση της μελέτης αυτής που πραγματοποιούμε , την λειτουργία δηλαδή του ballast water system (BWS) με την λειτουργία ασαφούς ελεγκτή .

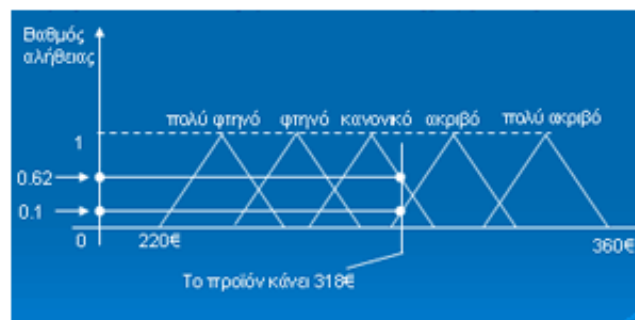
Σε τομείς όπως η ρομποτική και η τεχνητή νοημοσύνη η ασαφής λογική δίνει τη δυνατότητα στις μηχανές να μιμούνται την ανθρώπινη σκέψη και λήψη αποφάσεων που η οποία συχνά περιλαμβάνει ασάφεια και αβεβαιότητα . Τα ρομπότ που είναι εξοπλισμένα με ασαφή λογική μπορούν να πλοηγούνται σε πολύπλοκα περιβάλλοντα, να λαμβάνουν διαισθητικές αποφάσεις και να προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες. Μπορούν δηλαδή να παίρνουν και να δίνουν πληροφορία από ασαφή σύνολα εννοιών.

Ασαφής λογική χρησιμοποιείται επίσης στον τομέα της ιατρικής . Οι ιατρικές καταστάσεις δεν είναι πάντα ξεκάθαρες και τα διαγνωστικά συστήματα ασαφούς λογικής μπορούν να συμβάλλουν σε τέτοιες καταστάσεις . Μπορούν να ερμηνεύσουν αποτελέσματα ιατρικών εξετάσεων που μπορεί να έχουν διαφορετικούς βαθμούς ανωμαλίας, επιτρέποντας στους γιατρούς να κάνουν πιο συγκεκριμένες διαγνώσεις μέσα από συνθήκες αβεβαιότητας.

Αναλύοντας τον κορμό της δόμησης της ασαφούς λογικής αλλά και το πώς μπορούμε να επινοήσουμε ένα σύστημα, ένα κύκλωμα έλεγχου αυτής της λογικής θα αναλύσουμε τις δύο επικρατέστερες προσεγγίσεις της ασαφούς λογικής, δύο μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιεί η ασαφής λογική για την αναπαράσταση αβέβαιων και ανακριβών πληροφοριών. Οι προσεγγίσεις αυτές είναι τα συστήματα Mamdani και Sugeno.



Εικόνα 3.1 Παράδειγμα (1) ασαφούς λογικής



Εικόνα 3.2 Παράδειγμα (2) ασαφούς λογικής.

3.2.1 Συστήματα ασαφούς λογικής Mamdani

Το σύστημα ασαφούς λογικής Mamdani επινοήθηκε από τον Lotfi A. Zadeh και είναι η πιο γνωστή και συχνά χρησιμοποιούμενη από τις δύο προσεγγίσεις. Πήρε την ονομασία του από τον βρετανό μηχανικό Ebrahim Mamdani ο οποίος ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε την ασαφής λογική για την δημιουργία ενός συστήματος ασαφούς ελέγχου για τη λειτουργία μιας ατμομηχανής κατά την δεκαετία του 1970.

Το σύστημα Mamdani διέπεται από ασαφείς κανόνες για την αντιστοίχιση των μεταβλητών εισόδου σε μεταβλητές εξόδου .

Τέτοιοι ασαφείς κανόνες είναι οι επακόλουθοι :

- **Ασαφοποίηση :** Οι μεταβλητές εισόδου αντιστοιχίζονται σε ασαφή σύνολα με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής, οι οποίες αποδίδουν βαθμούς συμμετοχής σε κάθε σύνολο. Οι συναρτήσεις συμμετοχής αντιπροσωπεύουν το βαθμό αλήθειας των μεταβλητών εισόδου σε σχέση με κάθε ασαφές σύνολο.
- **Αξιολόγηση κανόνων:** Ορίζονται ασαφείς κανόνες που καθορίζουν την σχέση μεταξύ των ασαφών συνόλων των μεταβλητών εισόδου και των μεταβλητών εξόδου. Κάθε κανόνας αποτελείται από ένα προηγούμενη κατάσταση (if-part) και μια επακόλουθη κατάσταση (then-part). Το antecedent καθορίζει τις συνθήκες με βάση τα ασαφή σύνολα εισόδου, ενώ το consequent καθορίζει τις συνθήκες με βάση τα ασαφή σύνολα εξόδου.
- **Συγκέντρωση κανόνων:** Είναι γεγονός ότι οι ασαφείς κανόνες συνδυάζονται για να προκύψει μια ενιαία ασαφής έξοδος. Η διαδικασία της συγκέντρωσης κανόνων περιλαμβάνει την εφαρμογή τελεστών ασαφούς λογικής, όπως οι τελεστές ελάχιστου ή μέγιστου, οι οποίοι συγκεντρώνουν τα ασαφή σύνολα από διαφορετικούς κανόνες.
- **Αποασαφοποίηση:** Με αυτόν τον κανόνα , η αθροιστική ασαφής έξοδος μετατρέπεται ξανά σε μια ασαφή τιμή. Η μετατροπή αυτή περιλαμβάνει την εύρεση μιας αντιπροσωπευτικής τιμής από το ασαφές σύνολο εξόδου, όπως το κεντροειδές ή τον μέσο όρο του συνόλου.

3.2.2 Συστήματα ασαφούς λογικής Takagi - Sugeno

Το σύστημα ασαφούς λογικής Sugeno, γνωστό και ως μοντέλο Takagi-Sugeno-Kang (TSK), αναπτύχθηκε από τους Sugeno και Takagi. Διαφέρει από το μοντέλο Mamdani ως προς τον τρόπο με τον οποίο χειρίζεται τους ασαφείς κανόνες και τον υπολογισμό της εξόδου. Βασικά χαρακτηριστικά του αποτελούν :

- **Αξιολόγηση κανόνων** . Στα συστήματα Sugeno, οι κανόνες έχουν διαφορετική δομή από τα συστήματα Mamdani. Αντί να προσδιορίζουν ασαφή σύνολα στο επακόλουθο μέρος(then part), οι κανόνες αυτοί αποτελούνται από μαθηματικές εκφράσεις ή μοντέλα. Οι εκφράσεις αυτές μπορεί να είναι γραμμικές ή μη γραμμικές συναρτήσεις μεταβλητών εισόδου.
- **Συνέπεια κανόνων**: Ο κάθε κανόνας στα συστήματα Sugeno παρέχει μια αριθμητική έξοδο σύμφωνα με τις προηγούμενες συνθήκες. Το επακόλουθο μέρος των κανόνων υπολογίζει απευθείας την τιμή εξόδου χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές εισόδου.
- **Υπολογισμός εξόδου**: Η τελική έξοδος σε ένα σύστημα Sugeno καθορίζεται από έναν σταθμισμένο μέσο όρο των επακόλουθων των κανόνων. Τα βάρη που αποδίδονται στους κανόνες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του σταθμισμένου μέσου όρου, με αποτέλεσμα να προκύπτει μια σαφής τιμή εξόδου.
- **Στάθμιση κανόνων**: Τα μοντέλα Sugeno ενσωματώνουν επίσης στάθμιση κανόνων. Σε κάθε κανόνα αποδίδεται ένα βάρος το οποίο καθορίζει την επιρροή του στον συνολικό υπολογισμό της εξόδου. Αυτά τα βάρη μπορούν να προσαρμόζονται ώστε να δοθεί μεγαλύτερη σημασία σε κάποιους συγκεκριμένους κανόνες ή συνθήκες.

Συνοψίζοντας, τόσο τα συστήματα ασαφούς λογικής Mamdani όσο και τα συστήματα ασαφούς λογικής Sugeno χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό που είναι η αντιμετώπιση των ανακριβών πληροφοριών και της αβεβαιότητας.

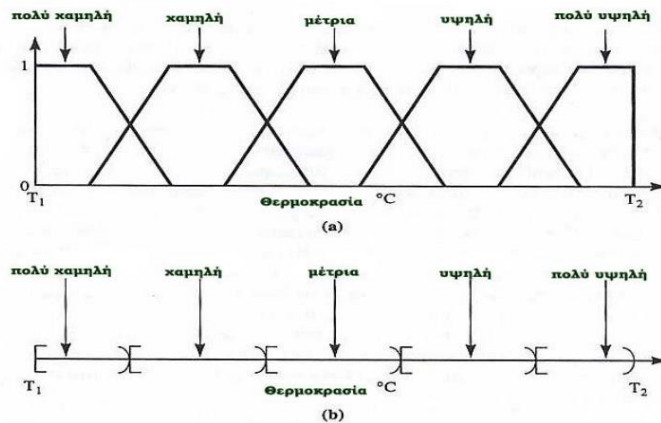
Ενώ τα συστήματα Mamdani χρησιμοποιούν ασαφείς κανόνες και τεχνικές συνάθροισης, τα συστήματα Sugeno από την άλλη χρησιμοποιούν μαθηματικές εκφράσεις ή μοντέλα στο επακόλουθο μέρος των κανόνων. Η επιλογή μεταξύ των δύο προσεγγίσεων εξαρτάται από την εκάστοτε υπόθεση και τις διαθέσιμες και κατάλληλες για την υπόθεση δυνατότητες μοντελοποίησης .

3.3 ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ (FUZZY LOGIC CONTROLLERS)

Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής (FLC) είναι ένας τύπος συστημάτων ελέγχου που χρησιμοποιούν ασαφή λογική για τον έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων και την λήψη αποφάσεων. Η ασαφής λογική είναι ένα μαθηματικό πλαίσιο που αντιμετωπίζει την αβεβαιότητα και την ανακρίβεια χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές και κανόνες. Τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν πρόκειται για συστήματα που είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν με απόλυτη ακρίβεια ή όταν η ανθρώπινη εμπειρία και διαίσθηση παίζουν σημαντικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων. Είναι χρήσιμα λοιπόν όταν πρόκειται για προσεγγιστική λύση στο πρόβλημα μας καθώς η ασαφής λογική θα μας δώσει ένα εύρος λύσεων' , ένα εύρος αποτελεσμάτων στο πρόβλημα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε . Παρακάτω θα αναλύσουμε βασικά στοιχεία και βασικές έννοιες των ελεγκτών ασαφούς λογικής .

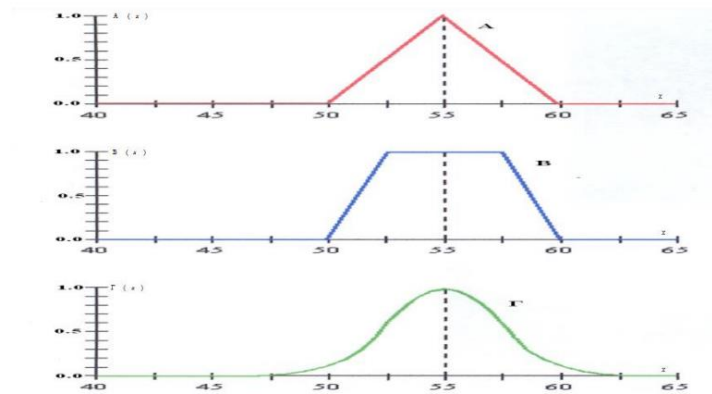
- **Ασαφή σύνολα** : Η ασαφής λογική αντικαθιστά τα σύνολα της κλασικής λογικής με ασαφή σύνολα. Τα ασαφή σύνολα επιτρέπουν την αναπαράσταση του βαθμού συμμετοχής σε ένα σύνολο, αντί μιας δυαδικής ταξινόμησης "πάνω" ή "κάτω". Για παράδειγμα, ένα ασαφές σύνολο μπορεί να αναπαραστήσει το βαθμό στον οποίο ένα αντικείμενο είναι "παγωμένο" σε μια κλίμακα από το 0 έως το 1, όπου το 0 μπορεί να σημαίνει "καθόλου παγωμένο" και το 1 σημαίνει "πάρα πολύ παγωμένο".
- **Γλωσσικές μεταβλητές** : Στα FLC, οι ακριβείς αριθμητικές τιμές των συνόλων των μεταβλητών εισόδων και εξόδων αντικαθίστανται από γλωσσικούς όρους όπως «χαμηλό», «μέτριο», «υψηλό» . Οι γλωσσικοί αυτοί όροι εντάσσονται σε ασαφή σύνολα και ονομάζονται γλωσσικές μεταβλητές .

(a) ως ΑΣΑΦΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ-ασαφής διαμέριση, (μέσω ασαφών αριθμών) και
 (b) ως ΚΛΑΣΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ-κλασική διαμέριση, (μέσω συνήθων αριθμών).



Εικόνα 3.3 : Παράδειγμα γλωσσικών μεταβλητών για τιμές θερμοκρασίας (a) ,
 παράδειγμα κλασικών μεταβλητών για τιμές θερμοκρασίας (b)

- Ασαφείς κανόνες:** Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής βασίζονται σε ένα σύνολο κανόνων της λογικής , αν-τότε (if - then) , που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών εισόδου και εξόδου. Αυτοί οι κανόνες εκφράζονται συνήθως με τη μορφή "Αν [μια συνθήκη], τότε [ένα συμπέρασμα]". Για παράδειγμα, "Εάν η θερμοκρασία είναι χαμηλή και η υγρασία υψηλή, τότε αυξήστε τη θέρμανση". Εδώ παρατηρούμε ότι δεν έχουμε στις εισόδους - εξόδους ακριβείς αριθμητικές τιμές , αλλά εύρος τιμών σε αυτές . Δηλαδή ως χαμηλή μπορούμε να χαρακτηρίσουμε μια θερμοκρασία με εύρος τιμών από 0 βαθμούς κελσίου ως 15 βαθμούς κελσίου . Αυτό ακριβώς το εύρος τιμών της θερμοκρασίας χαρακτηρίζεται από την γλωσσική μεταβλητή «χαμηλή» .
- Ασαφής συμπερασματολογία:**
 Ο προσδιορισμός της εξόδου του ελεγκτή περιλαμβάνει την ασαφοποίηση των τιμών εισόδου (την αντιστοίχιση τους δηλαδή σε ασαφή σύνολα), την εφαρμογή των ασαφών κανόνων σε αυτές τις ασαφείς τιμές και στη συνέχεια την ασαφοποίηση του αποτελέσματος (της εξόδου δηλαδή) για να ληφθεί μια ευκρινής τιμή εξόδου.
- Συναρτήσεις μέλους:** Κάθε ασαφές σύνολο έχει μια συνάρτηση συμμετοχής που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι τιμές εισόδου συνδέονται με το ασαφές σύνολο , το εύρος των τιμών δηλαδή που μπορούν να πάρουν οι εισόδοι . Οι συναρτήσεις αυτές μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα, όπως τριγωνικό, τραπεζοειδές ή γκαουσιανό, για να αποτυπώνουν διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής.



Εικόνα 3.4 : Διαφορετικές συναρτήσεις μέλους για την έκφραση της ίδιας τιμής , τριγωνική (πάνω) , τραπεζοειδής (μέση) , γκαουσιανή (κάτω)

- **Αποασαφοποίηση:** Μετά την εφαρμογή των ασαφών κανόνων, ο ελεγκτής πρέπει να μετατρέψει την ασαφή έξοδο σε μια ευκρινή τιμή που θα μπορεί να εφαρμοστεί στο ελεγχόμενο σύστημα. Η διαδικασία αυτή της μετατροπής ονομάζεται αποασαφοποίηση και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του κέντρου βάρους ή τη χρήση διαφορετικών μεθόδων για τον προσδιορισμό μιας ενιαίας τιμής εξόδου.

3.3.1 Οφέλη/Εφαρμογές ελεγκτών ασαφούς λογικής

Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τον έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων σε καταστάσεις όπου η ακριβής μαθηματική μοντελοποίηση είναι δύσκολη και η ανθρώπινη διαίσθηση και οι γλωσσικές περιγραφές είναι πολύτιμες. Λόγω της ικανότητας τους να διαχειρίζονται με αποτελεσματικότητα την ανακρίβεια και την αβεβαιότητα και να την μετατρέπουν σε αποτέλεσμα , σε έξοδο δηλαδή , έχουν βρεί εφαρμογές σε διάφορους σημαντικούς τομείς της κοινωνίας . Παρακάτω θα αναλύσουμε τα οφέλη και τις εφαρμογές τέτοιων συστημάτων .

Οφέλη :

Χειρισμός της αβεβαιότητας: Οι ελεγκτές (FLC) είναι κατάλληλοι για συστήματα με ανακριβείς ή αβέβαιες πληροφορίες, καθιστώντας τους ευρέως διαδεδομένους σε εφαρμογές του πραγματικού κόσμου .

Ανθρώπινη εμπειρογνωμοσύνη: Τέτοιοι ελεγκτές μπορούν να ενσωματώσουν την ανθρώπινη εμπειρία και γνώση με τη μορφή γλωσσικών κανόνων στο εκάστοτε πρόβλημα, γεγονός που τους καθιστά χρήσιμους σε καταστάσεις όπου η κρίση των εμπειρογνομόνων είναι απαραίτητη.

Μη γραμμικά συστήματα: Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής μπορούν να χειριστούν μη γραμμικά συστήματα όπου οι παραδοσιακές μέθοδοι ελέγχου δυαδικής λογικής μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα.

Απλότητα : Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής χαρακτηρίζονται από απλότητα στον σχεδιασμό και την υλοποίηση σε σύγκριση με τα πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα από τα οποία αποτελούνται τα υπόλοιπα συστήματα ελέγχου που συναντάμε .

Εφαρμογές :

Συστήματα Αυτοκινήτων: Συστήματα ασαφούς λογικής χρησιμοποιούνται σε αυτόματα συστήματα μετάδοσης ταχυτήτων (σασμάν) , στον έλεγχο του κινητήρα και σε συστήματα αντιμπλοκαρίσματος των φρένων (ABS).

Ηλεκτρονικές καταναλωτικές συσκευές : Συστήματα ασαφούς λογικής συναντάμε σε καθημερινές οικιακές συσκευές όπως κλιματιστικά, πλυντήρια ρούχων-πιάτων και φούρνους μικροκυμάτων.

Βιομηχανικές διεργασίες: Ελεγκτές ασαφούς λογικής απαρτίζουν πολύ μεγάλο κομμάτι των κυκλωμάτων ελέγχου βιομηχανικών μηχανών, μηχανών χημικών διεργασιών. Επιπλέον είναι η κύρια λογική ελέγχου στον έλεγχο ποιότητας των υλικών παραγωγής αλλά και στον έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων όπως ο έλεγχος της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της πίεσης σε διαδικασίες παραγωγής.

Ρομποτική: Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής βρίσκουν σημαντική χρήση και αξία στον τομέα της ρομποτικής καθώς βοηθούν τα ρομποτικά συστήματα να λαμβάνουν αποφάσεις σε αβέβαια ή δυναμικά περιβάλλοντα.

Έλεγχος κυκλοφορίας: Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής (FLC) μπορούν να βελτιστοποιήσουν το συγχρονισμό των σηματοδοτών κυκλοφορίας για τη βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής και την αποφυγή των τροχαίων ατυχημάτων.

Ιατρικές συσκευές: Συστήματα ασαφούς λογικής χρησιμοποιούνται σε εξοπλισμό όπως τα μηχανήματα αναισθησίας, όπου απαιτείται λεπτός έλεγχος.

3.3.2 Προγράμματα σχεδιασμού κυκλωμάτων ασαφούς λογικής (FLC)

Υπάρχουν διάφορα εργαλεία λογισμικού και βιβλιοθήκες για το σχεδιασμό και την υλοποίηση ελεγκτών ασαφούς λογικής (FLC). Αυτά τα εργαλεία παρέχουν ένα φιλικό και εύκολο προς το χρήστη περιβάλλον για τη δημιουργία ασαφών συστημάτων, τον ορισμό κανόνων, την προσομοίωση διαδικασιών ελέγχου και τη βελτιστοποίηση ελεγκτών ασαφούς λογικής .

Η επιλογή του κατάλληλου εργαλείου λογισμικού για τον έλεγχο ασαφούς λογικής, θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι συγκεκριμένες απαιτήσεις του κυκλώματος ελέγχου , οι προτιμήσεις όσον αφορά τη γλώσσα προγραμματισμού αλλά και ο προϋπολογισμός. Επιπλέον, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στη διαθέσιμη τεκμηρίωση, τα σεμινάρια και την υποστήριξη της κοινότητας ώστε να είναι πιο εύκολη για τον χρήστη η διαδικασία εκμάθησης και εφαρμογής. Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες αξιοσημείωτες επιλογές προγραμμάτων .

- Σχεδιαστής ασαφούς λογικής (Fuzzy Logic Designer):

Το FLD είναι ένα αυτόνομο γραφικό εργαλείο για τον σχεδιασμό και την προσομοίωση συστημάτων ασαφούς λογικής. Προσφέρει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για την δημιουργία ασαφών συστημάτων ,τον ορισμό ασαφών κανόνων και την εκτέλεση προσομοιώσεων.

- FuzzyTECH:

Το FuzzyTECH είναι ένα εμπορικό πακέτο λογισμικού για το σχεδιασμό και την προσομοίωση συστημάτων ασαφούς λογικής. Παρέχει μια σειρά εργαλείων για την ανάπτυξη ασαφών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της μοντελοποίησης βάσει κανόνων, του συντονισμού κανόνων και της προσομοίωσης.

- JFuzzyLogic:

Το JFuzzyLogic είναι μια βιβλιοθήκη Java ανοικτού κώδικα για την δημιουργία ελέγχου ασαφούς λογικής. Επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν και να προσομοιώνουν ασαφή συστήματα χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού Java, καθιστώντας το πρόγραμμα αυτό κατάλληλο για ενσωμάτωση σε εφαρμογές που βασίζονται σε γλώσσα Java.

- FLC++:

Το FLC++ είναι μια βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα σε C++ για τον έλεγχο ασαφούς λογικής.

Παρέχει ένα πλαίσιο για το σχεδιασμό και την υλοποίηση ελεγκτών ασαφούς λογικής σε εφαρμογές του προγραμματιστικού περιβάλλοντος της γλώσσας C++.

- Γλώσσα ασαφούς ελέγχου (FCL):

Η γλώσσα ασαφούς ελέγχου FCL είναι μια γλώσσα κειμένου για τον ορισμό ελεγκτών ασαφούς λογικής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες γλώσσες προγραμματισμού και βιβλιοθήκες που υποστηρίζουν την ερμηνεία και την εκτέλεση της FCL.

- Βιβλιοθήκες Python:

Διάφορες βιβλιοθήκες Python, όπως η SciKit-Fuzzy, παρέχουν χρήσιμα εργαλεία για την εργασία με μεθόδους ασαφής λογικής στην γλώσσα Python. Αυτές οι βιβλιοθήκες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό, την προσομοίωση και τον έλεγχο των ασαφών συστημάτων.

- LabVIEW με εργαλειοθήκη ασαφούς λογικής:

Το LabVIEW, ένα γραφικό περιβάλλον προγραμματισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το Fuzzy Logic Toolkit για το σχεδιασμό και την υλοποίηση FLCs. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές που περιλαμβάνουν απόκτηση δεδομένων και έλεγχο υλικού.

- Simul8:

Το Simul8 είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης που περιλαμβάνει υποστήριξη για ασαφή λογική. Χρησιμοποιείται συνήθως για την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση διεργασιών σε διάφορους βιομηχανικούς χώρους .

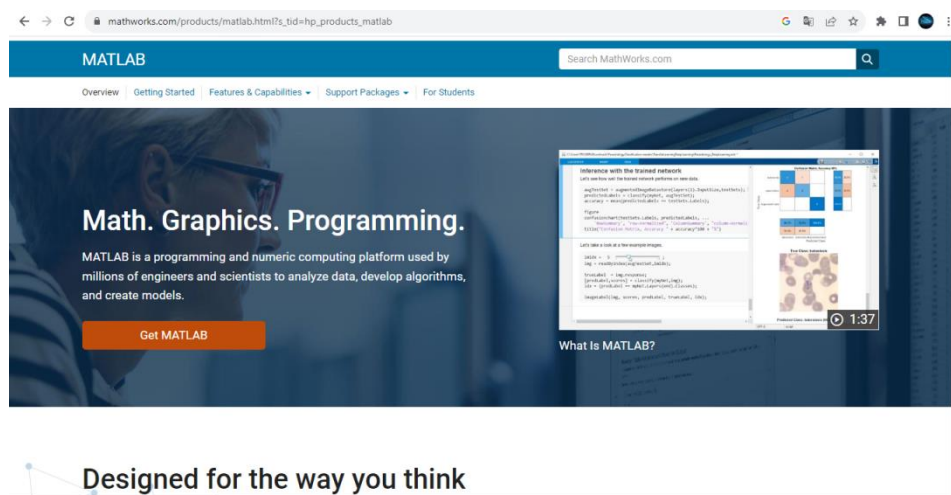
- MATLAB/Simulink με εργαλειοθήκη ασαφούς λογικής (Fuzzy Logic Toolkit):

Αυτό θα είναι και το πρόγραμμα με το οποίο θα συνθέσουμε το δικό μας κύκλωμα ελέγχου ασαφούς λογικής όπως έχουμε προαναφέρει. Το MATLAB είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο περιβάλλον αριθμητικών υπολογισμών και δημιουργίας αριθμητικών μοντέλων, ενώ το Simulink είναι ένα εργαλείο γραφικής προσομοίωσης και σχεδιασμού βάσει μοντέλων. Η εργαλειοθήκη ασαφούς λογικής για το MATLAB (Fuzzy Logic Toolkit) παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο λειτουργιών και εργαλείων για το σχεδιασμό, την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση ελεγκτών ασαφούς λογικής. Στο παρακάτω κεφάλαιο θα αναλύσουμε εκτενώς το πρόγραμμα αυτό και τις λειτουργίες του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : MATLAB FUZZY TOOLBOX-KIT

4.1 Εγκατάσταση προγράμματος

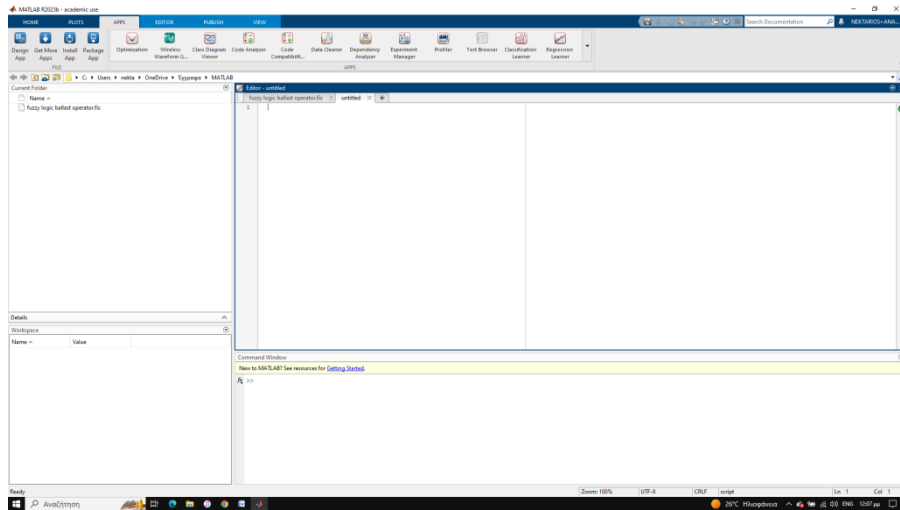
Αρχικά θα πρέπει να εγκαταστήσουμε στον υπολογιστή μας την πλατφόρμα του MATLAB, στην οποία εμπεριέχεται και το Fuzzy Logic Toolbox kit. Το MATLAB είναι διαθέσιμο μέσω της ιστοσελίδας www.mathworks.gr και μπορεί να διατεθεί για κάθε σπουδαστή δωρεάν μέσω ακαδημαϊκής σύνδεσης για το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής αλλά και για την πλειοψηφία των πανεπιστημίων πανελλαδικώς.



Εικόνα 4.1 MATLAB μέσω του Math Works

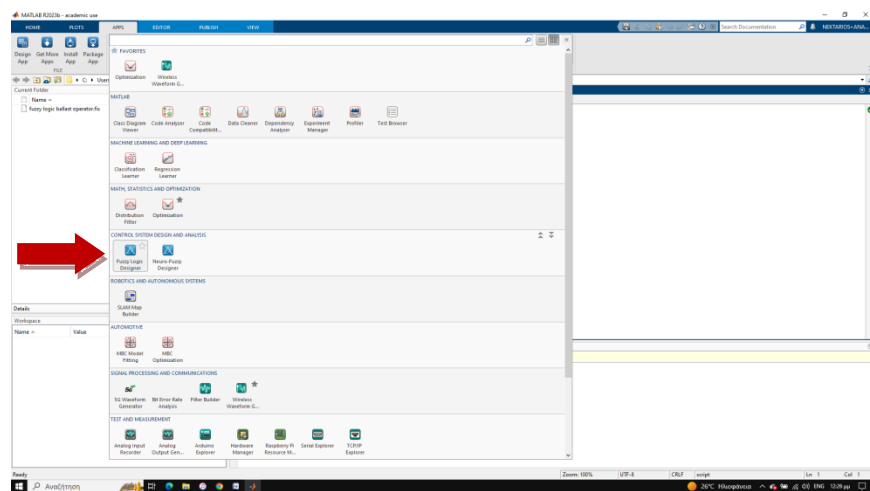
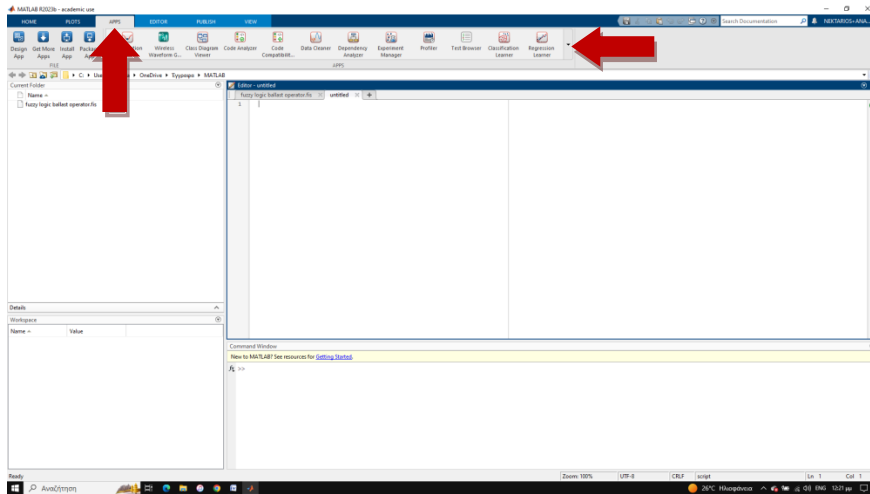
Για να εγκαταστήσουμε το πρόγραμμα στον υπολογιστή μας θα πρέπει αρχικά να δημιουργήσουμε λογαριασμό στο www.mathworks.com μέσω του ιδρυματικού μας email από το πανεπιστήμιο στο οποίο φοιτούμε . Κάνοντας την εγκατάσταση θα πρέπει να επιλέξουμε ποιά από τα πολλαπλά εργαλεία που διαθέτει το πρόγραμμα θέλουμε να έχουμε διαθέσιμα. Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω το εργαλείο το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για τη δημιουργία του ελεγκτή είναι το Fuzzy Logic Toolbox Kit .

Ανοίγοντας το πρόγραμμα η επιφάνεια διεργασίας του χρήστη είναι όπως παρακάτω :



Εικόνα 4.2 MATLAB επιφάνεια διεργασίας χρήστη

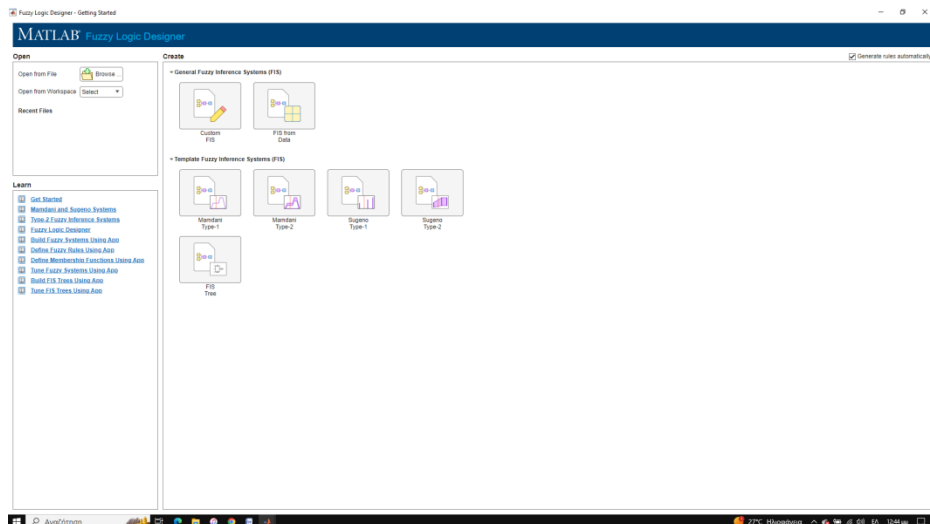
Για να ανοίξουμε το εργαλείο μας επιλέγουμε τις εφαρμογές -> Apps στην άνω γραμμή εργασιών και εκεί βρίσκουμε όλα τα διαθέσιμα εργαλεία του MATLAB . Εμείς επιλέγουμε το -> Fuzzy Logic Designer .



Εικόνες 4.3 – 4.4 MATLAB άνοιγμα Fuzzy Logic Toolbox

4.2 Ξενάγηση στο περιβάλλον χρήστη

Αφού λοιπόν ανοίξουμε το εργαλείο μας η επιφάνεια διεργασίας είναι η παρακάτω :



Εικόνα 4.5 Fuzzy Logic Toolbox Kit

Από το κεντρικό αυτό interface επιλέγουμε να σχεδιάσουμε τον ελεγκτή μας επιλέγοντας είτε να τον διαμορφώσουμε πλήρως εμείς -> Custom FIS , είτε να διαμορφώσουμε έτοιμα templates MAMDANI ή SUGENO όπως εμείς επιθυμούμε.

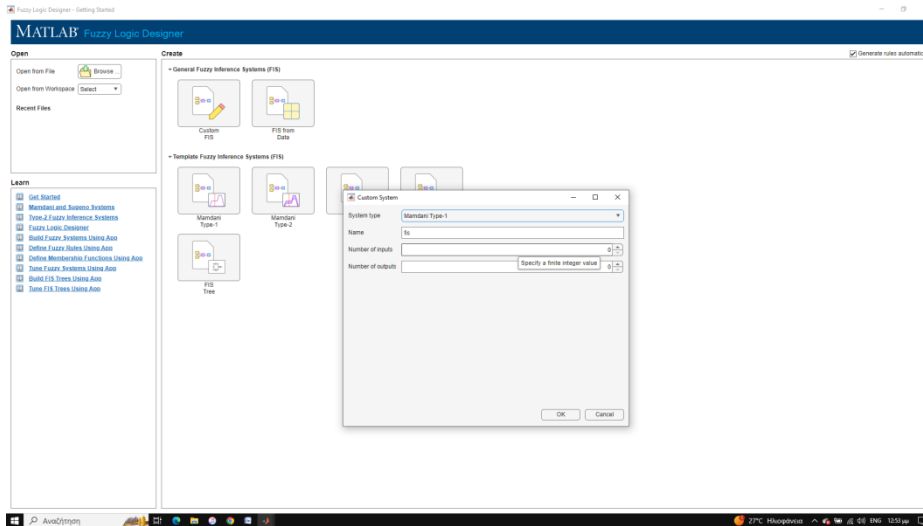
Επιπλέον στο άνω αριστερά μέρος μπορούμε να φορτώσουμε ένα έτοιμο σχεδιασμένο σύστημα από τα αρχεία μας και να το επεξεργαστούμε .

Τέλος , κάτω αριστερά διατίθενται χρήσιμα βίντεο όπου επεξηγούν πλήρως την χρήση και τις λειτουργίες του προγράμματος τα οποία καλό είναι ο κάθε χρήστης να παρακολουθήσει πριν την δημιουργία αρχείου .

4.2.1 Δημιουργία αρχείου – προγράμματος

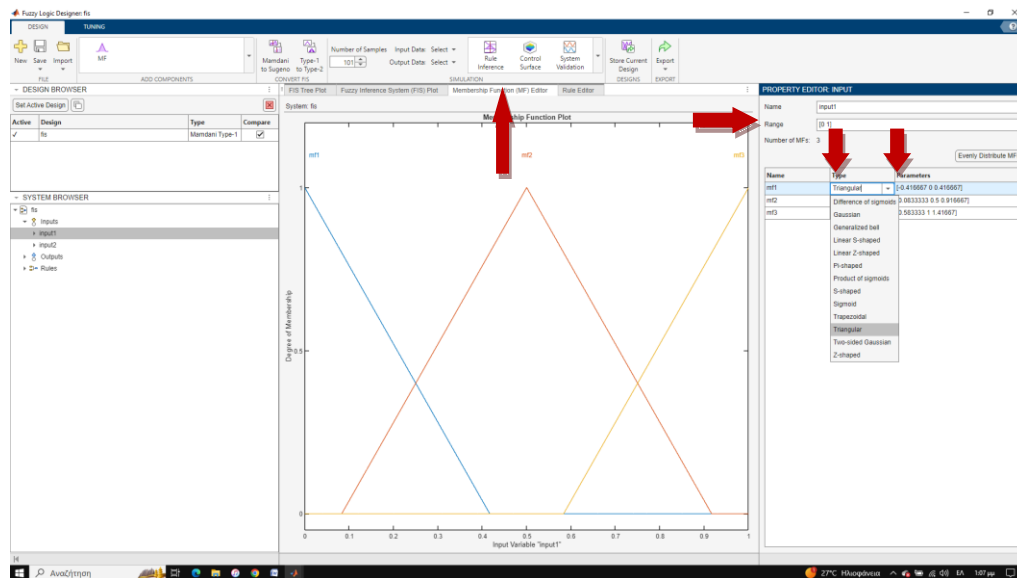
Θα διαμορφώσουμε παρακάτω ένα custom FIS :

- Βήμα 1 : Ορίζουμε τον τύπο του ελεγκτή μας και τον αριθμό των επιθυμητών εισόδων και εξόδων .



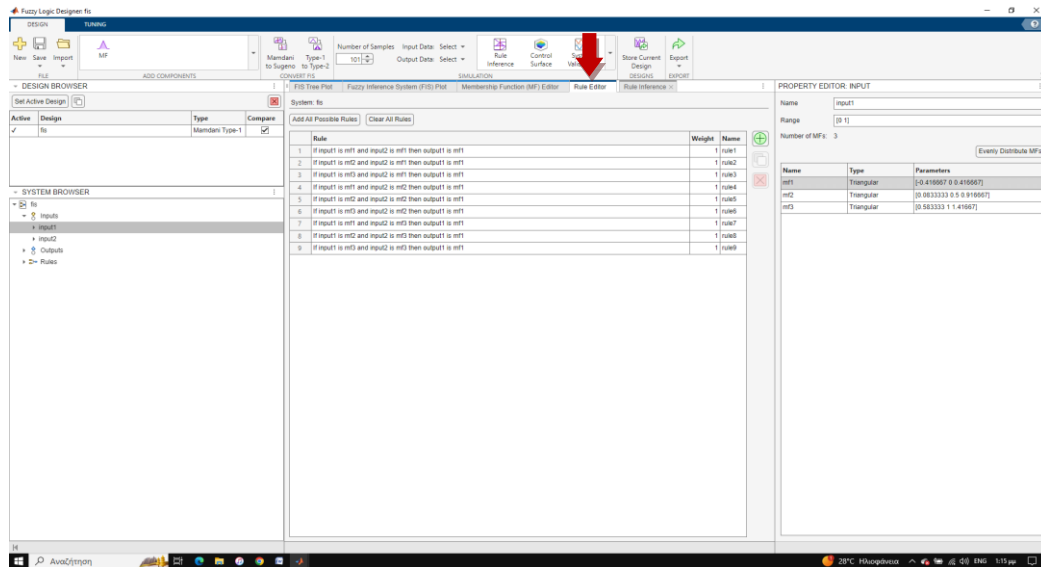
Εικόνα 4.6 Δημιουργία ελεγκτή

- Βήμα 2 : Επιλέγοντας την κάθε είσοδο/έξοδο και μετά -> Membership Function MF Editor όπως θα δείξουμε παρακάτω μπορούμε να επεξεργαστούμε για την κάθε είσοδο/έξοδο τον αριθμό και τον τύπο των συναρτήσεων συμμετοχής (τριγωνικές , τραπεζοειδείς , Gaussian κλπ) , το εύρος τιμών αυτών αλλά και το εύρος τιμών της κάθε εισόδου .



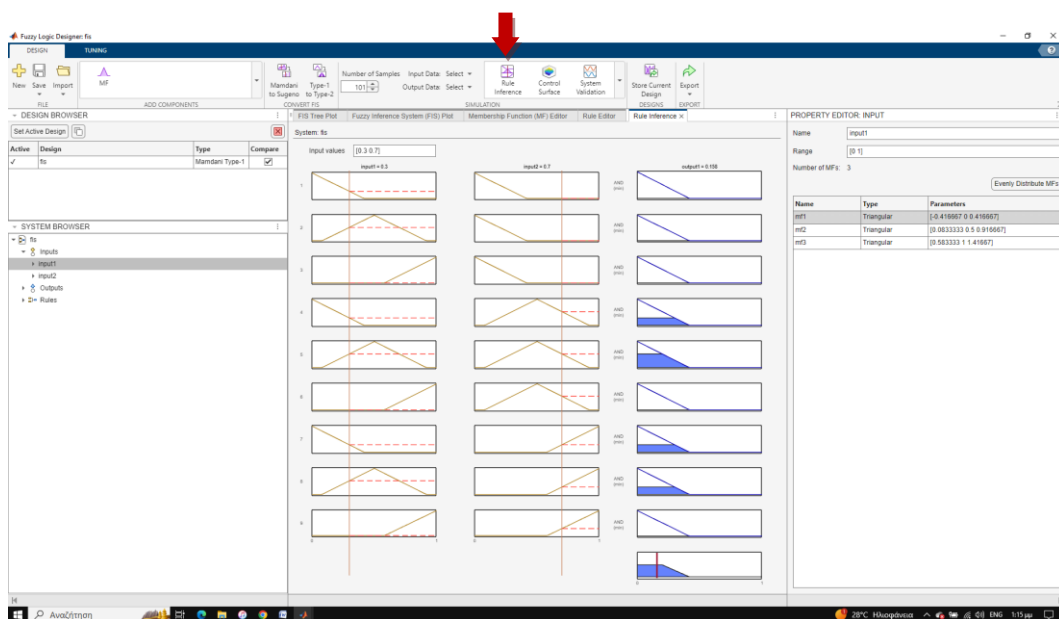
Εικόνα 4.7 Επεξεργασία εισόδων/εξόδων και συναρτήσεων συμμετοχής

- Βήμα 3 : Επιλέγοντας -> Rule editor μπορούμε να επεξεργαστούμε και να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε κανόνες για το σύστημα ασαφούς λογικής μας.



Εικόνα 4.8 Διαμόρφωση κανόνων

- Βήμα 4 : Επιλέγοντας -> Rule interference μπορούμε να προσομοιώσουμε το σύστημα μας και να παρακολουθήσουμε την ροή της εξόδου συναρτήσει των τιμών εισόδου που δίνουμε .



Εικόνα 4.9 Προσομοίωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

5.1 Το πρόγραμμα

Για να υλοποιήσουμε το πρόγραμμά μας πρέπει να ορίσουμε συνθήκες αλλά και έναν τύπο караβιού . Η φιλοσοφία του προγράμματος είναι ίδια για κάθε είδος και μέγεθος караβιού αλλά για να μπορέσουμε να δώσουμε τιμές στον ελεγκτή μας πρέπει να ορίσουμε τα παρακάτω .

Το πρόγραμμα λοιπόν θα σχεδιαστεί για ένα δεξαμενόπλοιο Panamax κατηγορίας LR – 1* , συνολικής χωρητικότητας φορτίου 60.000 dwt και συνολικής χωρητικότητας δεξαμενών έρματος 35.000 m³ . Το δεξαμενόπλοιο θα εκτελεί operation φόρτωσης καυσίμου σε λιμάνι και παράλληλα operation αφερμάτωσης (discharging) .

Το operation του discharging παράλληλα με την φόρτωση καυσίμου είναι μια διαδικασία πολύ σημαντική για τον έλεγχο της ευστάθειας του πλοίου , λάθος χειρισμοί και υπολογισμοί μπορούν να προκαλέσουν την απώλεια αυτής . Η διαδικασία της αφερμάτωσης εκτελείται από τον υποπλοίαρχο και τον ανθυποπλοίαρχο του πλοίου οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη δεδομένα όπως ο ρυθμός παροχής των αντλιών (cargo pump flow rate) όπου προμηθεύει ή αντλεί το φορτίο ο τερματικός σταθμός φόρτο-εκφόρτωσης ο οποίος σε τέτοιου τύπου πλοία κυμαίνεται από 400 έως 6500 m³/h , αλλά και τον απαιτούμενο χρόνο για την διαδικασία φόρτωσης (operation required time) όπου δίνει η διοίκηση του λιμανιού στο πλοίο (port state control) , όπου συνήθως κυμαίνεται από 18 έως 36 ώρες . Τα παραπάνω δεδομένα δεν αποτελούν σταθερούς παράγοντες και μεταβάλλονται στα διάφορα λιμάνια φόρτο-εκφόρτωσης ανά τον πλανήτη συνεπώς το πλοίο πρέπει να προσαρμοστεί στις συνθήκες αυτές .

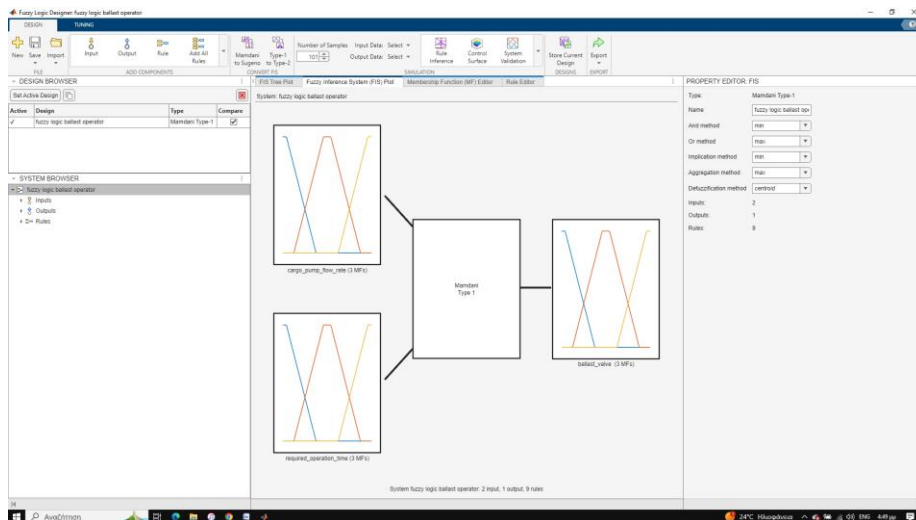
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα ο αξιωματικός ρυθμίζει την κεντρική βαλβίδα ροής του νερού έρματος (ballast valve) στο επιθυμητό ποσοστό λειτουργίας (0 -100%) ώστε να πληρωθούν οι δεξαμενές του έρματος ανάλογα με το άδειασμα των δεξαμενών του φορτίου για την διατήρηση της ευστάθειας του πλοίου . Παράλληλα επιλέγει την σειρά με την οποία θα πληρωθούν οι δεξαμενές πολύ σημαντικός παράγοντας για την ευστάθεια του πλοίου .

Στόχος μας είναι να δημιουργήσουμε ένα σύστημα ασαφούς λογικής το οποίο λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα να δίνει ως αποτέλεσμα το επιθυμητό ποσοστό λειτουργίας την βαλβίδα νερού έρματος πραγματοποιώντας έτσι τον έλεγχο του νερού έρματος (ballast water monitoring BWS) με έναν ελεγκτή ασαφούς λογικής .

* Κατηγορίες πλοίων σύμφωνα με το σύστημα afra (average freight rate assessment) – Πηγή Wikipedia

5.2 Καθορισμός εισόδων - εξόδων

Ο ελεγκτής που δημιουργούμε θα έχει ως εισόδους τον ρυθμό ροής (m^3/h) του φορτίου -> **cargo_flow_rate** , τον διαθέσιμο χρόνο για το operation στον τερματικό σταθμό -> **required_operation_time** και θα λαμβάνει ως έξοδο την βαλβίδα ροής του νερού έρματος -> **ballast_valve** οπότε το κύκλωμα παίρνει την παρακάτω μορφή .



Εικόνα 5.1 Πλοκή κυκλώματος Fuzzy Interference System Plot

Όπως θα παρατηρήσετε επιλέγουμε ο ελεγκτής να είναι ασαφούς λογικής Mamdani . Η κύρια διαφορά αυτών των δύο μεθόδων είναι στη μέθοδο

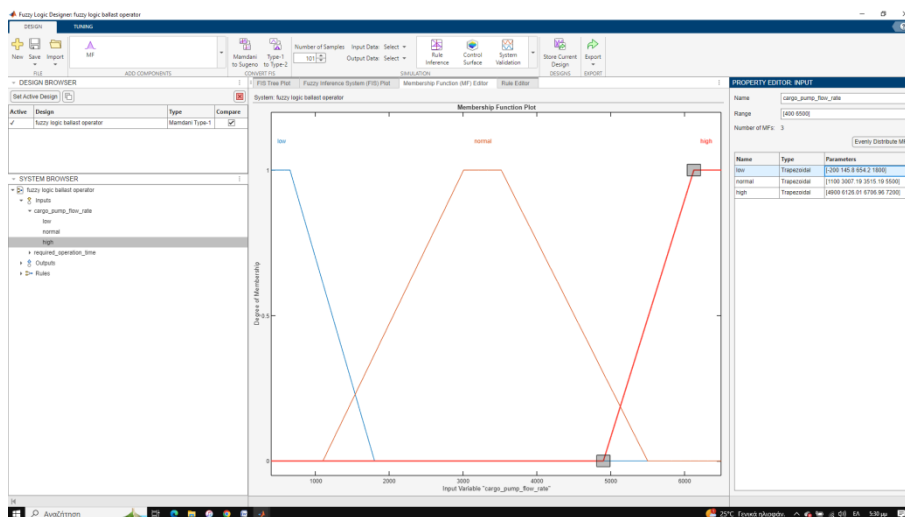
αποσαφήνισης, η οποία καθορίζει τις σαφείς εξόδους. Η μέθοδος Mamdani, η, χρησιμοποιεί τη μέθοδο του κέντρου βαρύτητας (Center of Gravity) ενώ η διαδικασία Sugeno χρησιμοποιεί τη μέθοδο του σταθμισμένου μέσου όρου (Weighted Average). Πιο συγκεκριμένα οι κανόνες ενός μοντέλου Mamdani απεικονίζουν ασαφείς αριθμούς σε ασαφείς αριθμούς, ενώ ένα μοντέλο κανόνων τύπου Sugeno απεικονίζει ασαφείς αριθμούς σε πραγματικές συναρτήσεις. Για τον λόγο αυτό για το δικό μας μοντέλο θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο Mamdani .

5.3 Διαμόρφωση συναρτήσεων συμμετοχής και εύρος τιμών

Οι δύο είσοδοι και η έξοδος αποτελούνται από τρεις τραπεζοειδής συναρτήσεις συμμετοχής τις οποίες θα αναλύσουμε παρακάτω :

❖ Input A -> **cargo_flow_rate** με εύρος τιμών [400 – 6500]

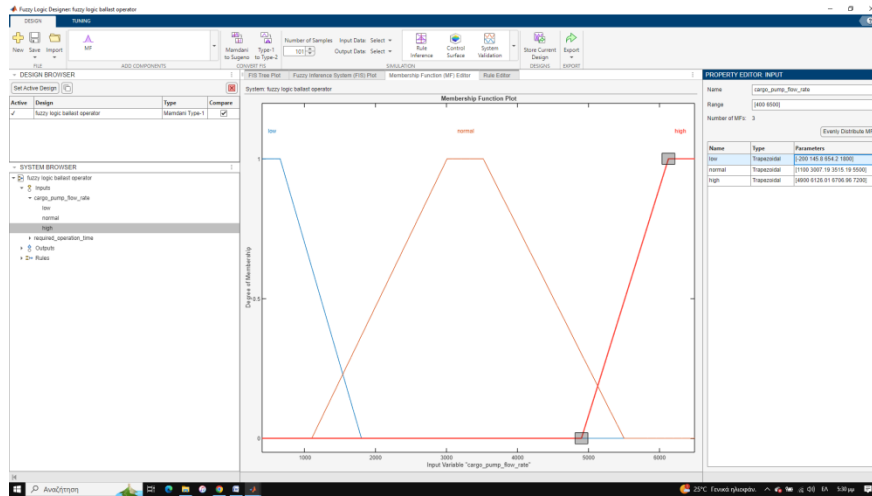
Ορίζουμε τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής(MF) -> low την περιοχή τιμών εισόδου [-200 145.8 654.2 1800] , -> normal την περιοχή τιμών εισόδου [1100 3007.19 3515.19 5500] , -> high την περιοχή τιμών με εύρος τιμών εισόδου [4900 6126.01 6706.96 7200] .



Εικόνα 5.2 Input A Membership plot

❖ Input B -> **required_operation_time** με εύρος τιμών [18 – 36]

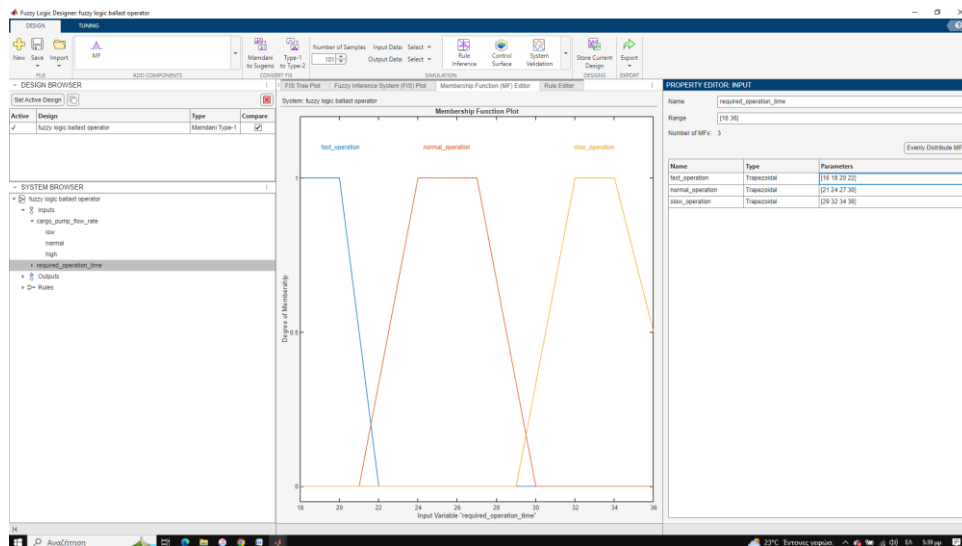
Ορίζουμε τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής -> fast operation την περιοχή τιμών εισόδου [16 18 20 22] , -> normal operation την περιοχή τιμών εισόδου [21 24 27 30] , -> slow operation την περιοχή τιμών εισόδου [29 32 34 38]



Εικόνα 5.3 Input B Membership plot

❖ Output A -> **ballast_valve** με εύρος τιμών [20 100]

Ορίζουμε τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής -> low την περιοχή τιμών εξόδου [0 15 30 40] , -> normal την περιοχή τιμών εξόδου [30 50 60 75] , -> high την περιοχή τιμών εξόδου [65 85 100 120]



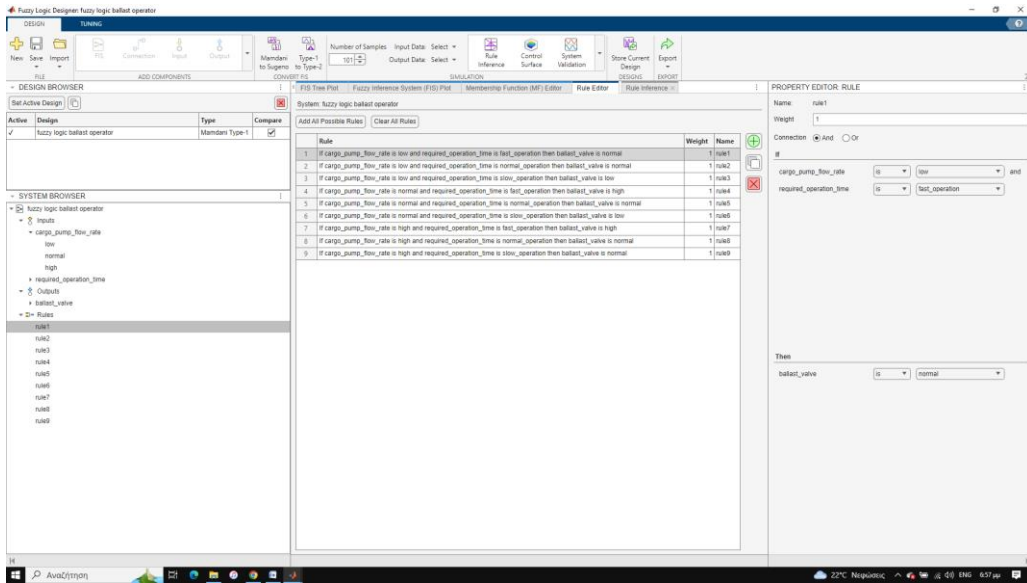
Εικόνα 5.4 Output A Membership plot

Όπως θα παρατηρηθεί , οι παράμετροι στις περιοχές τιμών των συναρτήσεων συμμετοχής επικαλύπτουν το εύρος τιμών των εισόδων , αντίστοιχα και της εξόδου . Αυτό το διαμορφώνουμε έτσι ώστε να εμφανίσουμε έξοδο και για τις τιμές των εισόδων στα άκρα του εύρους των τιμών .

5.4 Διαμόρφωση κανόνων

Για να διαμορφώσουμε τους κανόνες ασαφούς λογικής που διέπουν το σύστημα μας επιλέγουμε ->rule editor και πολύ απλά ορίζουμε συνθήκες μεταξύ των εισόδων και τις εξόδους σύμφωνα με τις οποίες θέλουμε το σύστημα να λειτουργεί . Στη συνέχεια το πρόγραμμα “μεταφράζει” τις συνθήκες αυτές σε κανόνες ασαφούς λογικής . Για δύο εισόδους με τρεις συναρτήσεις συμμετοχής η καθεμία και μια έξοδο με τρεις συναρτήσεις συμμετοχής θα διαμορφώσουμε 9 κανόνες ασαφούς λογικής . Επιλέγουμε λοιπόν σύμφωνα με τις τιμές των εισόδων , την τιμή της εξόδου σύμφωνα με εννέα συνθήκες λογικής if input is -> then output is οι οποίες είναι οι παρακάτω .

- If **cargo_flow_rate** is low and **required_operation_time** fast operation is the **ballast_valve** is normal
- If **cargo_flow_rate** is low and **required_operation_time** normal operation is the **ballast_valve** is normal
- If **cargo_flow_rate** is low and **required_operation_time** is slow operation the **ballast_valve** is low
- If **cargo_flow_rate** is normal and **required_operation_time** is fast operation the **ballast_valve** is high
- If **cargo_flow_rate** is normal and **required_operation_time** is normal the **ballast_valve** is normal
- If **cargo_flow_rate** is normal and **required_operation_time** is slow operation the **ballast_valve** is low
- If **cargo_flow_rate** is high and **required_operation_time** is fast operation the **ballast_valve** is high
- If **cargo_flow_rate** is high and **required_operation_time** is normal operation the **ballast_valve** is normal
- If **cargo_flow_rate** is high and **required_operation_time** is slow operation the **ballast_valve** is normal

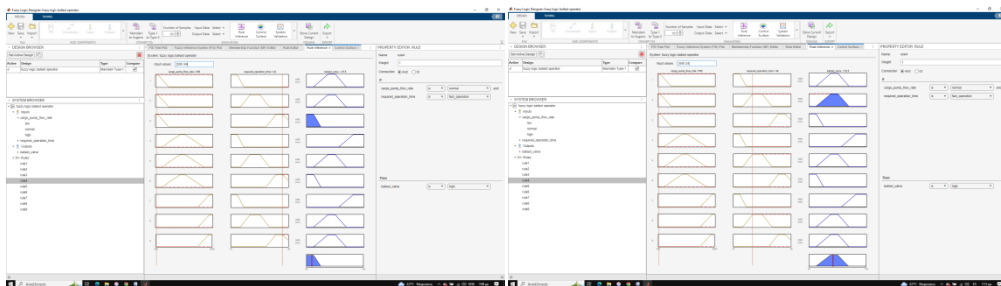


Εικόνα 5.5 Rule editor

5.5 Προσομοίωση

Ολοκληρώνουμε το πρόγραμμα προσομοιώνοντας την απόκριση της εξόδου για τις διάφορες τιμές εισόδου όπου εμείς δίνουμε μέσω του -> Rule Inference. Θα εξετάσουμε την λειτουργία της βαλβίδας για τις διάφορες τιμές της εισόδου .

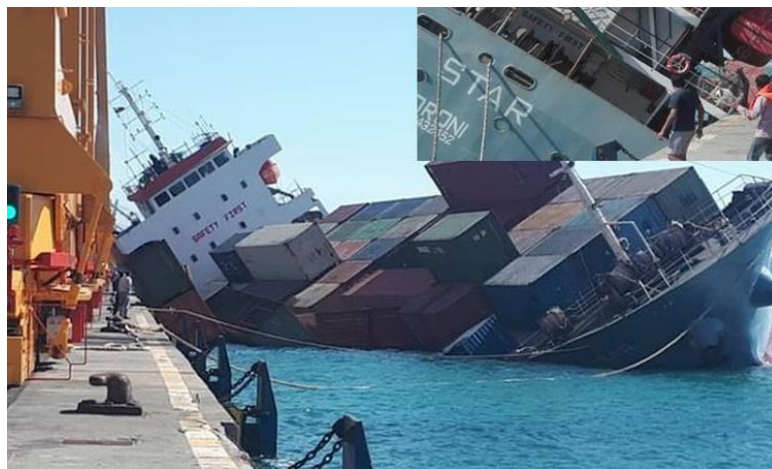
- Σενάριο I : Για low cargo_flow_rate [500] και slow_operation [34] το ballast valve δουλεύει στο 27.6% (low) που είναι ορθό αποτέλεσμα .
- Σενάριο II : Για low cargo_flow_rate [500] και normal_operation [24] το ballast valve δουλεύει στο 53.5% (normal) που είναι ορθό αποτέλεσμα .



Εικόνα 5.6 Σενάριο (I)

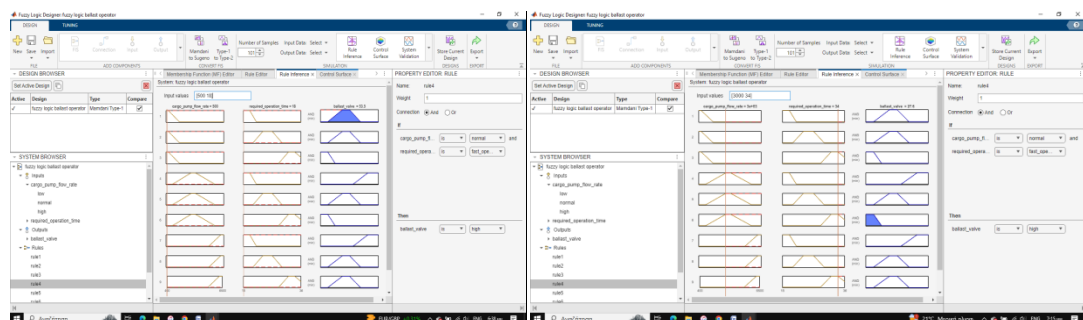
Εικόνα 5.7 Σενάριο (II)

- Σενάριο III : Για `low_cargo_flow_rate` [500] και `fast_operation` [18] παρατηρούμε ότι το ballast valve λειτουργεί σε normal ποσοστό λειτουργίας 53.5% κάτι το οποίο είναι ορθό και έχουμε εμείς επιλέξει να συμβαίνει καθώς μεγάλες ανισότητες μεταξύ του ρυθμού φόρτο-εκφόρτωσης και του ρυθμού ερμάτωσης-αφερμάτωσης μπορεί να προκαλέσει την απώλεια της ευστάθειας του πλοίου και συνεπώς σοβαρό ατύχημα όπως έχει συμβεί ανά τα χρόνια σε λιμάνια ανά την γή όπως για παράδειγμα το ατύχημα που συνέβη στο πλοίο γενικού φορτίου SL STAR στο λιμάνι Rajae, Bandar Abbas στο Ιράν που πήρε σημαντική κλίση και ύστερα βυθίστηκε , αφού υπέστη απώλεια της ευστάθειας του έπειτα από λανθασμένους χειρισμούς κατά το ballast operation (Πηγή: fleetmon.com) .



Εικόνα 5.8 Ατύχημα στο πλοίο SL STAR στο Ιράν .

- Σενάριο IV : Για `normal cargo_flow_rate` [3000] και `slow_operation` [34] το ballast valve δουλεύει στο (low) 27.6 % που είναι ορθό αποτέλεσμα .

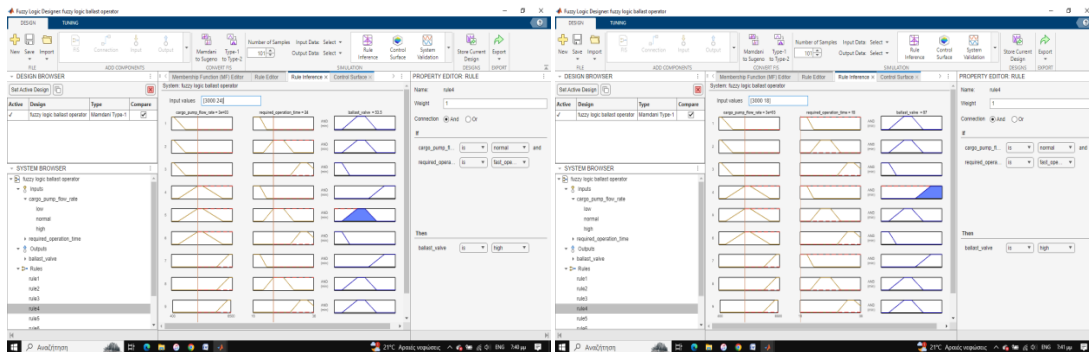


Εικόνα 5.9 : Σενάριο (III)

Εικόνα 5.10 : Σενάριο (IV)

- Σενάριο V : Για `normal cargo_flow_rate` [3000] και `normal_operation` [24] το ballast valve δουλεύει στο (normal) 53.5 % που είναι ορθό αποτέλεσμα .

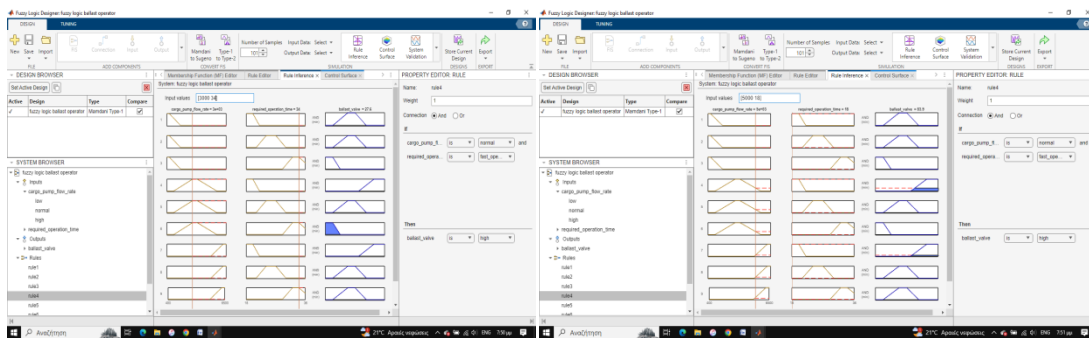
- Σενάριο VI : Για normal cargo_flow_rate [3000] και fast_operation [18] το ballast valve δουλεύει στο (high) 87 % που είναι ορθό αποτέλεσμα .



Εικόνα 5.11 Σενάριο (V)

Εικόνα 5.12 Σενάριο (VI)

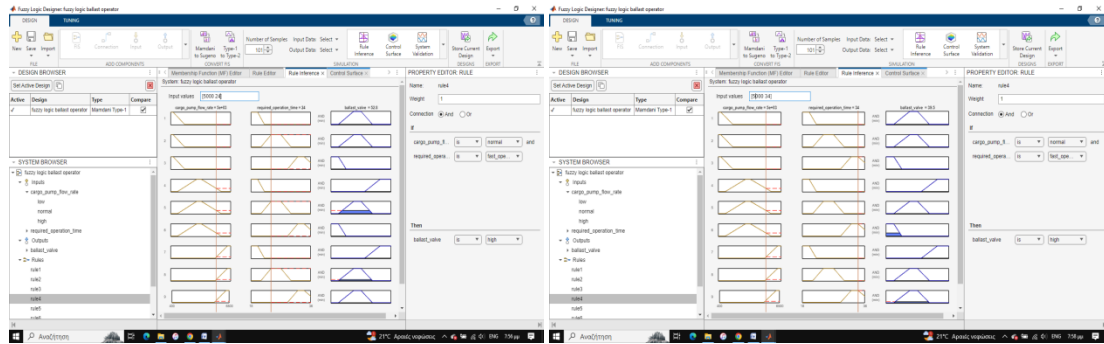
- Σενάριο VII : Για normal cargo_flow_rate [3000] και slow_operation [34] το ballast valve δουλεύει στο (low) 27.6 % που είναι ορθό αποτέλεσμα .
- Σενάριο VIII : Για high cargo_flow_rate [5000] και fast_operation [18] το ballast valve δουλεύει στο (high) 83.9% που είναι ορθό αποτέλεσμα .



Εικόνα 5.12 Σενάριο (VII)

Εικόνα 5.13 Σενάριο (VIII)

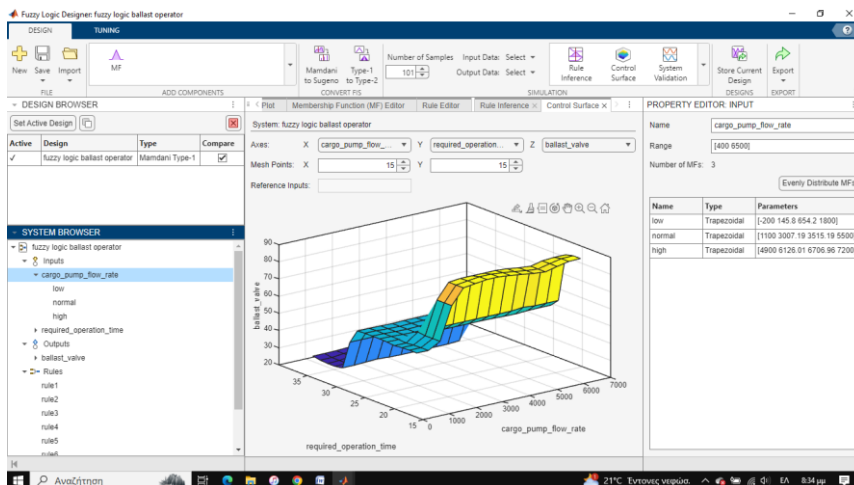
- Σενάριο IX : Για high cargo_flow_rate [5000] και normal_operation [24] το ballast valve δουλεύει στο (normal) 52.8 % που είναι ορθό αποτέλεσμα .
- Σενάριο X : Για high_cargo_flow_rate [5000] και slow_operation [34] παρατηρούμε ότι το ballast valve λειτουργεί σε normal ποσοστό λειτουργίας 39.5% κάτι το οποίο είναι ορθό και έχουμε εμείς επιλέξει να συμβαίνει καθώς όπως αναφέραμε σημαντικές ανισότητες μεταξύ του ρυθμού φορτο-εκφόρτωσης και του ρυθμού ερμάτωσης-αφερμάτωσης μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια ελέγχου ευστάθειας .



Εικόνα 5.14 Σενάριο (IX)

Εικόνα 5.15 Σενάριο (X)

Επίσης παρατηρούμε ότι για σταθερή τιμή στην είσοδο normal required_operation_time πχ [24], ο ελεγκτής που έχουμε προγραμματίσει κατά την αύξηση του cargo_flow_rate από [500] σε [3000] και [5000] η λειτουργία του valve μειώνεται από [53.5%] σε [53.3%] και σε [53.1%] που δείχνει την σωστή αντίδραση του ελεγκτή.



Εικόνα 5.16 απόκριση εισόδων-εξόδου σε διάγραμμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι γεγονός στη σημερινή εποχή πως μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο μέρος της ανθρώπινης δραστηριότητας . Ένας από αυτούς είναι και ο τομέας της ναυτιλίας .

Στόχος στην μελέτη αυτή ήταν η διαμόρφωση ενός ελεγκτή όπου θα μπορεί να ελέγξει σε ένα πλοίο την πλήρωση ή την αποβολή θαλασσινού νερού , έρματος , σύμφωνα με τον ρυθμό φόρτωσης ή εκφόρτωσης του εμπορεύματος του πλοίου με σκοπό την διατήρηση της ευστάθειας αυτού , την ομοιόμορφη κατανομή πιέσεων στην γάστρα του πλοίου , με σκοπό την ασφαλή πλεύση αυτού . Το παραπάνω επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της λειτουργίας μιας βαλβίδας ροής θαλασσινού νερού σύμφωνα με τον ρυθμό μεταβολής του φορτίου του πλοίου αλλά και τον συνολικό διαθέσιμο χρόνο για την φόρτωση ή την εκφόρτωση . Άρα λοιπόν ο ελεγκτής λαμβάνοντας δεδομένα χρόνου και παροχής φορτίου υπολογίζει σε ποσοστιαία μονάδα την λειτουργία της βαλβίδας ροής ελέγχοντας έτσι την ποσότητα νερού που θα πληρώσει τις δεξαμενές έρματος ή θα αποβληθεί από αυτές .

Με την μελέτη αυτή αποδεικνύεται ότι για τέτοιου είδους διεργασίες ένας ελεγκτής ασαφούς λογικής μπορεί να αντικαταστήσει το ανθρώπινο χέρι , την ανθρώπινη λήψη αποφάσεων και να αυτοματοποιήσει την σημαντική διεργασία της φορτοεκφόρτωσης . Η ασαφής λογική αποτελεί βασική έννοια στην μελέτη αυτή και είναι βασικό για τον αναγνώστη να την κατανοήσει αλλά και να καταλάβει τις δυνατότητες της αλλά και τους τομείς εφαρμογής των ελεγκτών ασαφούς λογικής .

Είναι γεγονός ότι η ασαφής λογική δεν μπορεί να απαντήσει στα ερωτήματα που θέτει η δυαδική λογική για παράδειγμα η ασαφής λογική δεν μπορεί να υλοποιήσει το σενάριο : αν ισχύει μια A συνθήκη τότε το σέρβο-μοτέρ να ξεκινήσει , αν ισχύει μια B συνθήκη τότε το σέρβο-μοτέρ να σταματήσει . Η ασαφής λογική μπορεί να δώσει απάντηση σε αβέβαια ερωτήματα και η απάντηση αυτή είναι αβέβαια σύνολα τιμών . Για παράδειγμα η ασαφής λογική βρίσκει εφαρμογή στο σενάριο : αν ισχύει μια A συνθήκη τότε το σέρβο – μοτέρ θα δουλέψει στην χαμηλή ταχύτητα , αν ισχύει μια B συνθήκη τότε το σέρβο-μοτέρ θα δουλέψει στην υψηλή ταχύτητα . Καταλαβαίνουμε ότι με έναν ελεγκτή ασαφούς λογικής δεν μπορούμε να πούμε αν το σέρβο – μοτέρ θα δουλέψει η όχι αλλά μπορούμε να πούμε αν θα δουλέψει στην χαμηλή ή στην υψηλή ταχύτητα .

Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα των συστημάτων ελέγχου, προσφέροντας μια κομψή λύση για τη διαχείριση της αβεβαιότητας και της ανακρίβειας. Έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, που εκτείνονται από τον βιομηχανικό αυτοματισμό έως τη ρομποτική και τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης. Η ικανότητα γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ ακρίβειας και αβεβαιότητας καθιστά τους ελεγκτές αυτούς ένα πολύτιμο εργαλείο για τη σύγχρονη μηχανική. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και η ανάγκη για έξυπνα, προσαρμόσιμα συστήματα αυξάνεται, οι ελεγκτές ασαφούς λογικής θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στον κόσμο του ελέγχου και του αυτοματισμού.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Εικόνες :

- ❖ Εικόνα 1.1 : Πηγή *Google*
- ❖ Εικόνα 1.2 : Πηγή *Ballast Water Management Methods Youtube*
- ❖ Εικόνα 1.3 : Πηγή *Riviera Maritime Media*
- ❖ Εικόνα 2.1 : Πηγή *Castle Pumps – Marine ballast pumps*
- ❖ Εικόνα 2.2 – Εικόνα 2.3 : Πηγή *Marine equipment – Butterfly Valves*
- ❖ Εικόνα 2.4 : Πηγή *ScienceDirect.com*
- ❖ Εικόνα 3.1 : Πηγή *Ασαφής λογική eclass.unipi.gr*
- ❖ Εικόνα 3.2 : Πηγή *Ασαφής λογική eclass.unipi.gr*
- ❖ Εικόνα 3.3 – Εικόνα 3.4 : Πηγή *Στοιχεία της Ασαφούς Λογικής eclass.upatras.gr*
- ❖ Εικόνα 3.5 : Πηγή *Στοιχεία της Ασαφούς Λογικής eclass.upatras.gr*

Πηγές :

- ❖ <https://www.capital.gr> *Antipollution: Νέα ελληνική είσοδος στο Ballast Water Treatment*
- ❖ www.isalos.net
- ❖ <https://www.imo.org> *Ballast Water Management*
- ❖ <https://www.marineinsight.com> *How Ballast Water Treatment System Works?*
- ❖ <https://www.sym-naval.com> *Experts in ballast water management systems (BWTS)*
- ❖ <https://asiansealand.com> *History Of Water Ballast Tank And Why Is Ballast Water Treatment Important?*
- ❖ <https://knowledgeofsea.com>
- ❖ <https://bulkcarrierguide.com> *(DB) tanks, topside tanks & wing tanks for bulk carriers ballast handling*
- ❖ <https://www.sciencedirect.com> *Ballast Tanks*
- ❖ <https://www.omega.co.uk> *How does a Fuzzy Logic Controller work?*
- ❖ <https://www.investopedia.com> *Fuzzy Logic: Definition, Meaning, Examples, and History*
- ❖ <https://ocp.teiath.gr> *Ασαφής Λογική*
- ❖ <https://eclass.upatras.gr> *Ασαφής Λογική*

- ❖ Υπολογιστική Νοημοσύνη και Ευφυείς Πράκτορες, Εκδοτες: ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Α.Ε.
- ❖ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ, Εκδοτες: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΕ