



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών
Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΜΕ
ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ

ΜΟΥΧΤΟΓΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

A.M. 71447505

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Δρ. Ζαχαρία Παρασκευή

ΑΘΗΝΑ, 2023

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ:

<p>Δρ. Ζαχαρία Παρασκευή - Επ. Καθηγήτρια του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής- Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής</p>	<p>Δρ. Χατζόπουλος Αβραάμ – Λέκτορας Εφαρμογών στο Τμήμα Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής – Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής</p>	<p>Δρ. Ξυδιάς Ηλίας – Επ. Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων – Πανεπιστήμιο Αιγαίου</p>
---	--	--

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μουχτόγλου Κωνσταντίνα του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 71447505 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, 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».

Η Δηλούσα

Μουχτόγλου Κωνσταντίνα



Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής στο τμήμα των Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής.

Θα ήθελα πρώτα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια, Δρ. Ζαχαρία Παρασκευή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας αλλά και για την υποστήριξή της καθ' όλη την διάρκεια.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου Οικονομίδα Γιώργο και Αλαφάκη Δημήτρη, για την στήριξη που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια της σταδιοδρομίας μου.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω δύο φίλους μου που εργάζονται στον τομέα της ναυτιλίας και μου παρείχαν πολύτιμες πληροφορίες, χωρίς τις οποίες δεν θα είχα αναλάβει την παρούσα εργασία.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους κοντινούς μου ανθρώπους και την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την υπομονή που μου έχουν προσφέρει κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια οι συνέπειες της ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος γίνεται ολοένα και πιο καταστροφικές. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προκαλέσει αλλοιώσεις στην ατμόσφαιρα, στην βιοποικιλότητα και στο θαλάσσιο περιβάλλον. Καθώς η θάλασσα συνιστά το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, είναι υπεύθυνη για την παραγωγή οξυγόνου, την ρύθμιση του κλίματος και αποτελεί σημαντική πηγή τροφής, η προστασία της είναι υψίστης σημασίας.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία αποτελεί σημαντικό πυλώνα για την παγκόσμια οικονομία, ωστόσο εγκυμονεί πολλούς κινδύνους για το περιβάλλον. Ειδικότερα, η διαδικασία ερματισμού που πραγματοποιείται κατά τις θαλάσσιες μεταφορές έχει οδηγήσει σε οικολογικές ανισορροπίες και σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις..

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο μοντέλο ανάλυσης κινδύνου που χρησιμοποιεί συστήματα ασαφούς λογικής για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού κινδύνου που συνδέεται με τις λειτουργίες ερματισμού των πλοίων.

Τα παραδοσιακά μοντέλα εκτίμησης κινδύνου συχνά αδυνατούν να αποτυπώσουν την πολυπλοκότητα και τις αβεβαιότητες που ενυπάρχουν στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών κινδύνων που προκαλούνται από το νερό έρματος. Η ασαφής λογική, γνωστή για την ικανότητά της να χειρίζεται ασαφείς και ανακριβείς πληροφορίες, προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης. Με την ενσωμάτωση ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων, το μοντέλο αυτό παρέχει μια ακριβέστερη αναπαράσταση των πολύπλευρων παραγόντων που συμβάλλουν στους περιβαλλοντικούς κινδύνους που σχετίζονται με το νερό έρματος.

Abstract

In recent years, the consequences of environmental pollution have become increasingly destructive. Human activities have caused alterations in the atmosphere, biodiversity, and marine environment. As the sea constitutes the largest part of the planet, being responsible for oxygen production, climate regulation, and serving as a significant source of food, its protection is of utmost importance.

While the maritime industry holds a pivotal position in the global economy, it also poses numerous environmental challenges. In particular, the treatment of ballast water in maritime transport has resulted in disruptions to biodiversity and substantial economic repercussions.

This diplomatic thesis presents an integrated risk analysis model that uses fuzzy logic systems to assess the environmental risk associated with ship ballast water management operations.

Traditional risk assessment models often fail to capture the complexity and uncertainties inherent in assessing environmental risks caused by ballast water. Fuzzy logic, known for its ability to handle vague and imprecise information, offers a promising approach to address this challenge. By incorporating qualitative and quantitative data, this model provides a more accurate representation of the multifaceted factors contributing to environmental risks related to ballast water.

Πίνακας περιεχομένων

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract	6
Κατάλογος Εικόνων	8
Κατάλογος Πινάκων.....	9
Κεφάλαιο 1: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις θαλάσσιες μεταφορές	10
1.1 Θαλάσσιες Μεταφορές	10
1.1.1 Ιστορική αναδρομή	10
1.1.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλίας.....	11
1.2 Νερό Έρματος.....	19
1.2.1 Χρήσεις νερού έρματος.....	19
1.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις νερού έρματος	20
1.2.3 Διεθνείς κανονισμοί για το νερό έρματος.....	22
1.2.4 Μέθοδοι ανταλλαγής και επεξεργασίας νερού έρματος.....	23
Κεφάλαιο 2: Ασαφής Λογική.....	27
2.1 Ασαφή Συστήματα.....	27
2.2 Μαθηματική ανάλυση.....	27
2.2.1 Ασαφές σύνολο	27
2.2.2 Αρχές και κανόνες ασαφούς λογικής	32
2.3 Εφαρμογές.....	35
2.4 Matlab	36
Κεφάλαιο 3: Εκτίμηση κινδύνου στις διαδικασίες ερματισμού μέσω ασαφών συστημάτων	40
3.1 Ανάλυση επικινδυνότητας στον ερματισμό.....	40
3.2 Project Development.....	40
3.2.1 Ασαφές σύστημα Ερματισμού	41
3.2.2 Ασαφές σύστημα Ανταλλαγής Έρματος.....	56
3.2.3 Ασαφές Σύστημα Αφερματισμού.....	69
Συμπεράσματα	84
Βιβλιογραφία.....	85

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Παγκόσμιος Στόλος σύμφωνα με τα στοιχεία της EQUASIS για το έτος 2021	11
Εικόνα 2: Sewage Treatment Plant. Πηγή: https://www.marineinsight.com/tech/sewage-treatment-plant/	15
Εικόνα 3: Κύκλος έρματος (Πηγή: Global Ballast Water Management Program,(Τσιμίνος, 2022)).....	19
Εικόνα 4: Γραφική αναπαράσταση ασαφών συνόλων. Πηγή: (Παπαδάκης & Αδαμίδης, 2004)	28
Εικόνα 5: Τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008).....	29
Εικόνα 6: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008).....	29
Εικόνα 7: Σιγμοειδής συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008)	29
Εικόνα 8: Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008).....	30
Εικόνα 9 : Γραφική αναπαράσταση της ένωσης, τομής και του συμπληρώματος. Πηγή:(Θεοδώρου, 2010)	31
Εικόνα 10: Ιδιότητες ασαφών συνόλων. Πηγή:(Θεοδώρου, 2010).....	31
Εικόνα 11: Λεκτικός διαμερισμός εισόδων - εξόδων. Πηγή:(Παπαδάκης & Αδαμίδης, 2004).....	33
Εικόνα 12: Γραφική παράσταση του ασαφούς συνόλου εξόδου. Πηγή:(Παπαδάκης & Αδαμίδης, 2004)	34
Εικόνα 13: Matlab: Ενεργοποίηση fuzzy toolbox	36
Εικόνα 14: Matlab: Fuzzy Logic Designer	37
Εικόνα 15: Matlab: Συνάρτηση συμμετοχής εισόδου	37
Εικόνα 16: Matlab: Προσθήκη μεταβλητών	38
Εικόνα 17: Matlab: Προσθήκη κανόνων (α)	38
Εικόνα 18: Matlab: Προσθήκη κανόνων (β)	39
Εικόνα 19: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's Capacity	41
Εικόνα 20: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Receptor filter's clarity	42
Εικόνα 21: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Harbor's water turbidity.....	43
Εικόνα 22: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Ship's construction date	44
Εικόνα 23: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's clarity before ballasting	45
Εικόνα 24: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Distance from sewage outfalls	46
Εικόνα 25: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Distance from dredging operations.....	47
Εικόνα 26: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Brightness.....	48
Εικόνα 27: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Weather conditions.....	49
Εικόνα 28: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Human error probability	50
Εικόνα 29: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Ballasting flow rate	51
Εικόνα 30: Ασαφές Σύστημα Ερματισμού	52
Εικόνα 32: Rule Viewer - Ballasting Risk.....	56
Εικόνα 33: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's Capacity.....	57
Εικόνα 34: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Depth during exchange	58
Εικόνα 35: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Ship's construction date	59
Εικόνα 36: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's clarity before ballasting....	60
Εικόνα 37: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Maritime traffic	61
Εικόνα 38: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Distance from coast.....	62
Εικόνα 39: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Weather conditions.....	63
Εικόνα 40: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Human error probability	64
Εικόνα 41: Ασαφές σύστημα ανταλλαγής έρματος	65

Εικόνα 42: Rule viewer - Ballast Exchange	69
Εικόνα 43: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's capacity.....	70
Εικόνα 44: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Harmful organisms' concentration	71
Εικόνα 45: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Oxidants' concentration	72
Εικόνα 46: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Salinity Difference.....	73
Εικόνα 47: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Temperature difference	74
Εικόνα 48: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Ship's construction date	75
Εικόνα 49: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's clarity	76
Εικόνα 50: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Sailing days with ballast.....	77
Εικόνα 51: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Exchanged water's amount	78
Εικόνα 52: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Human error probability.....	79
Εικόνα 53: Ασαφές σύστημα αφερματισμού	80
Εικόνα 54: Rule viewer - De-Ballasting	83

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Επιτρεπτά όρια περιεκτικότητας επιβλαβών οργανισμών (Τσιμίνος, 2022)	22
Πίνακας 2: Επιτρεπόμενα όρια περιεκτικότητας σε επιβλαβείς οργανισμούς. Πηγή:(Τσιμίνος, 2022).....	71

Κεφάλαιο 1: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις θαλάσσιες μεταφορές

1.1 Θαλάσσιες Μεταφορές

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ναυτιλία εισήλθε στην ιστορία της ανθρωπότητας χιλιάδες χρόνια πριν. Η πρώτη ένδειξη ύπαρξης της ναυτιλίας χρονολογείται το 3.500 με 3.000 π.Χ. στην Μεσοποταμία. Η ανάπτυξη θαλάσσιου εμπορίου αποτέλεσε ακρογωνιαίο λίθο της ανθρώπινης προόδου, καθώς προώθησε την οικονομική ανάπτυξη μέσω της ανταλλαγής πόρων και αγαθών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η συνεισφορά της ναυτιλίας στην παγκόσμια ανάπτυξη, την κατέστησε αναπόσπαστο μέρος της παραγωγικής διαδικασίας με διεθνή χαρακτήρα. Αργότερα, με την είσοδο της παγκοσμιοποίησης, η ναυτιλία γνώρισε μεγάλη άνθηση, αφού τα τελευταία 150 χρόνια το διεθνές εμπόριο φαίνεται να πολλαπλασιάστηκε κατά 140 φορές. Αυτή τη στιγμή, η εμπορική ναυτιλία διεκπεραιώνει το 90% του παγκόσμιου εμπορίου (Ojala & Tenold, 2017).

Αν και στις θαλάσσιες μεταφορές γίνεται χρήση των πιο ενεργειακά αποδοτικών μεθόδων για την μεταφορά αγαθών, η μεγάλη άνθηση που γνώρισε ο κλάδος οδήγησε σε αξιοσημείωτες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Λόγω της εγγενούς παγκόσμιας φύσης της ναυτιλίας, η αναγκαιότητα θέσπισης διεθνών κανονισμών για την προστασία όλων των εμπλεκόμενων χωρών έγινε γρήγορα αισθητή. Έτσι, το 1948 ιδρύθηκε επίσημα ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας ή αλλιώς IMO (International Maritime Organization). Οι σκοποί του Οργανισμού, ορίζονται ως "η παροχή μηχανισμού για τη συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων στον τομέα των κυβερνητικών ρυθμίσεων και πρακτικών που αφορούν τεχνικά θέματα κάθε είδους που επηρεάζουν τη ναυτιλία που δραστηριοποιείται στο διεθνές εμπόριο- η ενθάρρυνση και η διευκόλυνση της γενικής υιοθέτησης των υψηλότερων εφικτών προτύπων σε θέματα που αφορούν τη θαλάσσια ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας και την πρόληψη και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία". Έτσι, οδηγήθηκαν και στην έγκριση της έκδοσης της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα (SOLAS). Αν και ο βασικός άξονας του Οργανισμού ήταν η ασφάλεια στις θαλάσσιες μεταφορές, δεν άργησε να επεκταθεί στον τομέα της ρύπανσης όταν άρχισαν να γίνονται εμφανείς οι συνέπειες της ναυτιλίας στο περιβάλλον. Στις 02 Νοεμβρίου του 1973 εγκρίθηκε και η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από πλοία (MARPOL), και αφορά την πρόληψη τόσο λόγω λειτουργικών όσο και τυχαίων αιτιών. Τα έξι παραρτήματα που περιλαμβάνονται στη σύμβαση είναι ως παρακάτω:

Παράρτημα 1

Κανονισμοί για την πρόληψη ρύπανσης από πετρέλαιο (Τέθηκε σε ισχύ στις 02 Οκτωβρίου 1983)

Παράρτημα 2

Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες χύδην (Τέθηκε σε ισχύ στις 02 Οκτωβρίου 1983)

Παράρτημα 3

Πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται δια θαλάσσης σε συσκευασμένη μορφή (Τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιουλίου 1992)

Παράρτημα 4

Πρόληψη της ρύπανσης από λύματα από πλοία (Τέθηκε σε ισχύ στις 27 Σεπτεμβρίου 2003)

Παράρτημα 5

Πρόληψη της ρύπανσης από τα απορρίματα πλοίων (Τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 1988)

Παράρτημα 6

Πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία (Τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005)

(Final Act of the International Conference on Marine Pollution, 1973, 1973)

Η σύμβαση αυτή έχει υπογραφεί από 156 κράτη-μέλη μέχρι στιγμής, τα οποία αποτελούν κράτη σημαίας του 99,42% της παγκόσμιας χωρητικότητας ναυτιλίας

1.1.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλίας

Στην ναυτιλιακή βιομηχανία αποδίδεται ένα μεγάλο μερίδιο ευθύνης για την ρύπανση του πλανήτη. Πολλές από τις διεργασίες που λαμβάνουν μέρος στα πλωτά μέσα προκαλούν ανεπανόρθωτες συνέπειες στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου στόλου συντελεί στην ραγδαία επιδείνωση της οικολογικής αλλοίωσης. Σύμφωνα με την EQUASIS (Electronic Quality Shipping Information System), για το έτος 2021 ο παγκόσμιος στόλος πλωτών μέσων παντός τύπου ανέρχεται στα 118.928.

Ship Type	Small ⁽¹⁾		Medium ⁽²⁾		Large ⁽³⁾		Very Large ⁽⁴⁾		Total	
General Cargo Ships	4,089	7.4%	11,814	27.0%	264	2.1%			16,167	13.6%
Specialized Cargo Ships	8	0.0%	266	0.6%	64	0.5%	7	0.1%	345	0.3%
Container Ships	19	0.0%	2,315	5.3%	1,629	12.7%	1,554	22.2%	5,517	4.6%
Ro-Ro Cargo Ships	39	0.1%	601	1.4%	549	4.3%	268	3.8%	1,457	1.2%
Bulk Carriers	286	0.5%	3,847	8.8%	6,842	53.5%	1,899	27.1%	12,874	10.8%
Oil and Chemical Tankers	1,979	3.6%	7,372	16.9%	2,773	21.7%	2,185	31.2%	14,309	12.0%
Gas Tankers	36	0.1%	1,145	2.6%	433	3.4%	591	8.4%	2,205	1.9%
Other Tankers	437	0.8%	741	1.7%	16	0.1%			1,194	1.0%
Passenger Ships	3,435	6.2%	825	1.9%	71	0.6%	187	2.7%	4,518	3.8%
Offshore Vessels	2,812	5.1%	5,135	11.7%	119	0.9%	298	4.3%	8,364	7.0%
Service Ships	3,197	5.8%	2,994	6.8%	35	0.3%	7	0.1%	6,233	5.2%
Tugs	18,860	34.1%	933	2.1%					19,793	16.6%
Fishing Vessels	20,186	36.4%	5,762	13.2%	4	0.0%			25,952	21.8%
Total	55,383	100%	43,750	100%	12,799	100%	6,996	100%	118,928	100%

Source: Equasis ⁽¹⁾ GT<500 - ⁽²⁾ 500≤GT<25.000 - ⁽³⁾ 25.000≤GT<60.000 - ⁽⁴⁾ GT≥60.000

Εικόνα 1: Παγκόσμιος Στόλος σύμφωνα με τα στοιχεία της EQUASIS για το έτος 2021

Ακολουθούν οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλίας συνολικά.

1.1.2.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στις θαλάσσιες μεταφορές προκαλείται από την εκπομπή επιβλαβών ρύπων κατά την λειτουργία του κινητήρα ενός πλοίου. Το ποσοστό των εκπομπών εξαρτάται τόσο από τον τύπο του καυσίμου, όσο και από τον τύπο και την απόδοση του κινητήρα. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε ένα πλοίο (bunker oils) είναι το μέτριο μαζούτ (MFO), το βαρύ μαζούτ (HFO) και το ναυτιλιακό πετρέλαιο (MDO). (Walker κ.ά., 2019)

Το 2018 η εκπομπή ρύπων από πλοία ανερχόταν στους 1.076,00 εκατομμύρια τόνους, ήτοι περίπου το 3% της παγκόσμιας εκπομπής. Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας, πρόβλεψε ότι το 2050 θα αυξηθούν κατά 90% - 130%. (Gössling κ.ά., 2021) Έτσι, το 2018 ενέκρινε ψήφισμα προκειμένου να υπάρξει μείωση της εκπομπής ρύπων ως το 2050 κατά 50% συγκριτικά με αυτές του 2008. (Bui & Perera, 2019)

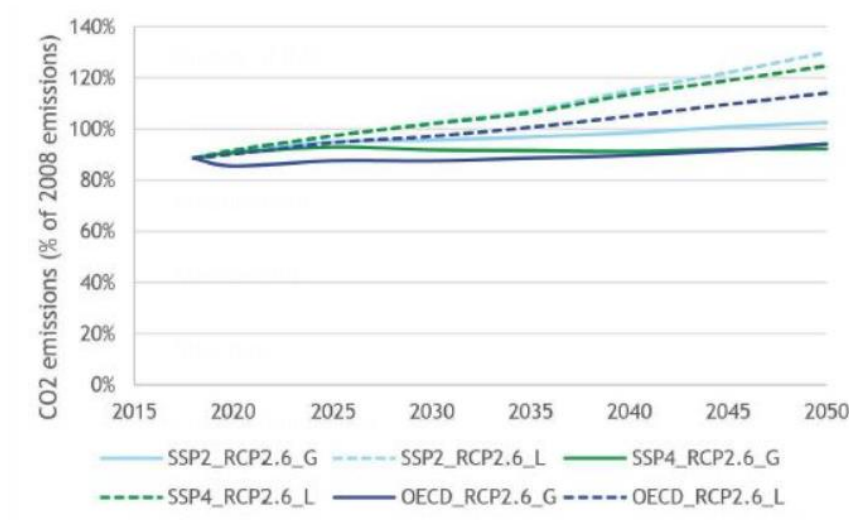


Figure 1 - Πρόβλεψη των εκπομπών θαλάσσιων πλοίων ως ποσοστό εκπομπών του 2008 (IMO)

Κατά κύριο λόγο οι ρύποι που εκπέμπονται από τα πλοία είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), καθώς και διάφορα οξείδια αζώτου (NO_x) και θείου (SO_x). Στο διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το διοξείδιο του αζώτου αποδίδεται η ευθύνη για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα οξείδια αζώτου και θείου είναι οι βασικότεροι ρύποι που εκπέμπονται από τα πλοία, για τους οποίους οι θαλάσσιες μεταφορές κατέχουν το 10-15% των εκπομπών τους παγκοσμίως.

Ενώ τα τελευταία χρόνια τα καύσιμα των πλοίων υφίστανται αυστηρούς περιορισμούς για την περιεκτικότητά τους σε θείο όταν εισέρχονται σε περιοχές υψηλού κινδύνου, στις υπόλοιπες περιοχές, αλλά και στις Ευρωπαϊκές ζώνες οι εκπομπές των υπόλοιπων ρύπων συνέχισαν να παρουσιάζουν ανοδική πορεία.

Τα παραπάνω συμβάλλουν τόσο στην κλιματική αλλαγή όσο και στην πρόκληση όξινης βροχής στην οποία οφείλεται η διάβρωση κτιριακών δομών, αλλά και η καταστροφή καλλιεργειών.

Εκτός από τις υλικές καταστροφές που σημειώνονται όμως, τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που συνδέουν τους εκπεμπόμενους ρύπους με την εμφάνιση ασθενειών και την αύξηση της παγκόσμιας θνησιμότητας, ειδικότερα σε τοποθεσίες κατά μήκος μεγάλων ναυτιλιακών οδών. Οι περιοχές που φαίνεται να έχουν πληγεί περισσότερο εντοπίζονται στην Ανατολική Ασία αλλά και σε τοποθεσίες πλησίον της Μεσογείου Θάλασσας. Σύμφωνα με διάφορες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, εκτιμάται ότι χιλιάδες θάνατοι που προκλήθηκαν από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα, συσχετίζονται με την ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα από τη ναυτιλία, καθώς επίσης εκτιμάται ότι αν οι εκπομπές δεν μειωθούν οι περιπτώσεις παιδικού άσθματος θα αυξηθούν σε αρκετά εκατομμύρια κρούσματα (Mueller κ.ά., 2023).

1.1.2.2 Πετρελαιοκηλίδες

Πετρελαιοκηλίδες δημιουργούνται σε υδάτινα περιβάλλοντα όταν εκλυθούν ποσότητες πετρελαίου και προϊόντων του. Καθώς το πετρέλαιο έχει χαμηλότερη πυκνότητα από το νερό, επιπλέει στην επιφάνειά του και αρχίζει να εξαπλώνεται δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα. Το πετρέλαιο είναι καταστροφικό για την θαλάσσια πανίδα. Τα ζώα με τρίχωμα όπως οι κάστορες, οι πιγκουίνοι αλλά και πτηνά όπως οι πελεκάνοι όταν καλυφθούν με πετρέλαιο χάνουν την ικανότητα να ρυθμίζουν την ομοιόστασή τους και πεθαίνουν από υποθερμία και στην περίπτωση που προσπαθήσουν να καθαριστούν ενδέχεται να καταναλώσουν ποσότητες πετρελαίου. Θαλάσσια θηλαστικά όπως οι φάλαινες και τα δελφίνια εισπνέουν τα προϊόντα και πεθαίνουν από ασφυξία. Σε περίπτωση που τα έλαια αναμιχθούν με στήλες νερού, πλήττονται και υποθαλάσσια είδη όπως τα οστρακόδερμα και τα ψάρια, αφού χάνουν την ικανότητα να αναπαραχθούν, διαβρώνονται τα εξωτερικά τους μέρη ή ασφυκτιούν και καθίστανται επικίνδυνα προς κατανάλωση. Το βασικότερο πρόβλημα όμως, είναι ότι μόλις εξαπλωθεί μία πετρελαιοκηλίδα, η διαδικασία καθαρισμού είναι πολυδάπανη, απαιτητική και συχνά αναποτελεσματική.

Η σοβαρότητα των επιπτώσεων των πετρελαιοκηλίδων δεν ήταν φανερή, μέχρι που το 1967 το δεξαμενόπλοιο "Torrey Canyon" έπετα από πρόσκρουση σε ύφαλο, διέρρευσε 120.000 τόνους αργού πετρελαίου στα νησιά Σίλα. Επλήγησαν εκατοντάδες χιλιόμετρα ακτογραμμής στο Ηνωμένο Βασίλειο, στην Γαλλία και στην Ισπανία. Υπολογίζεται ότι πέθαναν αμέτρητοι υδρόβιοι οργανισμοί καθώς και περίπου 30.000 πτηνά, προτού καθαριστεί το λεπτό στρώμα πετρελαίου που είχε πλέον φτάσει τα 700km². Η διαρροή ήταν το εναρκτήριο έναυσμα που οδήγησε στην θέσπιση της MARPOL. (Τσιμίνος, 2022; Law, 2011; O'Sullivan & Richardson, 1967)



Figure 2: Βύθιση πετρελαιοφόρου Torrey Canyon

Το 2022 καταγράφηκαν συνολικά 7 διαρροές πετρελαίου, κατά τις οποίες η ποσότητα πετρελαίου που απελευθερώθηκε ανέρχεται στους 15.000 τόνους σύμφωνα με την Διεθνή Ομοσπονδία Πλοιοκτητών Δεξαμενοπλοίων (ITOPF). Από την ITOPF προέρχεται και το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο παρατίθενται οι καταγεγραμμένες διαρροές πετρελαίου ανά δεκαετία.

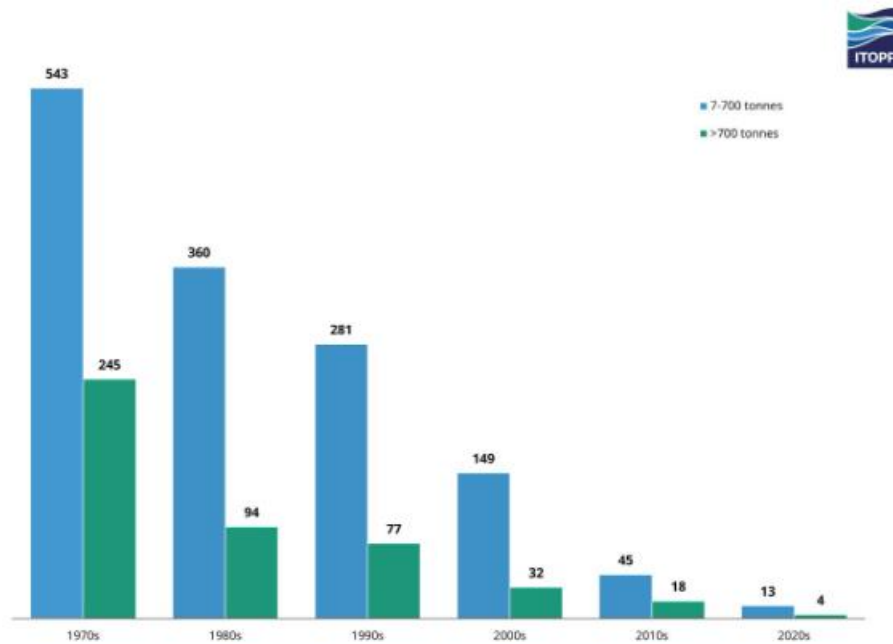


Figure 3: Αριθμός μεσαίων (7-700 τόνων) και μεγάλων (>700 τόνων) διαρροών δεξαμενόπλοιων αντίστοιχα για το διάστημα 1970-2022

1.1.2.3 Λύματα

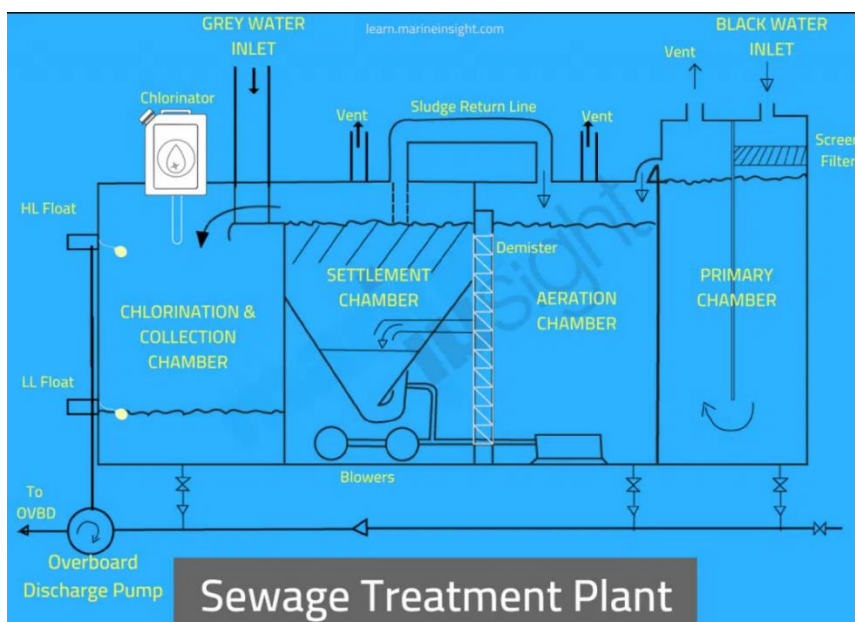
Η απόρριψη ακατέργαστων λυμάτων στην θάλασσα αποτελεί πηγή μόλυνσης των υδάτων, ιδίως όταν πρόκειται για γλυκά νερά ή υδάτινα σώματα με χαμηλή ροή, στα οποία λιμνάζει η οργανική ύλη που απορρίπτεται από το πλοίο.

Τα λύματα αποτελούνται τόσο από μαγειρικά λάδια, νερά που περιέχουν απορρυπαντικές ουσίες, αλλά και βιολογικά απόβλητα. Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας τα διακρίνει σε δύο κατηγορίες:

- **Γκρίζα Λύματα:**
Απόβλητα που προέρχονται από τα μαγειρεία, την αποχέτευση των νιπτήρων, τα πλυντήρια ρούχων, τις αποχετεύσεις του εσωτερικού καταστρώματος αλλά και από τις αποστραγγίσεις ψυγείων και κλιματιστικών.
- **Μαύρα Λύματα:**
Απόβλητα που προέρχονται από τις γενικές αποχετεύσεις του πλοίου, αποχετεύσεις και απόβλητα από τους χώρους των ιατρείων, αποστραγγίσεις από το αμπάρι φορτίου ζώντων ζώων εφόσον υπάρχουν.

Πριν την επεξεργασία τα επίπεδα βακτηρίων, ιών, παρασίτων και χημικών στοιχείων που διαταράσσουν το θαλάσσιο οικοσύστημα είναι υψηλά. Ο κίνδυνος ρύπανσης όμως, παραμένει υψηλός κατά την απόρριψη. Το άζωτο αλλά και διάφορα ιόντα (νιτρικά, φωσφορικά) για παράδειγμα που απαντώνται σε υψηλή περιεκτικότητα στα ανθρώπινα λύματα, είναι ικανά να προκαλέσουν ευτροφισμό, μειώνοντας την περιεκτικότητα του οξυγόνου στο νερό. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση του πληθυσμού των φυτοπλαγκτόν, βακτηρίων αλλά και πρωτόζωων, άρα και την αύξηση τοξινών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Ωστόσο, σε απόσταση μεγαλύτερης των 12 ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ακτή δεν κρίνεται απαραίτητο από τους κανονισμούς να υποστούν τα λύματα οποιαδήποτε επεξεργασία. (Chen κ.ά., 2022)



Εικόνα 2: Sewage Treatment Plant. Πηγή: <https://www.marineinsight.com/tech/sewage-treatment-plant/>

1.1.2.4 Στερεά απόβλητα

Στο θαλάσσιο οικοσύστημα απαντώνται στερεά απόβλητα σε μεγάλες συγκεντρώσεις, που προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις ακτές στις οποίες εναποθέτονται μεγάλες ποσότητες απορριμμάτων.

Το πρόβλημα με τα στερεά απόβλητα, είναι ότι στο μεγαλύτερο μέρος τους αποτελούνται από πλαστικό, το οποίο χρειάζεται χρόνια να αποσυντεθεί. Σύμφωνα με την WWF εκτιμάται ότι 11.500 τόνοι πλαστικών καταλήγουν στις θάλασσες της Ελλάδας. Έχουν προκαλέσει τον θάνατο αμέτρητων υδρόβιων οργανισμών που το καταναλώνουν ή παγιδεύονται σε πλαστικά απορρίμματα. Αναρίθμητες μελέτες επιβεβαιώνουν ότι σε πολλά είδη ψαριών ανιχνεύονται μικροΐνες πλαστικού, και οι οποίες καταλήγουν στους ανθρώπους μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Σε αυτό το πρόβλημα συμβάλλουν και τα πλοία, στα οποία προκύπτουν απόβλητα όπως είναι τα πλαστικά μπουκάλια, υλικά συσκευασίας ή και υπολείμματα τροφής και τυχαίνει να μην απορρίπτονται βάσει κανονισμών. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης όμως από στερεά απόβλητα βαραίνει τα κρουαζιερόπλοια, τα οποία φαίνεται ότι κατά μέσο όρο παράγουν τουλάχιστον λίγο παραπάνω από 1 κιλό στερεών αποβλήτων ανά επιβάτη την ημέρα.

Οι κανονισμοί του IMO ορίζουν ότι όλα τα πλοία που λειτουργούν υπό σημαία χώρας που έχουν υπογράψει τη σύμβαση και πληρούν τις προϋποθέσεις, θα διαθέτουν πρόγραμμα διαχείρισης στερεών αποβλήτων και ότι στα λιμάνια θα υπάρχουν εγκαταστάσεις σε ετοιμότητα παραλαβής και ασφαλούς εναπόθεσης των απορριμμάτων. (Butt, 2007) (Sanchez κ.ά., 2020)

1.1.2.5 Νερά Υδροσυλλέκτη - Σεντίνας (Bilge Water)

Υδροσυλλέκτης ή σεντίνα ονομάζεται η κοιλότητα εσωτερικά του πλοίου, η οποία απαντάται εκατέρωθεν της καρίνας. Χρησιμοποιείται ως χώρος εναπόθεσης καταλοίπων που βρίσκονται στο κατάστρωμα, τα οποία δεν μπορούν να αποστραγγιστούν μέσω των διαδρομών που βρίσκονται εξωτερικά. Συνήθως σε αυτόν καταλήγει νερό που μπορεί να προέρχεται από έντονη βροχόπτωση, και ο ρόλος της είναι η αποφυγή βύθισης του πλοίου σε περίπτωση υπερφόρτωσης.

Συχνά ωστόσο προκαλούνται διαρροές σε μηχανοστάσια και άλλες εγκαταστάσεις του πλοίου, οι οποίες μεταφέρονται στον υδροσυλλέκτη. Έτσι μαζί με το νερό μπορεί να συσσωρευτεί πετρέλαιο, πίσσα, χημικές ουσίες, υγρά καθαρισμού, και διάφορα σωματίδια.

Η χημική επεξεργασία του νερού σεντίνας συχνά κρίνεται αναποτελεσματική, και υπάρχει το ενδεχόμενο επιδείνωσης της ρύπανσης. Παρόλο που ο IMO αδειοδοτεί την εκκένωση του νερού αν η περιεκτικότητα σε πετρέλαιο δεν ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια, ο προβληματισμός που δημιουργείται αφορά τις μακροχρόνιες συνέπειες από την εκκένωση υδάτων έστω και με χαμηλή περιεκτικότητα. Στις περιπτώσεις που το νερό κρίνεται επικίνδυνο προς απελευθέρωση, το πλήρωμα θα πρέπει να το παραδώσει σε ειδικές εγκαταστάσεις κατά την προσάραξη στο λιμάνι.

1.1.2.6 Ηχορύπανση

Κατά την κίνηση ενός πλοίου, δημιουργούνται ηχητικά κύματα τα οποία διαδίδονται στο θαλάσσιο περιβάλλον χρησιμοποιώντας το νερό ως μέσο διάδοσης. Ο παραγόμενος ήχος μπορεί να προέρχεται τόσο από την μηχανή του όσο και από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούν πολλά πλοία για την ανίχνευση υποβρυχίων (sonar), οι οποίοι έχουν χαμηλότερη συχνότητα. Λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων του νερού σε σχέση με τον αέρα, ο ήχος ταξιδεύει με μεγαλύτερη ταχύτητα και διαδίδεται σε μεγαλύτερη απόσταση.

Η διάδοση ηχητικών κυμάτων που προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες, έχει αλλοιώσει τις συνθήκες βιοποικιλότητας σε πολλές θαλάσσιες περιοχές. Αυτό συμβαίνει επειδή τα περισσότερα θαλάσσια θηλαστικά χρησιμοποιούν ήχους τόσο υψηλής (100.000 Hz) όσο και χαμηλής συχνότητας (10 Hz), ώστε να επιβιώσουν. Τα ηχητικά κύματα που χρησιμοποιούν τα θηλαστικά αυτά, χρησιμεύουν κατά την εύρεση τροφής, την προστασία από ενδεχόμενους θηρευτές, την πλοήγηση, αλλά και για την αναπαραγωγή. Έτσι, παρατηρήθηκε ότι θηλαστικά όπως οι φάλαινες και τα δελφίνια έχουν εγκαταλείψει τις θαλάσσιες περιοχές στις οποίες υπάρχει συχνή ηχορύπανση από διερχόμενα πλοία.

Βέβαια, η υποβρυχία ηχορύπανση δεν έχει οδηγήσει μόνο σε μαζικές μεταναστεύσεις θαλάσσιων ειδών, αλλά έχει προκαλέσει και τον θάνατο πολλών. Αυτό δεν συμβαίνει μόνο επειδή τα είδη που μεταναστεύουν δυσκολεύονται να εγκλιματιστούν στις συνθήκες του νέου περιβάλλοντος, αλλά και επειδή σε περιπτώσεις έντονης ηχορύπανσης χάνουν τον προσανατολισμό τους και βγαίνουν στις ακτές. Μία συνθήκη που μπορεί να προκαλέσει την ανάδυση θαλάσσιων ειδών είναι και οι ασκήσεις sonar, οι οποίες πραγματοποιούνται συχνά στην Ελλάδα. Η πρώτη συσχετισμένη με την χρήση sonar ανάδυση του είδους *Ziphius cavirostris* ή όπως είναι γνωστό Ζιφιός, συνέβη το 2016 όπου 12 συνολικά ζιφιοί αναδύθηκαν στις ελληνικές ακτές. (Erbe κ.ά., 2019; Frantzis, 2004; Peng κ.ά., 2015)

1.1.2.7 Τεχνητό Φως

Όταν υπάρχει μειωμένη φωτεινότητα, τα πλωτά μέσα κάνουν χρήση τεχνητού φωτός ώστε να γίνονται ορατά από διερχόμενα πλοία ώστε να αποφευχθούν ενδεχόμενες συγκρούσεις. Για τον ίδιο λόγο, τεχνητά φώτα έχουν εγκατασταθεί σε πολλές ακτές. Συγκεκριμένα, το 2010 καταγράφηκε ότι το 22,2% των ακτών παγκοσμίως είχαν εγκατεστημένες πηγές φωτός, το οποίο αντιστοιχεί σε 354.760 km και φαίνεται ότι αυτός ο αριθμός αυξάνεται κατά 6% κάθε χρόνο.

Η φωτορύπανση που πηγάζει από τις ακτές δεν περιορίζεται μόνο στην ξηρά ή στα κοντινά θαλάσσια σημεία, καθώς το φως μπορεί να αντανακλάται στην ατμόσφαιρα και να επιστρέφει, καλύπτοντας έτσι σημαντικές εκτάσεις στα υπεράκτια ύδατα.

Το πρόβλημα με την φωτορύπανση, είναι ότι υπερκαλύπτει το φυσικό φως όπως είναι αυτό της σελήνης, διαταράσσοντας έτσι τους φυσικούς κύκλους της θαλάσσιας πανίδας αλλά και των πτηνών που ταξιδεύουν από και προς την θάλασσα προκειμένου να τραφούν.

Επιπροσθέτως, το τεχνητό φως χρησιμοποιεί διαφορετικά χρωματικά φάσματα συγκριτικά με το ηλιακό φως ή το φως της σελήνης αλλοιώνοντας ακόμη περισσότερο το θαλάσσιο οικοσύστημα.

Η θαλάσσια ζωή παρουσιάζει μεταβολές, αφού περιλαμβάνει ένα πλήθος νυκτόβιων ζώων που χρησιμοποιούν την έλλειψη ηλιακού φωτός ώστε να αναδυθούν στην επιφάνεια. Αντίστοιχα, οι θηρευτές τους δεν μπορούν να τραφούν το ίδιο εύκολα, καθώς διαταράσσεται ο βιολογικός κύκλος τους. Ακόμη, κάποια είδη συγκεντρώνονται σε περιοχές με έντονο φως, ενώ άλλα απομακρύνονται και κατά συνέπεια μεταβάλλεται ο υδροβιότοπος σε περιοχές με έντονο τεχνητό φως.

Πολλά θαλάσσια είδη που χρησιμοποιούν το φως ή την έλλειψή του για την διαβίωσή τους, χάνουν την ικανότητα να επικοινωνήσουν, να τραφούν, να αναπαραχθούν ή και να πλοηγηθούν αφού αγνοούν τις πραγματικές επικρατούσες συνθήκες. (Davies κ.ά., 2014)

1.1.2.8 Συγκρούσεις με άγρια ζώα

Οι συγκρούσεις πλοίων και σκαφών με θαλάσσια ζώα είναι συχνό φαινόμενο στην ανοιχτή θάλασσα. Ο λόγος είναι η υψηλή ταχύτητα με την οποία ταξιδεύουν, αλλά και το ότι πολλά θαλάσσια ζώα που βρίσκονται στην επιφάνεια λαμβάνονται εσφαλμένα ως κομμάτια του φυσικού θαλάσσιου περιβάλλοντος, όπως είναι τα φύκια. Τα σημεία του πλοίου πάνω στα οποία προσκρούουν, συνήθως είναι η έλικα ή η πλώρη.

Τα ζώα που πλήττονται περισσότερο από τα θαλάσσια ατυχήματα, είναι οι φάλαινες, τα δελφίνια, οι χελώνες, οι πιγκουίνοι και οι φώκιες. Υπολογίζεται ότι χιλιάδες από τους θανάτους φαλαινών που καταγράφονται ετησίως, προκαλούνται από σύγκρουση με πλοία.

Τα ατυχήματα αυτά βέβαια, δεν προκαλούν πάντα ακαριαίο θάνατο. Σε πολλές περιπτώσεις τα ζώα υφίστανται ακρωτηριασμούς ή τραυματισμούς που τα καθιστούν ανίκανα να αναπαραχθούν ή να τραφούν και για αυτό πεθαίνουν από αστία.

Καθώς πολλά από τα θηλαστικά που πλήττονται βρίσκονται υπό εξαφάνιση, τα ναυτικά ατυχήματα τέτοιας φύσεως δυσχεραίνουν την διαφύλαξη αυτών των ειδών. (Schoeman κ.ά., 2020)

1.1.2.9 Νερό Έρματος

Η ρύπανση που προκαλείται από το νερό έρματος είναι το περιβαλλοντικό ζήτημα για το οποίο θα γίνει ανάλυση επικινδυνότητας σε αυτή την εργασία.

1.2 Νερό Έρματος

Το νερό έρματος ή ballast water είναι θαλασσινό, γλυκό ή υφάλμυρο νερό, το οποίο αντλείται και αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές μέσα στο πλοίο.

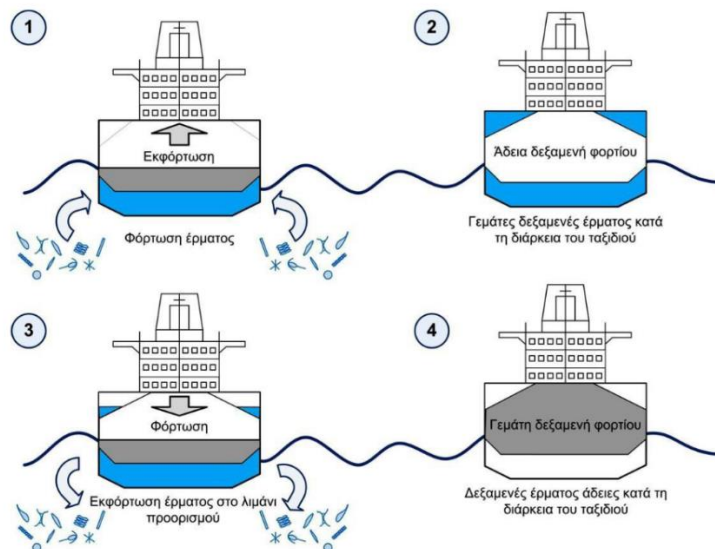
1.2.1 Χρήσεις νερού έρματος

Τα πλοία είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να ταξιδεύουν με ασφάλεια μεταφέροντας καθορισμένο βάρος. Κατά την παραλαβή ή παράδοση του μεταφερόμενου φορτίου, το πλοίο αντισταθμίζει την αλλαγή βάρους του με την εκκένωση ή πλήρωση των δεξαμενών που προορίζονται για την υποδοχή του νερού έρματος.

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την ασφάλεια του πλοίου, εξασφαλίζοντας την ευστάθεια, την ευελιξία αλλά και μειώνοντας την καταπόνηση που μπορεί να υποστεί το κύτος κατά το ταξίδι. Εκτός αυτών διατηρεί το πλοίο στο βάθος που απαιτείται, ώστε η έλικα και το πηδάλιο να λειτουργούν πλήρως, να μην αναδύεται η πλήρη και βοηθά στην αντιστάθμιση του βάρους που χάνεται κατά την κατανάλωση καυσίμου σε μεγάλα ταξίδια. Η ποσότητα που αντλείται, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και από την πορεία που θα ακολουθηθεί. Επιπλέον χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το πλοίο χρειάζεται να διασχίσει κάποιο κανάλι.

Σαν τεχνική χρησιμοποιείται πολλά χρόνια, ωστόσο μέχρι το 1880 περίπου το έρμα είχε συμπαγή μορφή, καθώς ευρύτερη χρήση είχαν τα σακιά με άμμο, αλλά και οι πέτρες. Αργότερα έγινε αντιληπτό ότι το νερό ήταν πιο αποτελεσματικό και ευπρόσιτο. (Ibrahim & El-naggar, 2012)

Η διαδικασία αυτή λαμβάνει μέρος, όταν κατά την αποδέσμευση του μεταφερόμενου φορτίου αντλείται παράλληλα νερό από το λιμάνι το οποίο οδηγείται στις δεξαμενές έρματος. Αντίστοιχα, όταν λαμβάνεται φορτίο προς μεταφορά, το νερό έρματος αποδεσμεύεται παράλληλα με την πλήρωση του φορτίου στο πλοίο.



Εικόνα 3: Κύκλος έρματος (Πηγή: Global Ballast Water Management Program, (Τσιμίνος, 2022))

1.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις νερού έρματος

Στο νερό που αντλείται από το λιμάνι περιέχονται διάφοροι τύποι θαλάσσιων οργανισμών και μέρος του ιζήματος από τον πυθμένα. Τα είδη των οργανισμών που αντλούνται περιλαμβάνουν κυρίως φυτά, ψάρια, βακτήρια και ιούς. Για να εισέλθουν οι οργανισμοί στην δεξαμενή, χρειάζεται να έχουν μικρή σωματική διάπλαση προκειμένου να περάσουν από τις αντλίες και τις θυρίδες εισαγωγής, όμως έχουν σημειωθεί και εισαγωγές ψαριών που το μήκος τους φτάνει στα 15 εκατοστά. Η ποσότητα ιζήματος που θα ληφθεί εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο λιμάνι, οι οποίες και καθορίζουν το μέγεθος της αιώρησης ιζήματος που υπάρχει. Στο ίζημα μπορούν να περιέχονται κύστες, αυγά, προνύμφες καθώς και διάφοροι οργανισμοί που βρίσκονται σε αδρανή κατάσταση. Όταν το νερό μαζί με το ίζημα κατακαθίσουν στον πυθμένα, δημιουργούν ένα περιβάλλον που μπορεί να διατηρήσει στην ζωή πολλούς από τους οργανισμούς που μεταφέρονται. Το νερό αυτό μαζί με τους οργανισμούς παραμένει στις δεξαμενές μέχρι την επόμενη παραλαβή φορτίου, όπου και αποδεσμεύεται στο επόμενο λιμάνι. Στην περίπτωση που καταφέρουν να επιβιώσουν κατά την εισαγωγή τους στο νέο οικοσύστημα, είναι πιθανό να δημιουργήσουν συνθήκες καταστροφικές τόσο για τον υδροβιότοπο, όσο και για τους ανθρώπους. (Τσιμίνος, 2022; David & Gollasch, 2015)

Η αλλοίωση βιοτόπων από χωροκατακτητικούς υδρόβιους οργανισμούς που μεταφέρονται μέσω της ναυτιλίας, κατατάσσεται ως μία από τις τέσσερις μεγαλύτερες ανθρωπογενείς απειλές για τις θάλασσες. (Saglam & Duzgunes, 2018)

1.2.2.1 Θαλάσσια Είδη

Σύμφωνα με διάφορες μετρήσεις, παρατηρήθηκε ότι ημερησίως μεταφέρονται περίπου 3.000 με 7.000 οργανισμοί μέσω της διαδικασίας ερματισμού. Από αυτούς, υπολογίζεται ότι κατ' ελάχιστον οι 850 οργανισμοί θα επιβιώσουν στο νέο οικοσύστημα. Στην περίπτωση που στους οργανισμούς αυτούς περιέχονται μη αυτόχθονα είδη, τα τοπικά ενδιαφέροντα απειλούνται και επιφυλάσσονται σοβαρές επιπτώσεις για την παγκόσμια και τοπική οικονομία. (David & Gollasch, 2015; Ibrahim & El-naggar, 2012)

Τα χωροκατακτητικά είδη, ή αλλιώς οι βιοεισβολείς, απειλούν την βιοποικιλότητα με αλλοίωση, καθώς ανταγωνίζονται με τα αυτόχθονα είδη για την εύρεση τροφής, μεταβάλλουν τα ενδιαφέροντα και μπορούν να οδηγήσουν στην εξαφάνιση των ενδημικών ειδών στην περίπτωση που δεν απαντάται φυσικός θηρευτής τους στο συγκεκριμένο θαλάσσιο οικοσύστημα. Επιπλέον, μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφές ιχθυοκαλλιεργειών, αλλά και σε αλλοίωση του τεχνητού περιβάλλοντος, στο οποίο περιλαμβάνονται εγκαταστάσεις υδροδότησης, αρδευτικά έργα και άλλα.

Υπάρχουν πολλά καταγεγραμμένα περιστατικά διαταραχών της οικολογικής ισορροπίας στα θαλάσσια οικοσυστήματα από βιοεισβολείς. Μόνο στην Μεσόγειο Θάλασσα απαντάται περισσότερο από το 50% των καταγεγραμμένων μεταφορών οργανισμών. Ετησίως το κόστος διαχείρισης και μετριασμού των επιπτώσεων στην Ευρώπη ανέρχεται σε ποσό άνω των 12 δισεκατομμυρίων Ευρώ, στο οποίο περιλαμβάνεται και η διαχείριση των χερσαίων επιπτώσεων αυτών των αλλοιώσεων. (David & Gollasch, 2015)

Μερικά από τα πιο καταστροφικά περιστατικά βιοεισβολών που έχουν καταγραφεί είναι τα παρακάτω:

Κινεζικό Καβούρι

Ένα περιστατικό που έχει μελετηθεί εκτενώς λόγω των οικονομικών και οικολογικών του επιπτώσεων, είναι η εισβολή του κινεζικού καβουριού (Chinese Mitten Crab).

Το κινεζικό καβούρι ενδημεί σε τοποθεσίες με γλυκά νερά και προτιμά τους παράκτιους ποταμούς και τις εκβολές τους. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα παρατηρήθηκαν οι πρώτοι επεμβατικοί πληθυσμοί στην Ευρώπη, οι οποίοι προέρχονταν από την Ανατολική Ασία.

Η εισβολή του είδους στα ευρωπαϊκά και αμερικανικά ύδατα, προκάλεσε αλλοιώσεις στους υδροβιότοπους που εγκαταστάθηκε λόγω της σκαπτικής του τάσης η οποία διάβρωνε τα αναχώματα στις όχθες των ρεμάτων, παρεμπόδιζε την αναπαραγωγική μετανάστευση άλλων ειδών, δυσχέραινε τα αρδευτικά έργα και κατανάλωνε την φυσική βλάστηση με τέτοιο ρυθμό, που προκλήθηκε αισθητή μείωση αυτής. Εκτός αυτών, παρακώλυε τις αλιευτικές δραστηριότητες, καθώς κατανάλωνε τα δολώματα και έφραζε τμήματα του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνταν.

Το κόστος διαχείρισης των συνεπειών της εισβολής των κινεζικών καβουριών μόνο στη Γερμανία έχει κοστίσει 80 εκατομμύρια Ευρώ από το 1912. (Dittel & Epifanio, 2009)

Μύδι Zebra Dreissena

Το μύδι Zebra Dreissena εισέβαλε από την Μαύρη Θάλασσα, όπου ευδοκιμεί, στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Το μύδι αυτό προσκολλάται σε επιφάνειες που διαθέτουν σπειρώματα και έχει προκαλέσει την καταστροφή εγκαταστάσεων όπως είναι οι παροχές νερού ή οι εγκαταστάσεις σταθμών παραγωγής ενέργειας.

Το ετήσιο κόστος διαχείρισης αυτής της εισβολής ανέρχεται στα 500 εκατομμύρια Δολάρια. (David & Gollasch, 2015)

1.2.2.2 Βακτήρια και Ιοί

Εκτός από τους θαλάσσιους οργανισμούς, με το νερό έρματος μεταφέρονται και ιοί που μπορούν να προσβάλλουν το ανθρώπινο είδος, όπως είναι η χολέρα (*Vibrio Cholerae*) και το Εσερίχια κόλι (*Escherichia coli*).

Η μεταφορά βακτηρίων και ιών μέσω της ναυτιλίας, έχει πυροδοτήσει αρκετά περιστατικά επιδημιών. Ένα τέτοιο περιστατικό έλαβε μέρος το 1991, όταν ένα στέλεχος χολέρας που είχε εμφανιστεί μόνο στο Μπαγκλαντές, μεταφέρθηκε στο Περού και στον κόλπο του Μεξικού. Η μετάδοση φαίνεται να ξεκίνησε από την κατανάλωση ψαριών στα οποία βρέθηκε το συγκεκριμένο στέλεχος στα περιεχόμενα του στομάχου τους, αλλά και στρειδιών που είχαν φιλτράρει το βακτήριο. Μέχρι το 1994 τουλάχιστον 10.000 άνθρωποι είχαν χάσει τη ζωή τους στο Περού από αυτό το παθογόνο στέλεχος.

Μία μελέτη του 1995 που εξέτασε 71 δείγματα νερού έρματος σε περιοχές του Καναδά και της Βόρειας Αμερικής, ανίχνευσε 45% συχνότητα εμφάνισης του βακτηρίου E-coli και 80% δείγματα εντερόκοκκου. (David & Gollasch, 2015)

1.2.3 Διεθνείς κανονισμοί για το νερό έρματος

Καθώς η απειλή των βιοεισβολών λαμβάνει παγκόσμιες διαστάσεις και οι συνέπειες ήταν ορατές ήδη από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, το 1992 κατά τη διάρκεια της Διάσκεψης του ΟΗΕ για θέματα περιβάλλοντος και ανάπτυξης, διάφοροι οργανισμοί κλήθηκαν να αναλάβουν δράση για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Ο ΙΜΟ πραγματοποιούσε σχετικές έρευνες ήδη μία δεκαετία και με αφορμή την συζήτηση που άρχισε τότε, ξεκίνησε να δημοσιεύει σχετικές οδηγίες τα επόμενα έτη, μέχρι που το 2004 υιοθέτησε την «Διεθνή Σύμβαση για τον έλεγχο και την διαχείριση του νερού και ιζήματος έρματος των πλοίων» ή αλλιώς Ballast Water Management (BWM).

Η σύμβαση αυτή ορίζει ότι κάθε πλοίο άνω των 400 GT (Gross Tonnage) θα πρέπει να έχει ένα Σχέδιο Διαχείρισης Έρματος, και χωρίζεται σε δύο μέρη προκειμένου να διευκολύνει τη μετάβαση πλοίων παλαιότερης κατασκευής. (Τσιμίνος, 2022; Saglam & Duzgunes, 2018)

Κανονισμός D-1

Το πρώτο μέρος της σύμβασης ορίζει ότι μόλις ληφθεί νερό από το λιμάνι, θα πρέπει να αντικατασταθεί με ωκεάνιο νερό, εφόσον επιτρέπεται βάσει του παρακάτω κανονισμού:

Το πλοίο θα βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 200nm από την πλησιέστερη ακτή και σε βάθος τουλάχιστον 200m. Αν δεν είναι εφικτό, το πλοίο θα πρέπει να βρίσκεται κατ'ελάχιστον στα 50nm από την πλησιέστερη ακτή. Το ελάχιστο επιτρεπτό βάθος παραμένει στα 200m. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτό, αναλόγως της γεωγραφικής περιοχής, μπορεί να έχουν οριστεί κανονισμοί με επιτρεπόμενες τοποθεσίες ανταλλαγής έρματος από το κράτος που κατέχει την κυριότητα των συγκεκριμένων υδάτων. Η ανταλλαγή έρματος δεν μπορεί να γίνει αν δεν είναι επιβεβαιωμένη η ασφάλεια του πλοίου και αν το πλοίο παρεκκλίνει της πορείας του ή καθυστερεί.

Κανονισμός D-2

Το δεύτερο μέρος της σύμβασης αφορά τα πλοία που διαθέτουν σύστημα επεξεργασίας έρματος.

Μόλις το έρμα υποστεί επεξεργασία, θα πρέπει να λαμβάνεται δείγμα προκειμένου να μπορέσει να απορριφθεί με ασφάλεια. Η απόρριψη θα γίνεται εφόσον η περιεκτικότητα σε επιβλαβείς οργανισμούς δεν υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια.

Κατηγορία Οργανισμού	Όρια
Τοξικογόνο <i>Vibrio cholerae</i> (O1 & O139)	<1 cfu*/100ml ή <1 cfu*/gr (υγρό βάρος) δείγματος ζωπλαγκτόν
<i>Escherichia coli</i>	<250 cfu*/100ml
Intestinal enterococci	<100 cfu*/100ml

*cfu: Colony forming unit – Μονάδα σχηματισμού αποικίας

Πίνακας 1: Επιτρεπτά όρια περιεκτικότητας επιβλαβών οργανισμών (Τσιμίνος, 2022)

Η σύμβαση τέθηκε πλήρως σε ισχύ το 2017, όταν και επικυρώθηκε από το 35% της παγκόσμιας χωρητικότητας της εμπορικής ναυτιλίας, ήτοι τουλάχιστον 30 κρατών, όπως και είχε ορίσει ο οργανισμός. (Τσιμίνο, 2022; Saglam & Duzgunes, 2018)

1.2.4 Μέθοδοι ανταλλαγής και επεξεργασίας νερού έρματος

1.2.4.1 Ανταλλαγή έρματος

Ο κανονισμός D-1 προτείνει την ανταλλαγή νερού έρματος που έχει αντληθεί από το λιμάνι με νερό από τα ανοιχτά της θάλασσας.

Το ορισμένο βάθος καθώς και η ορισμένη απόσταση από την ακτή εξασφαλίζουν ότι το νερό από το λιμάνι που είναι πλούσιο σε οργανισμούς και ίζημα θα αντικατασταθεί από νερό με μικρότερη περιεκτικότητα σε επιβλαβή στοιχεία και μεγαλύτερης καθαρότητας λόγω της απουσίας αιωρούμενου ιζήματος. Επίσης, οι συνθήκες του ωκεάνιου νερού διαφέρουν από αυτές των παράκτιων υδάτων και έτσι οι πιθανότητες επιβίωσης και αναπαραγωγής των βιοεισβολών μειώνονται.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι ανταλλαγής έρματος:

Διαδοχική μέθοδος (Sequential)

Κατά την διαδοχική μέθοδο οι δεξαμενές έρματος απορρίπτουν το έρμα από το λιμάνι και μετά αντλείται νερό από τον ωκεανό μέχρι να αντληθεί το 95% του όγκου έρματος. Παρόλο που είναι η λιγότερο χρονοβόρα μέθοδος, δημιουργεί προβλήματα στην ασφάλεια του πλοίου, αφού διαταράσσει την ευστάθειά του και προκαλεί καταπονήσεις.

Μέθοδος Flow Through

Κατά την μέθοδο flow through αντλείται νερό από την θάλασσα ενώ η δεξαμενή είναι γεμάτη με το παλιό έρμα και η υπερχειλίση που προκαλείται οδηγείται στο κατάστρωμα μέσω των σωληνώσεων του πλοίου. Για να θεωρηθεί επιτυχής η ανταλλαγή, ο όγκος νέου έρματος που θα αντληθεί θα πρέπει να είναι τριπλάσιος από τον αρχικό όγκο. Σαν μέθοδος δεν διαταράσσει την ευστάθεια του πλοίου, ωστόσο είναι αρκετά χρονοβόρα και για αυτό δεν προτιμάται όταν οι καιρικές συνθήκες είναι μη ευνοϊκές ή όταν πραγματοποιούνται ολιγόημερα ταξίδια.

Μέθοδος Διάλυσης (Dillution)

Κατά τη μέθοδο διάλυσης αρχίζει η ταυτόχρονη απόρριψη του παλιού νερού έρματος από το κάτω μέρος της δεξαμενής και η άντληση νέου νερού από το πάνω μέρος με σταθερή ροή. Ο απαιτούμενος όγκος ανταλλαγής θα πρέπει να είναι ο τριπλάσιος από τον αρχικό. Σαν μέθοδος δεν διαταράσσει την ευστάθεια, δεν προκαλεί καταπονήσεις και διευκολύνει την απομάκρυνση ιζημάτων.

(Τσιμίνο, 2022; International Maritime Organisation, χ.χ.; Final Act of the International Conference on Marine Pollution, 1973, 1973; Tsolaki & Diamadopoulos, 2010)

1.2.4.2 Τεχνικές επεξεργασίας έρματος

Οι τεχνικές επεξεργασίας έρματος εντός του πλοίου διαχωρίζονται στις πρωτογενείς ή φυσικές μεθόδους και στις δευτερογενείς ή χημικές μεθόδους.

Πρωτογενείς Μέθοδοι

- **Επιφανειακή Διήθηση (Filtration)**

Η επιφανειακή διήθηση αποτελεί την συνηθέστερη μέθοδο φυσικής επεξεργασίας του νερού έρματος. Πραγματοποιείται με την χρήση μίας πορώδους μεμβράνης που λειτουργεί ως φίλτρο και συγκρατεί οργανισμούς μεγέθους από 40 – 50μm και άνω. Είναι αρκετά αποτελεσματική στην απομάκρυνση του ιζήματος και μεγάλων οργανισμών, ωστόσο δεν συγκρατεί μικρότερους οργανισμούς όπως είναι τα βακτήρια και οι ιοί. Μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, είτε ταυτόχρονα με την διαδικασία ερματισμού όταν και μπορούν να απορριφθούν τα στερεά απόβλητα στο λιμάνι από όπου αντλούνται χωρίς να αποτελέσει κίνδυνο για το οικοσύστημα. Σαν τεχνική απαιτεί μηχανισμούς υψηλού κόστους, μειώνει την πίεση και την ροή άντλησης καθώς αυτή παρεμποδίζεται από τα στερεά που φτάνουν στα φίλτρα.

- **Κυκλωνικός διαχωρισμός**

Ο κυκλωνικός διαχωρισμός κάνει χρήση ειδικών κωνικών κατασκευών, στις οποίες το νερό εισέρχεται με μορφή υδροκυκλώνα εφαπτομενικά αυτών και υφίσταται φυγοκέντρωση υψηλής ταχύτητας, προκειμένου τα στοιχεία με μεγαλύτερη πυκνότητα να προσκολληθούν στα τοιχώματά και να διαχωριστούν από το νερό. Αυτή μέθοδος είναι αποτελεσματική σε οργανισμούς μεγέθους από 20μm και άνω. Για να θεωρηθεί όμως αποτελεσματική συντελούν η πυκνότητα των σωματιδίων σε σχέση με την πυκνότητα του νερού, η ταχύτητα περιστροφής του νερού και ο χρόνος εκτέλεσης.

Δευτερογενείς Μέθοδοι

- **Μηχανικές μέθοδοι**

Επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία (UV)

Η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιείται για την απολύμανση των στερεών αποβλήτων και του νερού στην επιφάνεια της δεξαμενής. Θεωρείται αρκετά αποτελεσματική μέθοδος, αφού παρουσιάζονται υψηλά ποσοστά θνησιμότητας στους επιβλαβείς μικροοργανισμούς όπως είναι τα βακτήρια και οι ιοί και δεν δημιουργεί επικίνδυνα παραπροϊόντα. Στα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου κατατάσσονται οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις και η αναποτελεσματικότητα σε θολό νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, διότι οι ακτίνες δεν μπορούν να διαπεράσουν το νερό. Η λειτουργία της μεθόδου βασίζεται στις φωτοχημικές αντιδράσεις που προκαλούνται με τα βιολογικά συστατικά των οργανισμών, ενώ για να κριθεί επιτυχής ως επεξεργασία έρματος, προτείνεται να συνδυάζεται με κάποια από τις φυσικές μεθόδους.

Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ηλεκτρικών παλμών, υπερήχων και μικροκυμάτων. Η ελάχιστη θερμοκρασία που πρέπει να αναπτυχθεί στο νερό είναι οι 40°C. Η αύξηση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την αξιοποίηση της θερμότητας που αναπτύσσεται στα λειτουργικά συστήματα του πλοίου, για παράδειγμα μέσω του συστήματος απόρριψης θερμότητας των μηχανών του πλοίου που πλεονάζει. Η μέθοδος είναι αποτελεσματική με μεγάλους οργανισμούς όπως είναι τα ψάρια, αλλά δεν παρουσιάζεται μεγάλη θνησιμότητα στους μικροοργανισμούς.

- **Χημικές μέθοδοι**

Βιοκτόνα

Τα βιοκτόνα αφορούν χημικές ενώσεις που προστίθενται στο νερό έρματος για να αδρανοποιήσουν ή να καταστρέψουν τους οργανισμούς που βρίσκονται μέσα. Αναλόγως της δράσης τους κατατάσσονται σε οξειδωτικά και μη οξειδωτικά.

Μη οξειδωτικά

Πρόκειται για διάφορες χημικές ουσίες όπως είναι η φορμαλδεΰδη. Αλληλεπιδρούν με τις βασικές λειτουργίες των οργανισμών, όπως είναι η αναπαραγωγική ή η νευρολογική τους λειτουργία. Δεν έχουν πραγματοποιηθεί εκτενείς μελέτες για τον σχηματισμό τοξικών υποπροϊόντων κατά την χρήση τους στο νερό έρματος. Το πιο διαδεδομένο μη οξειδωτικό βιοκτόνο είναι η Μεναδιόνη/Βιταμίνη Κ.

Οξειδωτικά

Τα οξειδωτικά βιοκτόνα χρησιμοποιούνται λόγω της καταστροφικής τους δράσης έναντι των οργανικών δομών των μικροοργανισμών όπως είναι οι κυτταρικές τους δομές. Οι διαδικασίες και τα οξειδωτικά βιοκτόνα που χρησιμοποιούνται για τον χημικό καθαρισμό του νερού έρματος είναι τα παρακάτω:

1. Χλωρίωση (Cl_2 , HOCl , OCl^-)

Το χλώριο είναι πολύ τοξικό προς τους επιβλαβείς μικροοργανισμούς, τους οποίους καταστρέφει μέσω της οξείδωσης των οργανικών μορίων. Το πρόβλημα που προκύπτει με την χλωρίωση, είναι τα παραπροϊόντα που σχηματίζει το χλώριο τα οποία αποτελούν δυνητική απειλή για το θαλάσσιο οικοσύστημα σε περίπτωση που απορριφθούν κατά τον αφερματισμό. Ένα προϊόν που σχηματίζεται κατά την επαφή με το θαλασσινό νερό, είναι το χλωροφόρμιο, για αυτό πριν την απόρριψη το νερό πρέπει να υποστεί αποχλωρίωση. Οι παράμετροι που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου είναι η θερμοκρασία και το pH του νερού, αλλά και το είδος των οργανισμών που περιέχονται στο νερό έρματος.

2. Ηλεκτροχλωρίωση

Η ηλεκτροχλωρίωση είναι η διαδικασία κατά την οποία το χλώριο που περιέχεται στο θαλασσινό νερό (NaCl) μετατρέπεται σε υποχλωριώδες

ανιόν (OCl^-) το οποίο διαθέτει αντιμικροβιακή δράση. Λειτουργεί όπως η χλωρίωση χωρίς να απαιτείται η μεταφορά και η αποθήκευση επιβλαβών ουσιών στο πλοίο.

3. Οζόνωση

Το όζον (O_3) έχει έντονη δράση ενάντια στα βακτήρια και στους ιούς, καθώς τους καταστρέφει μέσω της οξειδωσης. Όμως είναι μία ιδιαίτερα ασταθής ένωση, που όταν απελευθερωθεί στο θαλασσινό νερό μπορεί να επιφέρει καταστροφικές συνέπειες. Το θαλασσινό νερό περιέχει βρώμιο (Br) το οποίο αν ενωθεί με το όζον δημιουργεί βρωμικά ιόντα, τα οποία είναι πιθανό να προκαλέσουν καρκινογένεση. Εκτός αυτού η διαδικασία της οζόνωσης έχει υψηλό κόστος και απαιτεί την διάθεση αρκετού χώρου.

4. Διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2)

Το διοξείδιο του χλωρίου έχει παρόμοια δράση με την χλωρίωση και έχει αποτελεσματικότητα σε όλους τους μικροοργανισμούς χωρίς να αντιδρά με την οργανική ύλη, ιδιότητα που το καθιστά αποτελεσματικό σε νερά υψηλής θολότητας. Ο χρόνος ημιζωής του είναι 6 με 12 ώρες, για αυτό και είναι ασφαλές να απορριφθεί στη θάλασσα έπειτα από 24 ώρες.

5. Υπεροξικό οξύ ($\text{CH}_3\text{CO}-\text{OOH}$)

Η δράση του είναι επίσης παρεμφερής της χλωρίωσης, δεν παράγει ανεπιθύμητα παραπροϊόντα, όμως το κόστος του είναι υψηλό διότι απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες και ειδικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης.

6. Αποξυγόνωση

Κατά την αποξυγόνωση εισάγονται αδρανή αέρια στο νερό έρματος, τα οποία μειώνουν την περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο, προκαλώντας ασφυξία στους οργανισμούς. Καθώς τα επίπεδα οξυγόνου μειώνονται, η δεξαμενή έρματος υφίσταται οξείδωση με μικρότερο ρυθμό και άρα παρατείνει τον χρόνο ζωής της. Προκειμένου να μην υπάρχει παροχή οξυγόνου στην δεξαμενή, απαιτείται να σφραγιστεί το περιεχόμενό της. Το αδρανές αέριο θα πρέπει να παραμείνει στη δεξαμενή για 1 έως 4 ημέρες, συνεπώς δεν συνιστάται για ολιγοήμερα ταξίδια.

Στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί δειγματοληψία τόσο για την περιεκτικότητα σε μικροοργανισμούς, όσο και σε χημικές ουσίες και υποδηλώνουν ότι δεν είναι ασφαλής η απόρριψη του έρματος, ο IMO προτείνει το έρμα να παραδοθεί σε ειδικές υποδοχές στο εκάστοτε λιμάνι για ασφαλή απόρριψη.

(Τσιμίνο, 2022; International Guidelines for Preventing the Introduction of Unwanted Aquatic Organisms and Pathogens from Ships Ballast Water and Sediment Discharges, 1991; Tsolaki & Diamadopoulou, 2010)

Κεφάλαιο 2: Ασαφής Λογική

2.1 Ασαφή Συστήματα

Κατά την επιστράτευση της μαθηματικής λογικής για την επίλυση προβλημάτων, η δυαδική λογική αποτελεί την λύση όταν η απάντηση είναι «αληθής» ή «ψευδής», «ναι» ή «όχι», «0» και «1».

Η ασαφής λογική εισήλθε στον κλάδο της μαθηματικής λογικής για να δώσει λύση σε ερωτήματα στα οποία η απάντηση δε μπορούσε να είναι τόσο απόλυτη. Αντικατοπτρίζει την πολυπλοκότητα που διέπει την ανθρώπινη ζωή και επιτρέπει απαντήσεις που βρίσκονται κάπου στη μέση.

Μία από τις ιδιότητες της ασαφούς λογικής είναι ότι καταφέρνει να αποτυπώσει την ανθρώπινη συλλογιστική πορεία με μαθηματικούς όρους, κατατάσσοντάς την στο πεδίο της υπολογιστικής νοημοσύνης και κατ' επέκταση της τεχνητής νοημοσύνης. (Czabanski κ.ά., 2017)

Σαν όρος εισήχθη το 1965 από τον μαθηματικό Lotfi Zadeh, όμως η αδυναμία της μονοδιάστατης μαθηματικής λογικής να εκφράσει την πολυπλοκότητα των ανθρώπινων προβλημάτων είχε απασχολήσει την επιστήμη και παλαιότερα. Το 1920 ο μαθηματικός Jan Lukasiewicz εισήγαγε μία «τρίτιμη» λογική που περιλάμβανε τις τιμές $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$ μέσω των οποίων μπορούσε να εκφραστεί μία μέση κατάσταση. Το 1937 ο φιλόσοφος και κβαντικός φυσικός Max Black ενίσχυσε την παραπάνω θεωρία με τις φιλοσοφικές βάσεις της ασαφούς θεωρίας. (Θεοδώρου, 2010)

2.2 Μαθηματική ανάλυση

2.2.1 Ασαφές σύνολο

Τα κλασικά σύνολα αποσκοπούν στην τυπολογική αναπαράσταση μίας λογικής έννοιας.

Για ένα σύνολο X και ένα στοιχείο y , η χαρακτηριστική συνάρτηση του συνόλου X θα ήταν:

$$I_X(y) = \begin{cases} 1, & y \in X \\ 0, & y \notin X \end{cases}$$

Δηλαδή το y είτε ανήκει είτε δεν ανήκει στο X .

Ο Zadeh όταν εισήγαγε την έννοια του ασαφούς συνόλου, προσπάθησε να αναπαραστήσει με τον ίδιο τρόπο σύνολα με ασαφή και όχι αυστηρά όρια, καθώς τα κλασικά σύνολα δεν μπορούσαν να αποδώσουν καθημερινές λεκτικές έννοιες όπως «Δεν έχει και πολύ κρύο», φράση που τα μαθηματικά θα απαιτούσαν να έχει σαφή όρια (είτε έχει κρύο είτε δεν έχει).

Έτσι δημιούργησε την συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου:

$$\mu_X(y) \in [0,1]$$

Η παραπάνω συνάρτηση μεταφράζεται ως εξής:

$\mu_x(y) = 1$: το y ανήκει πλήρως στο X

$\mu_x(y) = 0$: το y δεν ανήκει στο X

$0 < \mu_x(y) < 1$: το y ανήκει εν μέρει στο X

Η συνάρτηση συμμετοχής $\mu_x(y)$ ισούται με τον βαθμό συμμετοχής του στοιχείου y στο σύνολο X , δηλαδή με μία τιμή μεταξύ του 0 και του 1 που εκφράζει κατά πόσο το y ανήκει στο σύνολο X .

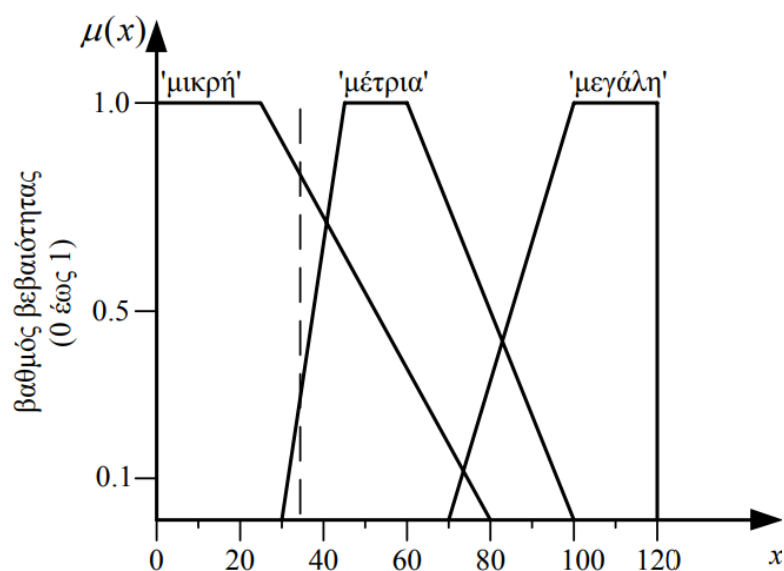
Μία συνθήκη στην οποία εφαρμόζεται το παραπάνω είναι η εξής:

Έστω πεδίο ορισμού $A = \{0, 1, \dots, 120\}$ και $X = \{0, 1, \dots, 30\}$ το σύνολο των ηλικιών κατά τις οποίες ένας άνθρωπος θεωρείται νέος.

Σύμφωνα με τα κλασικά σύνολα, αν το στοιχείο y ανήκει στο σύνολο X , τότε $I_X(y) = 1$, δηλαδή οποιαδήποτε ηλικία μεταξύ 0 και 30 θεωρείται νεαρή. Αν όμως $y=32$, τότε η συνάρτηση συμμετοχής είναι ίδια με την περίπτωση που $y=85$, δηλαδή ένας άνθρωπος 32 ετών είναι τόσο νέος, όσο ένας άνθρωπος 85 ετών. Στα ασαφή σύνολα όμως θα μπορούσε να θεωρείται σχετικά μικρή και σχετικά μεσαία ηλικία, αναλόγως του βαθμού συμμετοχής του.

Η συνάρτηση συμμετοχής μπορεί να οριστεί με βάσει τις πιθανότητες εμφάνισης μίας τιμής, μετρήσεις, εκτιμήσεις ή διαδικασίες που περιλαμβάνουν νευρωνικά δίκτυα.

Τα ασαφή σύνολα μπορούν να αποτυπωθούν και λεκτικά όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Αποτυπώνονται τρία ασαφή σύνολα ('μικρή', 'μέτρια', 'μεγάλη') στα οποία έχει διαμεριστεί μία είσοδος ενός συστήματος.



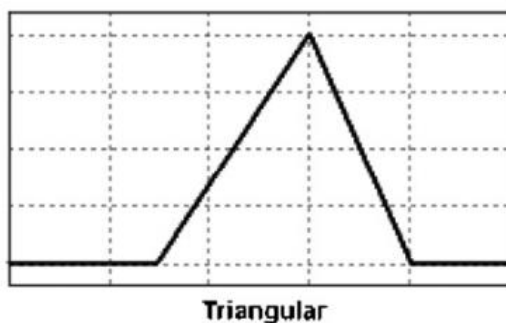
Εικόνα 4: Γραφική αναπαράσταση ασαφών συνόλων. Πηγή: (Παπαδάκης & Αδαμίδης, 2004)

Η ηλικία των 32 θεωρείται σαφής (crisp) τιμή. Βάσει του παραπάνω διαγράμματος, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μικρή όπου ο βαθμός βεβαιότητας είναι 0.8 και μέτρια με βαθμό βεβαιότητας 0.3.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι το ασαφές σύνολο αποτυπώνει την κατανομή της δυνατότητας (possibility distribution), ενώ ο βαθμός συμμετοχής αποτυπώνει τον βαθμό της βεβαιότητας (Η ηλικία των 32 είναι μικρή με βαθμό βεβαιότητας 80%).

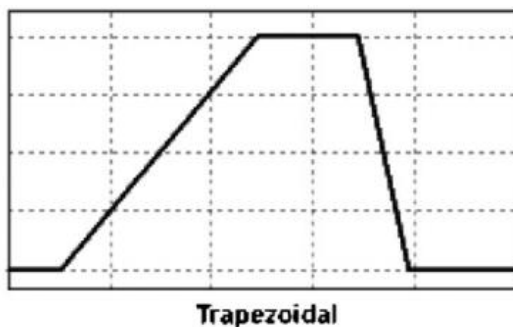
Οι πιθανές γραφικές αναπαραστάσεις ενός ασαφούς συνόλου είναι:

- Τριγωνική



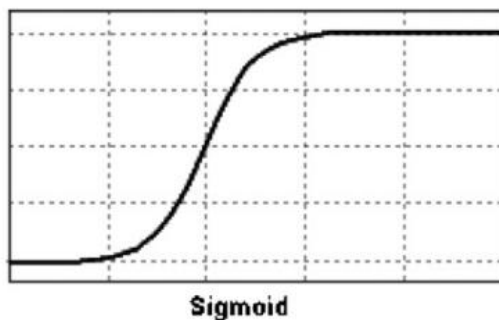
Εικόνα 5: Τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008)

- Τραπεζοειδής



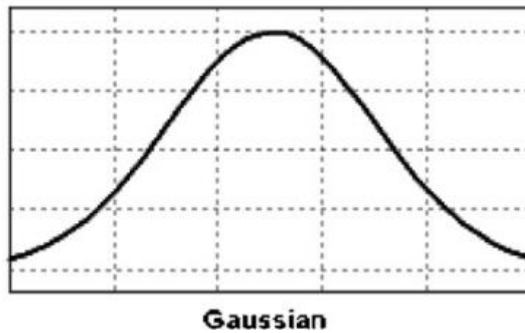
Εικόνα 6: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008)

- Η Σιγμοειδής



Εικόνα 7: Σιγμοειδής συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008)

- Γκαουσιανή (Gaussian)



Εικόνα 8: Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής. Πηγή:(Rezaee κ.ά., 2008)

Τα στοιχεία των ασαφών συνόλων είναι τα παρακάτω:

Κόρος

Κόρος ονομάζεται το πεδίο ορισμού της συνάρτησης συμμετοχής, για το οποίο το πεδίο τιμών είναι ίσο ή περίπου ίσο με ένα.

Πλάτος

Το πλάτος του ασαφούς συνόλου υποδηλώνει το εύρος του πεδίου ορισμού. Όσο λιγότερες είναι οι τιμές που περιέχονται, τόσο μικρότερο θα είναι και το πλάτος.

Στήριξη

Είναι το υποσύνολο του πεδίου ορισμού για το οποίο η συνάρτηση συμμετοχής δεν ισούται με μηδέν.

Ύψος

Το ύψος είναι το μέγιστο σημείο της συνάρτησης. Αν πρόκειται για κανονικό ασαφές σύνολο, ισούται με ένα, αλλιώς το σύνολο θεωρείται υποκανονικό.

Όρια

Τα όρια του συνόλου είναι τα σημεία για τα οποία ισχύει $0 < \mu_{(y)} < 1$, δηλαδή όλα τα στοιχεία εκτός του κόρου.

Κανονικό ασαφές σύνολο

Ένα ασαφές σύνολο θεωρείται κανονικό όταν στο πεδίο ορισμού του απαντάται τουλάχιστον μία τιμή με βαθμό συμμετοχής 1.

Κυρτό ασαφές σύνολο

Ένα ασαφές σύνολο θεωρείται κυρτό, όταν η συνάρτηση συμμετοχής του είναι μονότονα αύξουσα ή φθίνουσα.

Οι πράξεις μεταξύ ασαφών συνόλων είναι οι κάτωθι:

Ένωση

Για τρία ασαφή σύνολα A, B, C με πεδίο ορισμού X, η ένωση δίνεται από την σχέση:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

Τομή

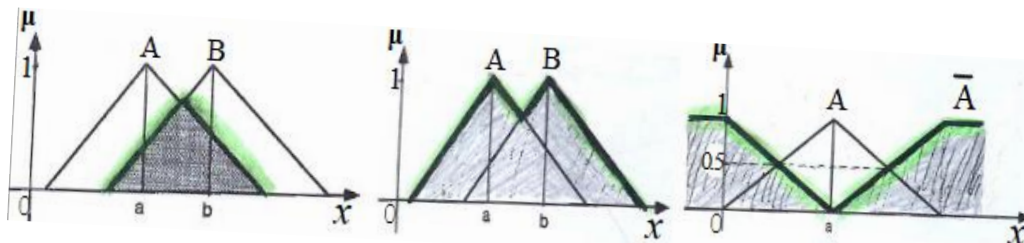
Για τρία ασαφή σύνολα A, B, C με πεδίο ορισμού X, η τομή δίνεται από την σχέση:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad \forall x \in X$$

Συμπλήρωμα

Για ασαφές σύνολο A με πεδίο ορισμού X, το συμπλήρωμα δίνεται από την σχέση:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X$$



Εικόνα 9 : Γραφική αναπαράσταση της ένωσης, τομής και του συμπληρώματος. Πηγή:(Θεοδώρου, 2010)

$$\overline{\bar{A}} = A$$

$$A \cup B = B \cup A$$

$$A \cap B = B \cap A$$

$$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$$

$$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

$$(A \cap (B \cup C)) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

$$(A \cup (B \cap C)) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

$$A \cup A = A, \quad A \cap A = A$$

$$(A \cup (A \cap B)) = A, \quad (A \cap (A \cup B)) = A$$

$$A \cup X = X, \quad A \cap \emptyset = \emptyset$$

$$A \cup \emptyset = A, \quad A \cap X = A$$

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}, \quad \overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

$$A \cup A' = X \sim 1$$

$$A \cap A' = \emptyset \sim 0$$

Αυτοπαθής (Involution)

Αντιμεταθετικότητα (Commutativity)

Προσεταιριστικότητα (Associativity)

Επιμεριστικότητα (Distributivity)

Ταυτοδύναμη (Idempotence)

Απορροφητικότητα (Absorption)

Απορροφητικότητα από X και \emptyset

Ταυτότητα - ουδέτερα (Identity)

De Morgan νόμοι

Δεν ισχύει ο νόμος της Αντίθεσης

Δεν ισχύει ο νόμος Συμπληρώματος

Εικόνα 10: Ιδιότητες ασαφών συνόλων. Πηγή:(Θεοδώρου, 2010)

(Παπαδάκης & Αδαμίδης, 2004)

2.2.2 Αρχές και κανόνες ασαφούς λογικής

Καθώς η ασαφής λογική χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί μία λεκτική αποτύπωση όρων που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαβαθμισμένοι λεκτικοί όροι ως εξής:

Αληθοτιμές

Ενώ τα δυαδικά συστήματα περιλαμβάνουν μόνο την τιμή «αληθής» και «ψευδής» (1 και 0), τα ασαφή εμπεριέχουν και διαβαθμίσεις όπως «περίπου αληθής», «όχι ακριβώς αληθής», τα οποία ορίζονται ως ετικέτες στις τιμές του διαστήματος [0, 1].

Προτασιακοί τύποι

Ομοίως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και προτασιακοί τύποι που εκφράζουν μία κατάσταση όπως «περίπου 10», «μικρός», «νέος», «αθλητικός»

Τροποποιητές

Στα δυαδικά συστήματα ο τροποποιητής που χρησιμοποιείται είναι η άρνηση, σε αντίθεση με τα ασαφή, στα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ονομαζόμενοι «φράχτες» (hedges) όπως «λιγότερο», «ελαφρώς», «μάλλον».

Ποσοδείκτες

Ενδεικτικοί ποσοδείκτες που μπορούν να οριστούν σε ένα ασαφές σύστημα είναι «λίγο», «σχεδόν συχνά», «πάντα» κ.α.

Πιθανότητες

Οι πιθανότητες μπορούν να εκφραστούν με τους όρους «πολύ πιθανό», «λίγο πιθανό», «καθόλου πιθανό» κ.λ.π.

(Θεοδώρου, 2010)

Τα παραπάνω χρησιμεύουν στην βασική διαδικασία ενός ασαφούς συστήματος, που ονομάζεται ασαφοποίηση (fuzzification) και χρησιμοποιείται κατά την δημιουργία των ασαφών κανόνων.

Ο ασαφής κανόνας είναι το μέσο που χρησιμοποιείται για την σύνδεση των ασαφών συνόλων και αποτυπώνουν την γνώση που έχει ο δημιουργός για το σύστημα που συνθέτει.

Χωρίζεται σε δύο τμήματα: στην υπόθεση και στην απόφαση. Στον κανόνα:

If x is A, then y is B

το μέλος «If x is A» αναπαριστά την υπόθεση, ενώ το «then y is B» αναπαριστά την απόφαση.

Με την χρήση των παραπάνω, για ένα σύστημα πέδησης φρένου με εισόδους την ταχύτητα και την απόσταση από το επόμενο εμπόδιο, ένας κανόνας θα μπορούσε να εκφραστεί ως εξής:

Αν ταχύτητα μεγάλη και απόσταση μικρή, τότε δύναμη πέδησης μεγάλη

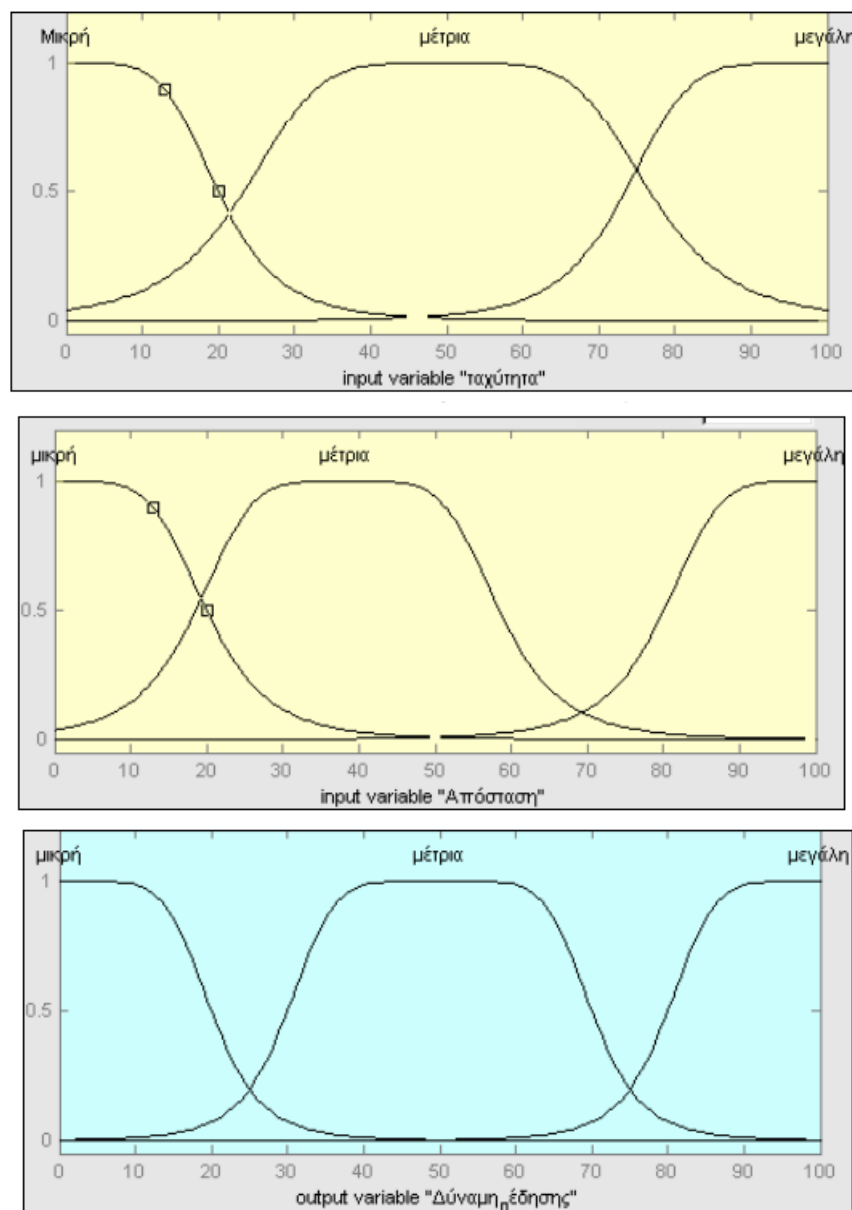
Στην πρόταση αυτή, η ταχύτητα και η απόσταση είναι οι *ασαφείς μεταβλητές εισόδου*, οι λέξεις «μεγάλη» και «μικρή» είναι οι τιμές των μεταβλητών και η δύναμη πέδησης είναι η έξοδος του συστήματος σε ασαφή μορφή.

Με τον συνδυασμό των δεδομένων εισόδου και των κανόνων, μόλις υπολογιστεί η έξοδος το σύστημα θα προχωρήσει σε αποασαφοποίηση.

Τα βήματα δημιουργίας ασαφών συστημάτων λοιπόν είναι τα παρακάτω:

1. Ασαφοποίηση (fuzzification)
2. Θέση κανόνων
3. Αποασαφοποίηση (defuzzification)

Στο παραπάνω παράδειγμα με την πέδηση φρένου οι είσοδοι και οι έξοδοι θα πρέπει να διαμεριστούν με λεκτικούς όρους ως κάτωθι:



Εικόνα 11: Λεκτικός διαμερισμός εισόδων - εξόδων. Πηγή:(Παπαδάκης & Αδαμίδης, 2004)

Έπειτα, θα πρέπει να τεθούν οι κανόνες. Στα περισσότερα συστήματα τίθενται πολλαπλοί κανόνες. Σε συνδυασμό με τον παραπάνω κανόνα, οι επιπλέον κανόνες μπορούν να είναι:

Αν ταχύτητα μικρή και απόσταση μικρή, τότε δύναμη πέδησης μικρή.

Αν ταχύτητα μέτρια και απόσταση μικρή, τότε δύναμη πέδησης μέτρια.

Οι κανόνες συνδυάζουν τις πιθανές μεταβλητές εισόδου στην υπόθεση με τους λογικούς τελεστές AND ή/και OR. Οι παραπάνω κανόνες συνδυάζονται με τον τελεστή AND. Ένα παράδειγμα κανόνα με την χρήση του τελεστή OR θα ήταν:

Αν ταχύτητα μεγάλη ή απόσταση μικρή, τότε δύναμη πέδησης μεγάλη.

Χρησιμοποιώντας τους ασαφείς λογικούς τελεστές, στην περίπτωση της μέτριας κατάστασης της ταχύτητας και της απόστασης, το σύστημα θα συμπεριφερθεί όπως και με τους λογικούς τελεστές. Αυτό σημαίνει ότι στην συνθήκη OR θα λάβει την μέγιστη τιμή βαθμού συμμετοχής και στην συνθήκη AND θα λάβει την ελάχιστη.

Στο παράδειγμα αυτό, με χρήση μόνο του πρώτου κανόνα, αν η ταχύτητα ήταν 70 km/h και η απόσταση ήταν 30 m θα ίσχυε:

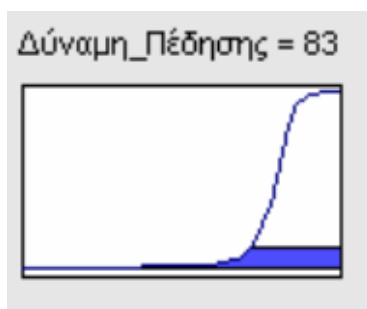
Ταχύτητα: μεγάλη με βαθμό βεβαιότητας 0.4
Απόσταση: μικρή με βαθμό βεβαιότητας 0.2 } δύναμη πέδησης μεγάλη

Αν ο πρώτος κανόνας τελούσε υπό συνθήκη OR θα κράταγε τον μικρότερο βαθμό βεβαιότητας, δηλαδή αυτόν της απόστασης (0.2). Με την συνθήκη AND θα κρατήσει τον μεγαλύτερο βαθμό βεβαιότητας, δηλαδή της ταχύτητας (0.4). Στην περίπτωση του πρώτου κανόνα ισχύει το εξής:

Αν ταχύτητα μεγάλη **και** απόσταση μικρή, τότε δύναμη πέδησης μεγάλη:

Μεγάλη(Δύναμη Πέδησης) = max (μεγάλη, μικρή) = max (0.4 , 0.2) = 0.2

Τότε, σύμφωνα με το παραπάνω αποτέλεσμα, στην γραφική παράσταση της εξόδου, το 0.2 αποτελεί σημείο στον άξονα γ (βαθμός συμμετοχής) και το τμήμα της γραφικής παράστασης του ασαφούς συνόλου της *μεγάλης* δύναμης πέδησης για το οποίο μπορεί να λάβει τιμές το 0.2 αποτελεί το ασαφές σύνολο της εξόδου:



Εικόνα 12: Γραφική παράσταση του ασαφούς συνόλου εξόδου. Πηγή:(Παπαδάκης & Αδαμίδης, 2004)

Η αποασαφοποίηση, δηλαδή η παραγωγή αυστηρά μαθηματικής τιμής (crisp output) μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μεθόδους:

1. Κεντροειδής αποασαφοποίηση

Η συντεταγμένη του άξονα x που αντιπροσωπεύει το κέντρο βάρους του σχήματος είναι και η έξοδος του συστήματος. Προκύπτει από την σχέση:

$$x = \frac{\int x\mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}$$

2. Μέσος όρος μεγίστων

Από τις τιμές με τον μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής που προκύπτουν για το ασαφές σύνολο της εξόδου υπολογίζεται ο μέσος όρος.

3. Άθροιση μεγίστων

Άθροίζονται μεταξύ τους οι παραπάνω μέγιστες τιμές.

2.3 Εφαρμογές

Το πρώτο σύστημα σε εφαρμογή που χρησιμοποίησε ασαφή λογική αφορούσε τον αυτόματο έλεγχο της μίξης και κατεργασίας υλικών στην τσιμεντοβιομηχανία και πραγματοποιήθηκε το 1978 στην Δανία.

Το 1987 η ασαφής λογική χρησιμοποιήθηκε από την Hitachi κατά την θέση σε λειτουργία του τρένου ταχείας μεταφοράς στην πόλη Sendai της Ιαπωνίας. Το ασαφές σύστημα ελέγχου που δημιουργήθηκε, ελέγχει μέχρι και σήμερα τον ρυθμό επιτάχυνσης και επιβράδυνσης του τρένου, κάτι που το έκανε να ξεχωρίζει για την ομαλή του κίνηση και την ενεργειακή απόδοση που το καθιστά 10% πιο αποδοτικό σε σχέση με τον ανθρώπινο χειρισμό της επιτάχυνσης. (Θεοδώρου, 2010)

Τα ασαφή συστήματα εκτείνονται σε πολλούς τομείς λόγω της ικανότητάς τους να χειρίζονται καταστάσεις που εμπεριέχουν αβεβαιότητα. Έχουν επεκταθεί στους περισσότερους, αν όχι όλους, επιστημονικούς κλάδους όπως είναι τα Μαθηματικά, η Βιολογία, η Μετεωρολογία, η Γενετική, η Ιατρική και άλλοι.

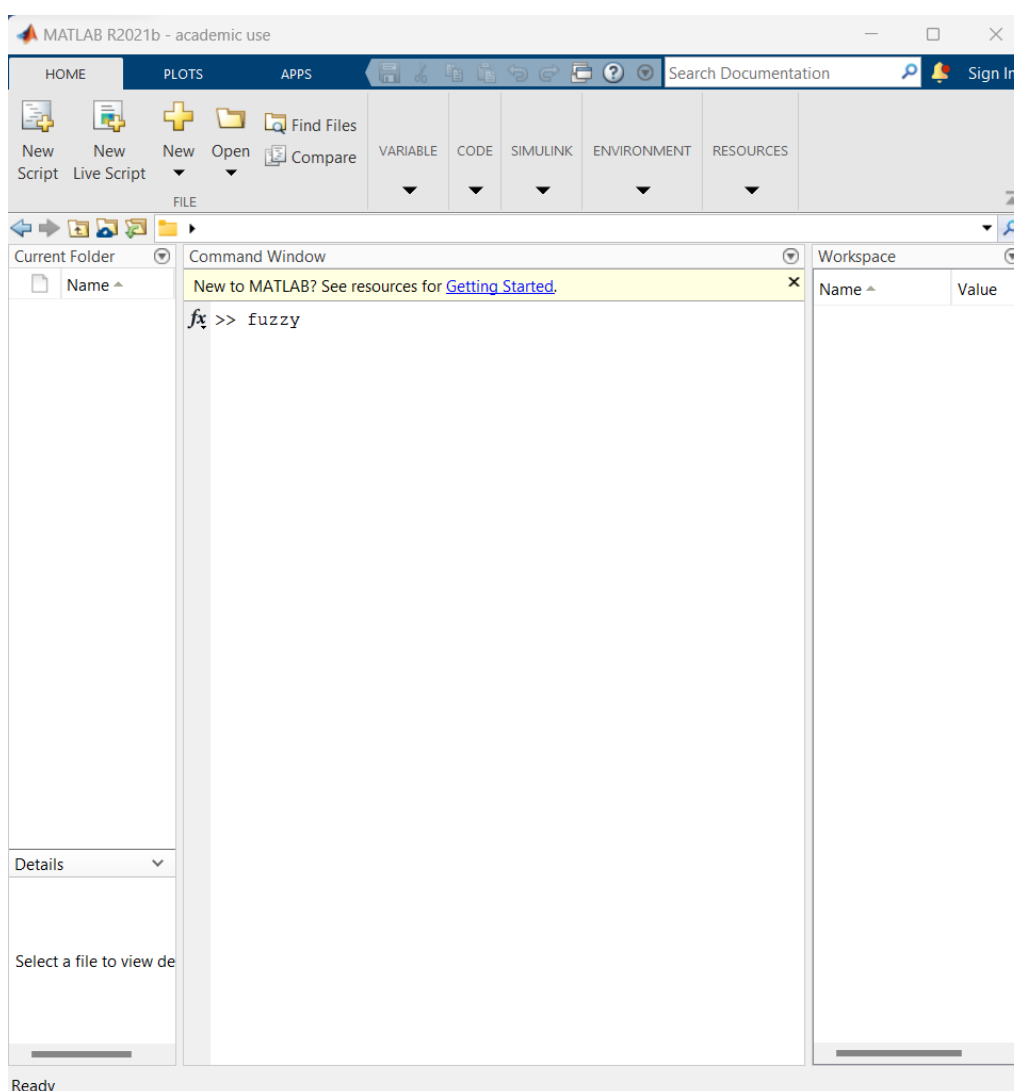
Μερικές μόνο από τις καθημερινές εφαρμογές τους απαντώνται σε ηλεκτρονικά είδη όπως τα πλυντήρια ρούχων που επιλέγουν το κατάλληλο πρόγραμμα πλύσης βάσει της ποσότητας και της καθαρότητας των ρούχων, ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε συστήματα κλιματισμού, καθώς και το σύστημα αντι-μπλοκαρίσματος πέδησης στην αυτοκίνηση (ABS).

Οι παραπάνω είναι μόνο μερικές από τις εφαρμογές των ασαφών συστημάτων. Η ευελιξία που προσφέρουν έχει βοηθήσει στην επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου, για τα οποία η δυαδική λογική μπορεί να μην αποτελούσε αποτελεσματική χρήση. (Munakata & Jani, 1994)

2.4 Matlab

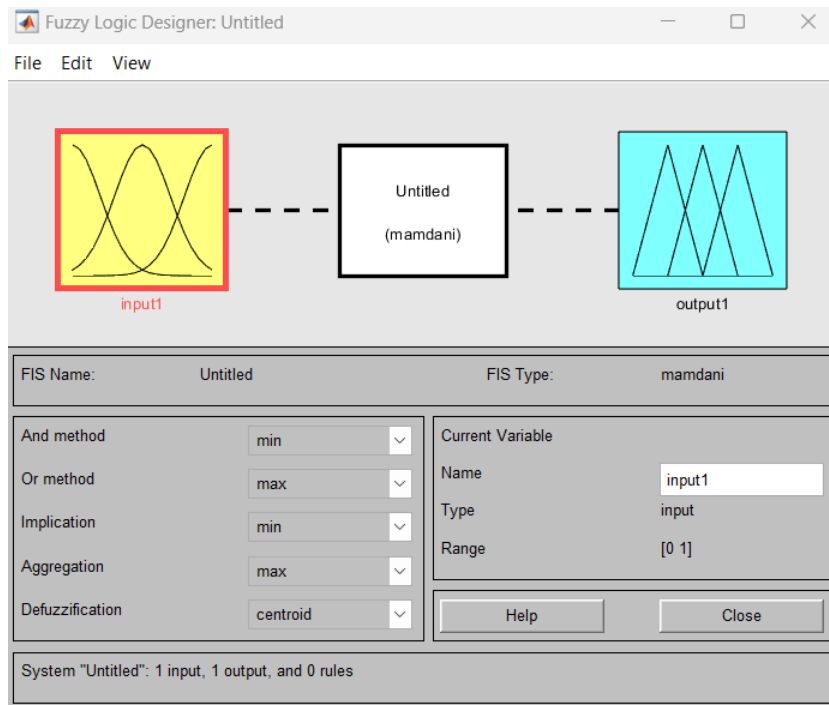
Το Matlab είναι μία προγραμματιστική πλατφόρμα που παρέχει την δυνατότητα να πραγματοποιούνται αριθμητικοί υπολογισμοί, να υλοποιούνται αλγόριθμοι, να σχεδιάζονται συναρτήσεις και να οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα σε υψηλή ποιότητα. Η υλοποίηση των λειτουργιών του Matlab πραγματοποιείται με την χρήση της προγραμματιστικής γλώσσας C++, στην οποία και γράφονται οι απαραίτητες εντολές. Διατίθενται εξειδικευμένες εργαλειοθήκες για τομείς όπως είναι η επεξεργασία σημάτων, τα νευρωνικά δίκτυα αλλά και η σχεδίαση συστημάτων ελέγχου. Επίσης διατίθεται εργαλειοθήκη για την σχεδίαση ασαφών συστημάτων, η οποία ονομάζεται fuzzy toolbox.

Η εργαλειοθήκη αυτή ενεργοποιείται με την καταγραφή fuzzy στην γραμμή εντολών:



Εικόνα 13: Matlab: Ενεργοποίηση fuzzy toolbox

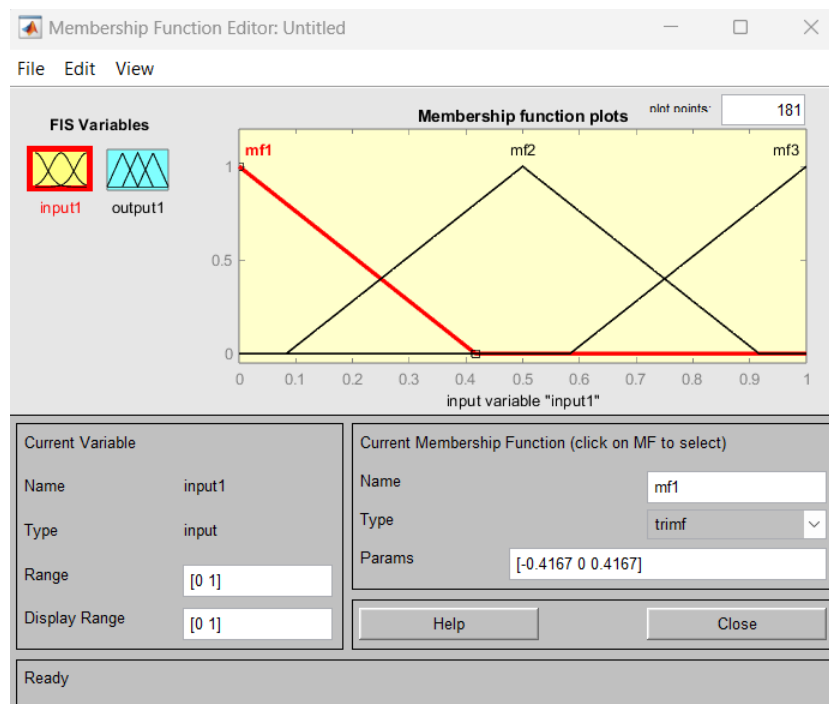
Μόλις πατηθεί το enter, ανοίγει ένα παράθυρο που διαθέτει τον σχεδιαστή των ασαφών συστημάτων:



Εικόνα 14: Matlab: Fuzzy Logic Designer

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, δίνεται η δυνατότητα καθορισμού της μεθόδου αποασαφοποίησης και η ονοματοδοσία στις μεταβλητές εισόδου εξόδου και του συστήματος.

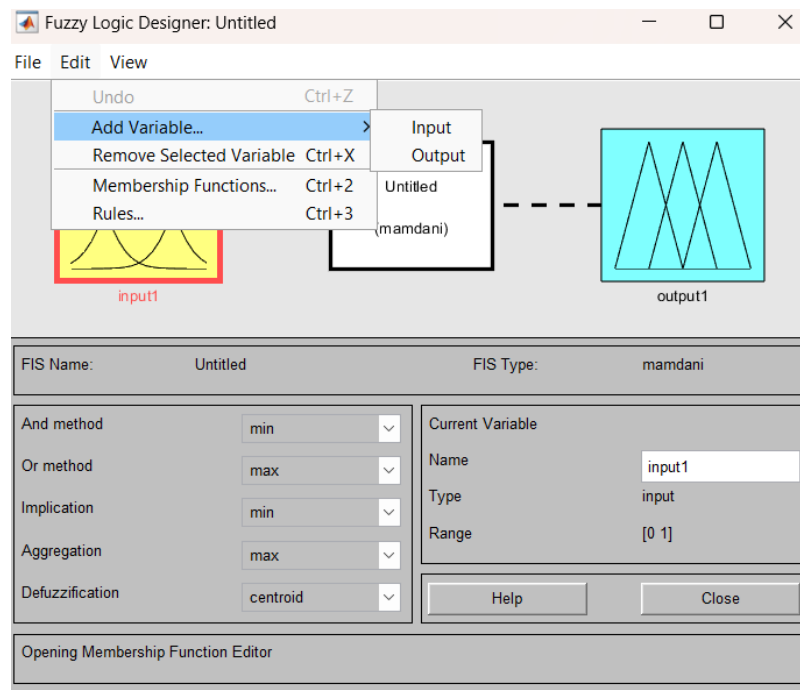
Όταν επιλεγθεί η είσοδος, ανοίγει το παράθυρο που επιτρέπει την επεξεργασία των χαρακτηριστικών της συνάρτησης συμμετοχής του κάθε ασαφούς συνόλου:



Εικόνα 15: Matlab: Συνάρτηση συμμετοχής εισόδου

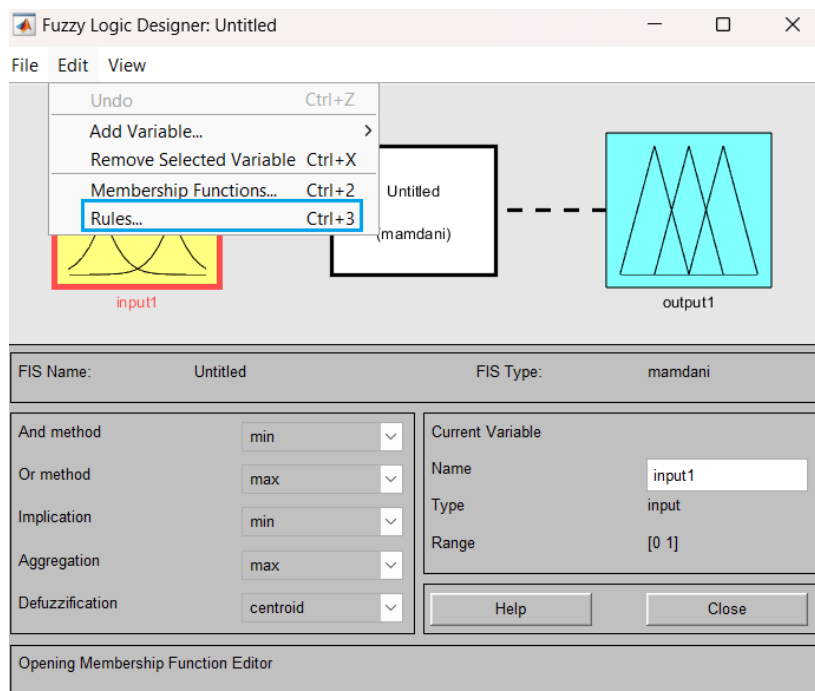
Επιλέγοντας την κάθε συνάρτηση, δίνεται η δυνατότητα ονοματοδοσίας του κάθε συνόλου (π.χ. μικρή, μέτρια, υψηλή), το εύρος τιμών αλλά και ο τύπος της συνάρτησης. Ομοίως συμβαίνει και για την έξοδο.

Επιλέγοντας Edit → Add Variable μπορούν να προστεθούν επιπλέον μεταβλητές εισόδου – εξόδου:



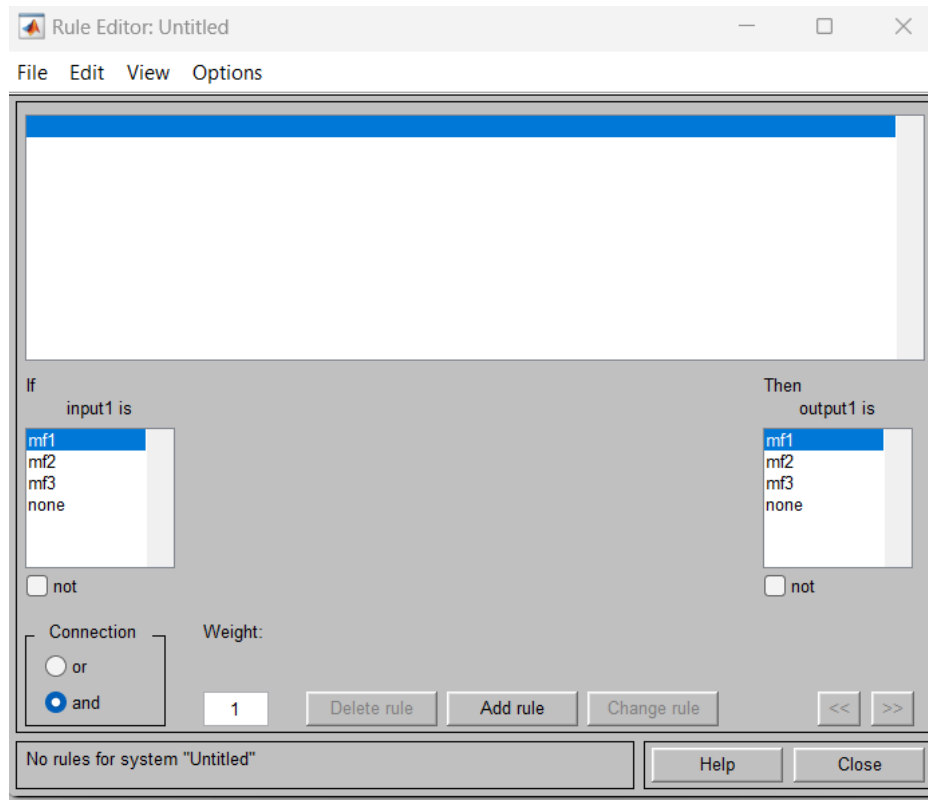
Εικόνα 16: Matlab: Προσθήκη μεταβλητών

Επιλέγοντας Edit → Rules... ανοίγει το παράθυρο που επιτρέπει την θέση κανόνων για το ασαφές σύστημα.



Εικόνα 17: Matlab: Προσθήκη κανόνων (α)

Όπως φαίνεται παρακάτω, δίνεται η δυνατότητα επιλογής του ασαφούς λογικού τελεστή με τον οποίο μπορούν να συνδέονται οι κανόνες (or / and):



Εικόνα 18: Matlab: Προσθήκη κανόνων (β)

Το ασαφές σύστημα της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε με την χρήση του παραπάνω toolbox.

Κεφάλαιο 3: Εκτίμηση κινδύνου στις διαδικασίες ερματισμού μέσω ασαφών συστημάτων

3.1 Ανάλυση επικινδυνότητας στον ερματισμό

Όπως αναπτύχθηκε και στο κεφάλαιο [1.2](#) η διαδικασία ερματισμού εμπεριέχει πολλούς κινδύνους για το θαλάσσιο οικοσύστημα. Ο διεθνής οργανισμός ναυτιλίας (IMO) έχει θεσπίσει δύο βασικούς κανονισμούς για τον μετριασμό των επιπτώσεων: την ανταλλαγή έρματος και την επεξεργασία του νερού έρματος.

Ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις ελλοχεύουν κίνδυνοι για το θαλάσσιο οικοσύστημα. Το σύστημα που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κινδύνου συνυπολογίζοντας τις συνθήκες που συνεισφέρουν σε αυτόν.

3.2 Project Development

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε μέσω της προγραμματιστικής πλατφόρμας MATLAB και με χρήση της εργαλειοθήκης fuzzy toolbox.

Το πρώτο βήμα για την δημιουργία ενός ασαφούς συστήματος, είναι η επιλογή κατάλληλων εισόδων για το σύστημα.

Για τις εισόδους του παρόντος συστήματος, αντλήθηκαν δεδομένα τόσο από δημοσιεύσεις μελετών στις οποίες εξετάζονταν τα περιεχόμενα δεξαμενών έρματος, όσο και από μελέτες στις οποίες αυτά τα περιεχόμενα υποβάλλονταν σε ακραίες συνθήκες προκειμένου να εξεταστεί η ανθεκτικότητα των οργανισμών και μικροοργανισμών.

Σκοπό αυτής της εργασίας αποτέλεσε και η συγκέντρωση όλων αυτών των δεδομένων σε ένα σύστημα, προκειμένου το αποτέλεσμα να αποδίδει τον πραγματικό βαθμό κινδύνου όσο το δυνατόν καλύτερα.

Λόγω της πληθώρας δεδομένων που συγκεντρώθηκε, ένα ασαφές σύστημα με πολυάριθμες εισόδους θα ήταν δυσλειτουργικό. Έτσι, θεωρήθηκε ότι η διάσπαση του συστήματος σε τρία διαφορετικά ασαφή συστήματα θα αξιοποιούσε τις πληροφορίες που αντλήθηκαν με λειτουργικό τρόπο.

Τα τρία συστήματα αφορούν τις τρεις διαδικασίες που διεκπεραιώνονται:

1. [Ασαφές σύστημα Ερματισμού](#)
2. [Ασαφές σύστημα Ανταλλαγής Έρματος](#)
3. [Ασαφές σύστημα Αφερματισμού](#)

Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα αξιολόγησης του περιβαλλοντικού κινδύνου σε κάθε διαδικασία ξεχωριστά.

3.2.1 Ασαφές σύστημα Ερματισμού

Η διαδικασία ερματισμού είναι η διεργασία κατά την οποία αντλείται νερό από το λιμάνι παράλληλα με την αποδέσμευση του βάρους του φορτίου, κυρίως για λόγους ευστάθειας.

3.2.1.1 Ασαφοποίηση εισόδων συστήματος

Ο οικολογικός αντίκτυπος που φέρει η διαδικασία ερματισμού καθορίζεται από διάφορες συνθήκες. Οι εισοδοί που χρησιμοποιήθηκαν αντικατοπτρίζουν τις συνθήκες που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ποιοτική κατάσταση του νερού πριν και μετά την άντλησή του από το λιμάνι.

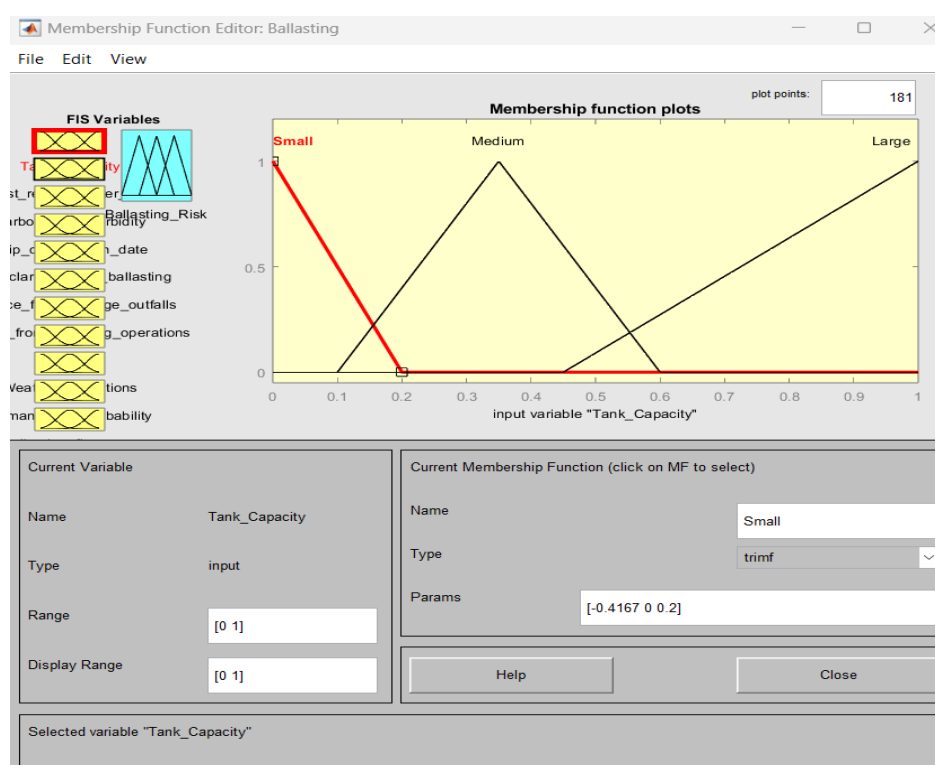
Στο παρόν σύστημα οι ασαφείς εισοδοί διαμορφώνονται ως εξής:

1. Tank's Capacity (Χωρητικότητα Δεξαμενής νερού έρματος)

Η χωρητικότητα της δεξαμενής που υποδέχεται το νερό έρματος επηρεάζει την ποσότητα των μικροοργανισμών και της πανίδας που θα μεταφερθούν από ένα λιμάνι προς ένα άλλο.

Η μετοχή του στο σύστημα αφορά τις περιπτώσεις που ο κίνδυνος είναι μεσαίας τάξης, οπότε αν η δεξαμενή έχει χωρητικότητα κάτω των 1.500m³ μειώνεται ο κίνδυνος, σε αντίθεση με την μεγάλη χωρητικότητα (άνω των 5.000m³) όπου και θα αυξηθεί.

Τα ασαφή σύνολα της χωρητικότητας διαμορφώνονται ως εξής:

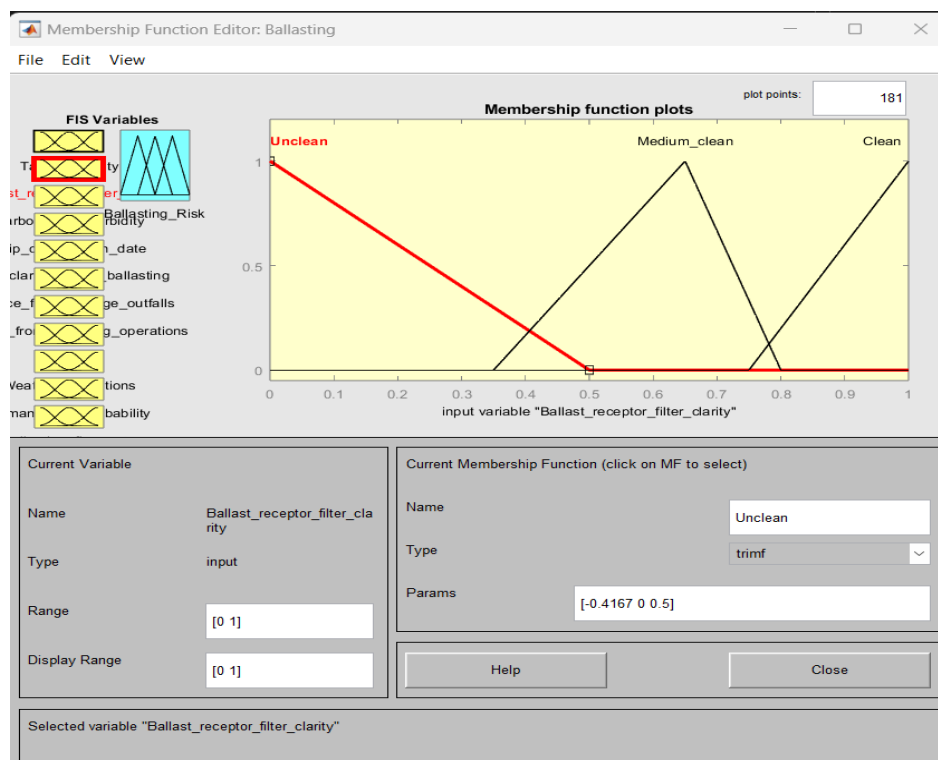


Εικόνα 19: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's Capacity

Small: Μικρότερη από 1.500 m³
Medium: Μεταξύ 1.500 m³ και 5.000 m³
Large: Μεγαλύτερη των 5.000 m³

2. Ballast receptor filter's clarity (Καθαρότητα φίλτρου υποδοχής έρματος)

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας έρματος πραγματοποιείται με το φιλτράρισμα του νερού κατά την είσοδό του στην δεξαμενή, προκειμένου να συγκρατήσει τις μεγάλες ποσότητες ιζήματος και οργανισμών. Ο καθαρισμός του πραγματοποιείται εσωτερικά με μεγαλύτερη συχνότητα, αλλά και εξωτερικά από δύτες με μικρότερη συχνότητα λόγω της πολυπλοκότητας της διαδικασίας. (Kholdebarin κ.ά., 2020) Εφόσον το φίλτρο μέσω του οποίου αντλείται το έρμα δεν είναι πρόσφατα καθαρισμένο, οι συνθήκες ανάπτυξης και μεταφοράς μικροοργανισμών γίνονται ευνοϊκές. Η μη καθαρότητά του αυτομάτως αυξάνει τον κίνδυνο. Στις περιπτώσεις που είναι καθαρό, ο κίνδυνος υπολογίζεται βάσει των υπόλοιπων παραμέτρων. Τα ασαφή σύνολα της καθαρότητας των φίλτρων υποδοχής διαμορφώνονται ως:

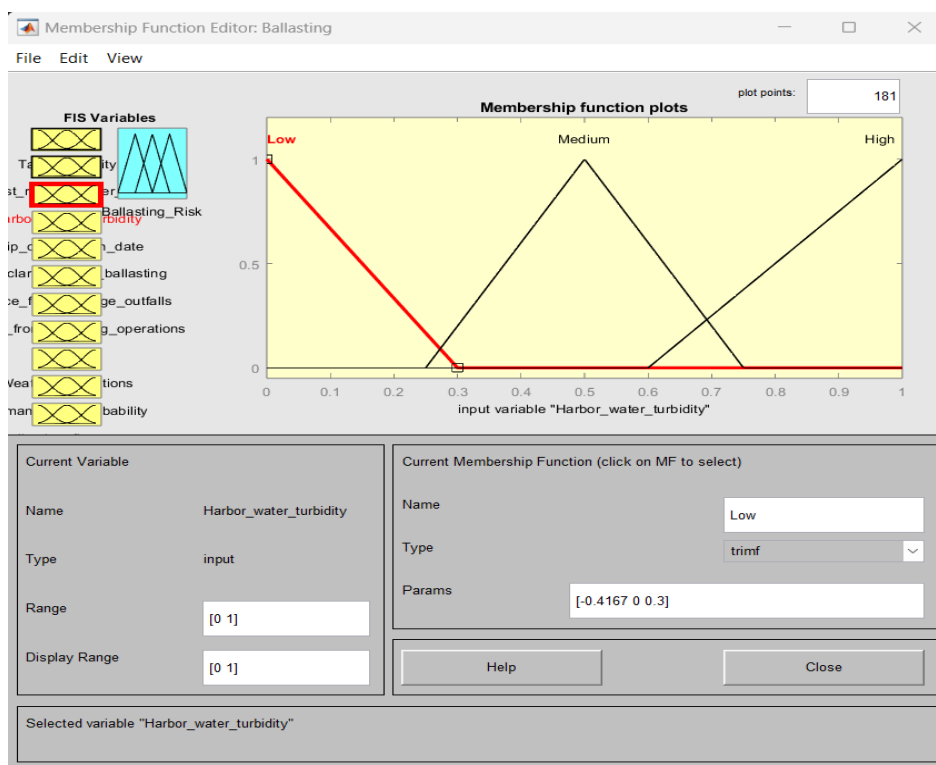


Εικόνα 20: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Receptor filter's clarity

Unclean
Medium Clean
Clean

3. Harbor's water turbidity (Θολότητα νερού στο λιμάνι)

Κατά τον ερματισμό, το προσωπικό πραγματοποιεί οπτικό έλεγχο για την καθαρότητα του νερού στο λιμάνι. Η υψηλή θολότητα προκαλείται από την ανύψωση ιζήματος από τον πυθμένα, το οποίο είναι πλούσιο σε μικροοργανισμούς, ιούς αλλά και βακτήρια. Είναι επίσης πιθανό να υποδεικνύει την παρουσία οργανικής ύλης όπως είναι η άλγη, στην οποία αποδίδεται η κόκκινη παλίρροια που μπορεί να προκαλέσει λοιμώξεις του αναπνευστικού. (Pereira κ.ά., 2016)
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η θολότητα μπορεί να θεωρηθεί ένας αξιόπιστος δείκτης της περιεκτικότητας σε επιβλαβείς οργανισμούς, ωστόσο δεν καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα. Χρησιμοποιείται σαν είσοδος που μπορεί να επηρεάσει τον βαθμό επικινδυνότητας, όχι όμως σε καθοριστικό βαθμό.
Τα ασαφή σύνολα για την θολότητα ορίζονται ως:



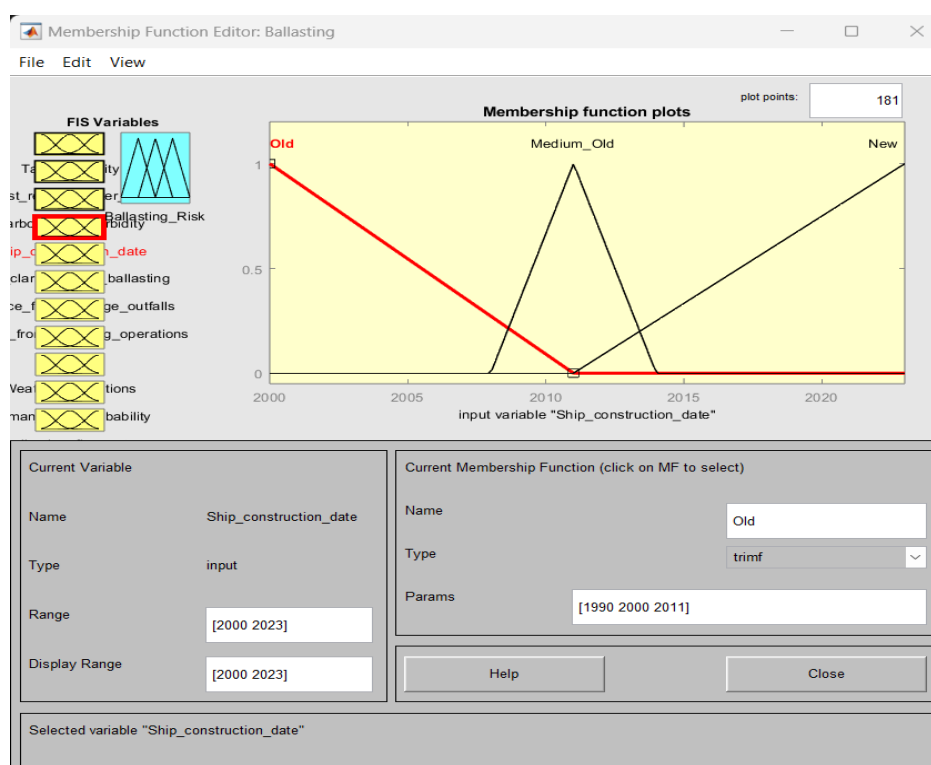
Εικόνα 21: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Harbor's water turbidity

Low
Medium
High

4. Ship's construction date (Χρονολογία κατασκευής πλοίου)

Στις νομοθεσίες που αφορούν την θέση σε ισχύ του συστήματος διαχείρισης θαλάσσιου έρματος, γίνεται διαχωρισμός στα περιθώρια συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, ανάμεσα σε πλοία κατασκευασμένα πριν το 2009, μεταξύ 2009 και 2012 και μετά το 2012. Τα περιθώρια αυτά σχετίζονται με την ημερομηνία κατασκευής και το κατά πόσο προηγείτο σε σχέση με την θέση σε ισχύ των κανονισμών. Οι συγκεκριμένες χρονολογίες χρησιμοποιήθηκαν ώστε να συνοπλογοιστούν και οι πιθανές βλάβες σωληνώσεων ή και οι πιθανές διαρροές. Η συγκεκριμένη μεταβλητή επηρεάζει το ρίσκο συνδυαστικά, ανεβάζοντας το ρίσκο όταν το πλοίο είναι παρωχημένης χρονολογίας, χωρίς όμως να σημαίνει ότι στην περίπτωση που υπόλοιπες μεταβλητές είναι ιδανικές θα το αυξήσει. (Τσιμίνος, 2022)

Τα ασαφή σύνολα της χρονολογίας κατασκευής καθορίζονται ως εξής:



Εικόνα 22: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Ship's construction date

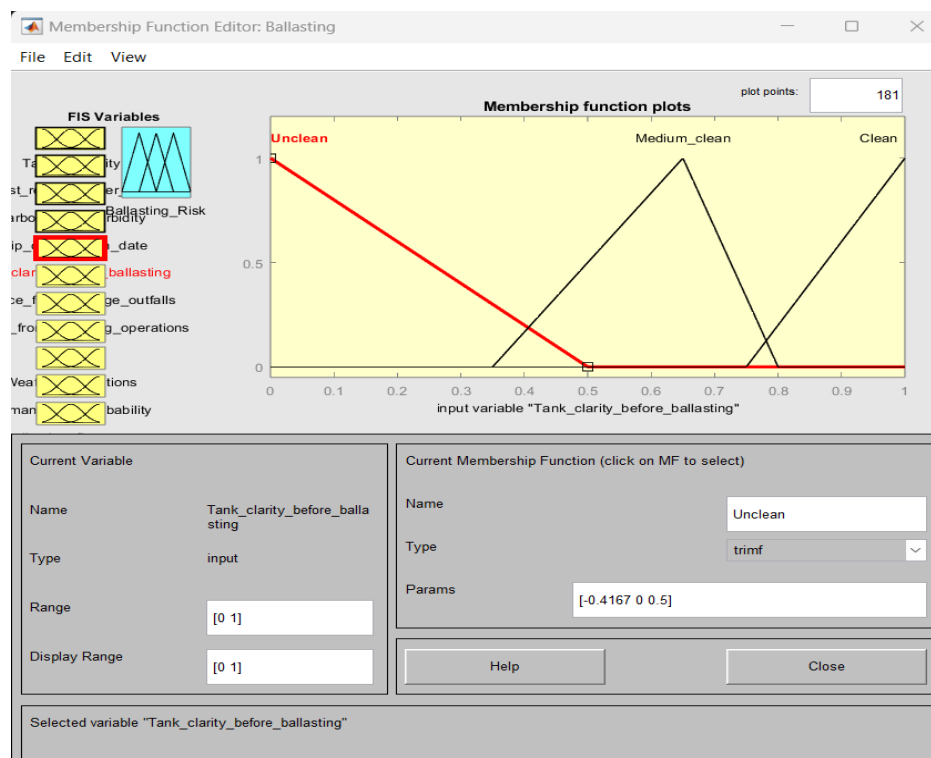
Old: Πριν το 2009
Medium Old: Μεταξύ 2009 και 2012
New: Μετά το 2012

5. Tank's clarity before ballasting (Καθαρότητα δεξαμενής προ ερματισμού)

Οι δεξαμενές υποδοχής έρματος, συγκεντρώνουν στον πυθμένα μεγάλες ποσότητες από ιζημα και οργανισμούς, τα οποία λειτουργούν ως «εκκολαπτήρια» για σωματίδια είτε ζωντανά είτε σε λανθάνουσα φάση. (L. A. Drake κ.ά., 2007)

Ομοίως με την θολότητα του νερού, αυτή η είσοδος του συστήματος βασίζεται κατά κύριο λόγο στην αξιολόγηση μέσω της παρατήρησης. Οι δεξαμενές εσωτερικά καθαρίζονται από το προσωπικό του πλοίου σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι τιμές της διαμορφώνονται από παράγοντες όπως ο φόρτος εργασίας που οδηγεί στην παράταση του διαστήματος από τον καθαρισμό ή στις πρακτικές διαχείρισης έρματος που ακολουθεί το πλοίο. Μία επιμελώς καθαρισμένη δεξαμενή μειώνει τον κίνδυνο πολλαπλασιασμού βακτηρίων αλλά και αλληλεπίδρασης επιβλαβών οργανισμών. Αντίθετα, μία δεξαμενή με μεγάλες ποσότητες ιζήματος θέτει σε κίνδυνο την αποτελεσματική τήρηση του κανονισμού D2. (Valkonić & Obhodž, 2020)

Τα ασαφή σύνολα για την καθαρότητα δεξαμενής ορίζονται ως:



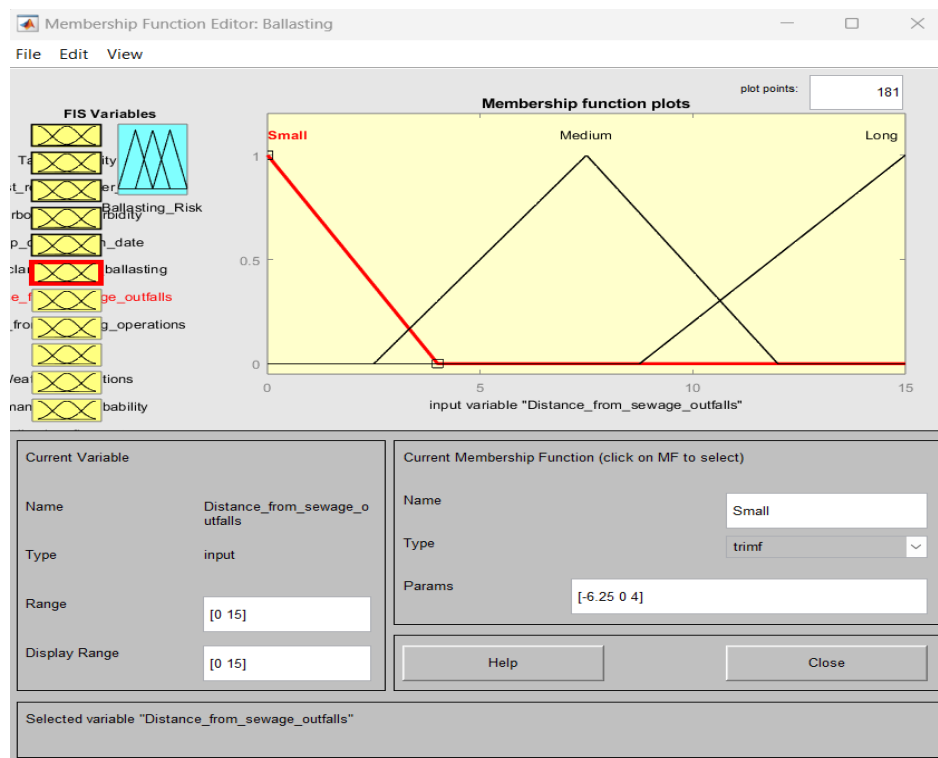
Εικόνα 23: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's clarity before ballasting

Unclean
Medium Clean
Clean

6. Distance from sewage outfalls (Απόσταση από εκροές λυμάτων)

Αν κοντά στην τοποθεσία ερματισμού απαντώνται εκροές λυμάτων, ελλοχεύει ο κίνδυνος της άντλησης και μεταφοράς ιών και βακτηρίων που μπορούν να προσβάλλουν και τον άνθρωπο. Καθώς αυτοί οι οργανισμοί διαχέονται στο νερό, είναι αναγκαίο η απόσταση του πλοίου κατά τον ερματισμό να είναι αυξημένη. Βάσει έρευνας που πραγματοποιήθηκε στη Νέα Ζηλανδία και αναφέρεται στο βιβλίο «New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research» (Loutit & Lewis, 1985), σε απόσταση 3.5 km η περιεκτικότητα είναι ακόμη αυξημένη, ωστόσο τα πρώτα σημάδια σημαντικής μείωσης σημειώνονται στα 8 km. Είναι μία από τις μεταβλητές με τη μεγαλύτερη βαρύτητα, συνεπώς αν η απόσταση κρίνεται μικρή ο κίνδυνος αυτομάτως θεωρείται υψηλός, και αν η απόσταση κρίνεται μέτρια αλλά συνδυάζεται με μέτριου ρίσκου μεταβλητές, ο κίνδυνος εξακολουθεί να είναι υψηλός.

Για τις εκροές λυμάτων, τα ασαφή σύνολα διαμορφώνονται ως:



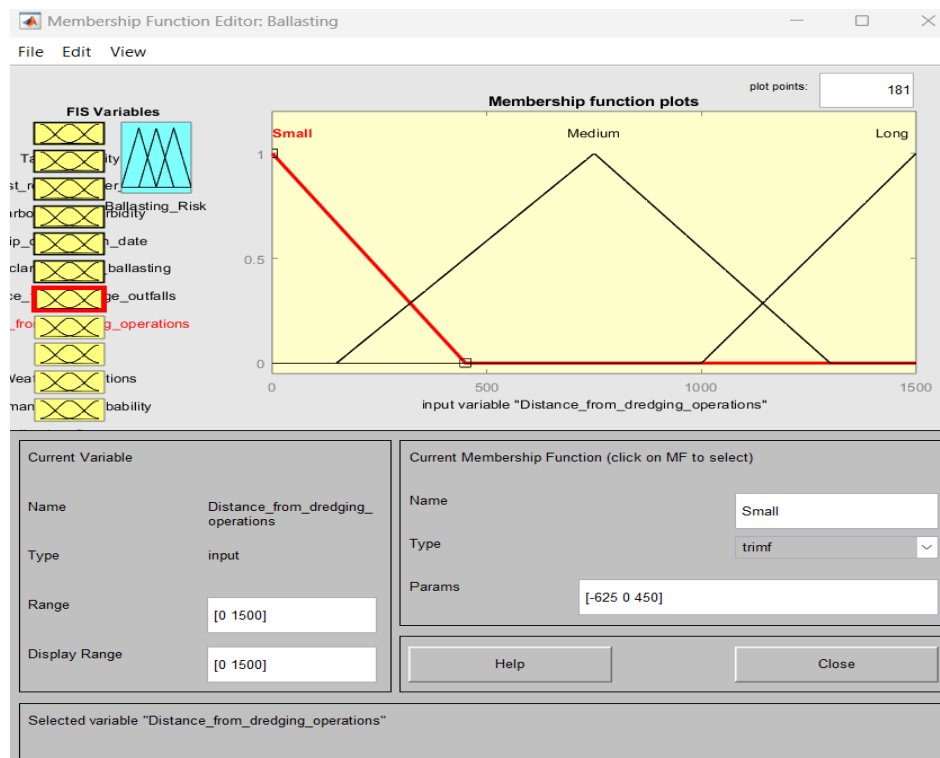
Εικόνα 24: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Distance from sewage outfalls

Small: Μικρότερη των 3.5 km
Medium: Μεταξύ 3.5 km και 10 km
Long: Μεγαλύτερη από 10 km

7. Distance from dredging operations (Απόσταση από εργασίες βυθοκόρησης)

Οι εργασίες βυθοκόρησης επηρεάζουν το υδάτινο οικοσύστημα με την αυξημένη ροή ιζήματος σε υψηλότερα επίπεδα από τον πυθμένα, το οποίο μπορεί να ταξιδέψει με ικανοποιητική πυκνότητα σε απόσταση έως 1.300 m περίπου. Ιδιαίτερα λόγω της εκσκαφής του πυθμένα, αναδύονται οργανισμοί που υπό κανονικές συνθήκες ενδεχομένως δεν θα ταξίδευαν μέσω του έρματος. Ως μεταβλητή έχει τον ίδιο βαθμό βαρύτητας με την απόσταση από εκροές λυμάτων, καθώς υπερπολλαπλασιάζει τους οργανισμούς που περιέχονται στο έρμα. (Cutroneo κ.ά., 2012)

Τα ασαφή σύνολα της απόστασης από εργασίες βυθοκόρησης είναι:



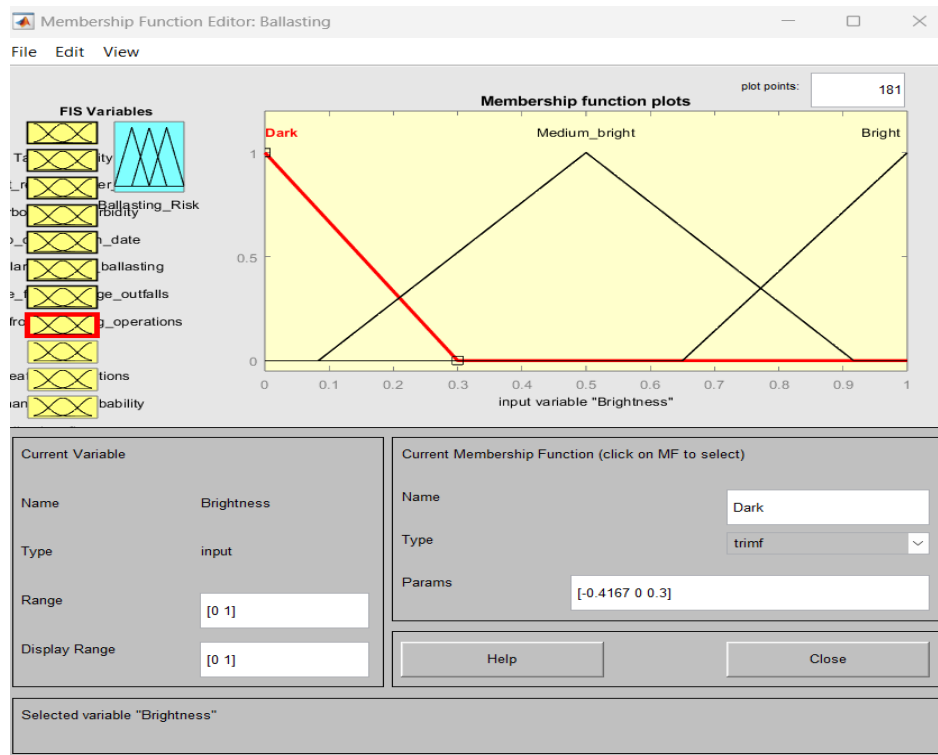
Εικόνα 25: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Distance from dredging operations

Small: Μικρότερη των 300 m
Medium: Μεταξύ 300 m και 1.300 m
Long: Μεγαλύτερη από 1.300 m

8. Brightness (Φωτεινότητα)

Η φωτεινότητα ως παράγοντας κρίνεται μέσω του οπτικού ελέγχου. Επηρεάζει την καθαρότητα του έρματος, καθώς στο σκοτάδι αναδύονται οργανισμοί που κατοικούν στον πυθμένα. (Τσιμίνος, 2022) Ως μεταβλητή δεν έχει μεγάλη βαρύτητα, ωστόσο αν οι συνθήκες δεν είναι ιδανικές, γέρνει τον κίνδυνο προς μέτριο ή υψηλό, παρόλο που δεν τον καθορίζει αποκλειστικά.

Τα ασαφή σύνολα για την φωτεινότητα διαμορφώνονται ως:

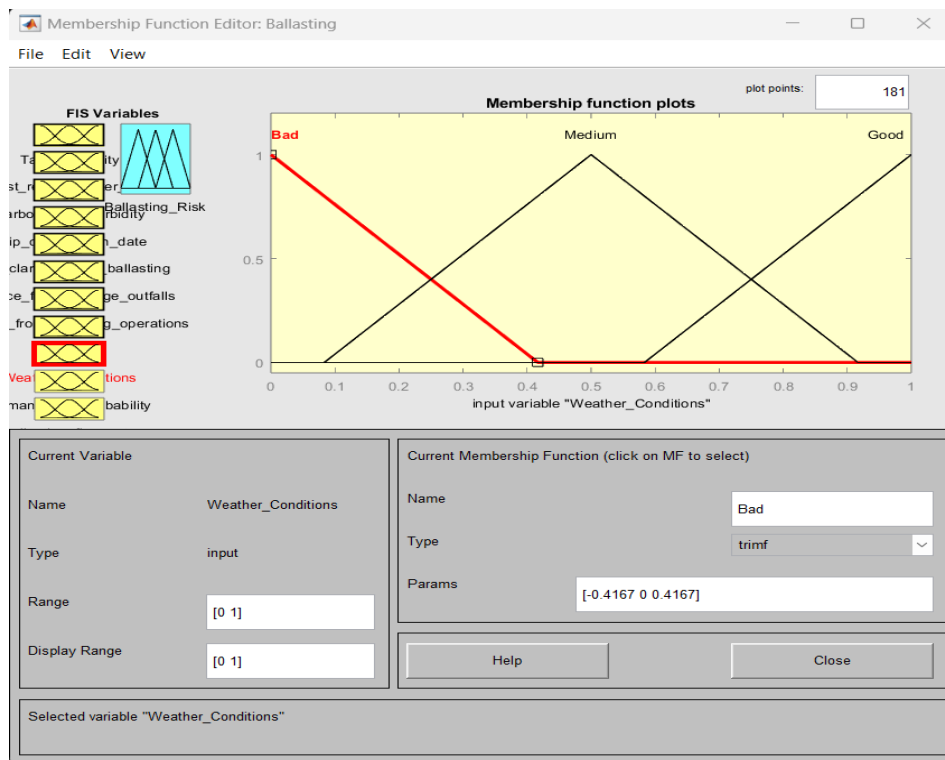


Εικόνα 26: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Brightness

Dark
Medium Bright
Bright

9. Weather conditions (Καιρικές συνθήκες)

Ο ερματισμός πραγματοποιείται κυρίως για λόγους ευστάθειας. Οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες συνιστούν αφενός την διακινδύνευση της ακεραιότητας του πλοίου, καθώς ο έντονος κυματισμός δυσχεραίνει την διεκπεραίωση του ερματισμού και αφετέρου την αυξημένη παρουσία ιζήματος λόγω της θαλάσσιας αναταραχής. Η βασική επιρροή τους στο βαθμό κινδύνου, αφορά τις περιπτώσεις που είναι δυσμενείς, όταν και αυξάνεται ο κίνδυνος. Στην μεσαία και χαμηλή κατηγορία ο κίνδυνος προσαρμόζεται συνδυαστικά με τις άλλες μεταβλητές. Τα ασαφή σύνολα των καιρικών συνθηκών είναι:



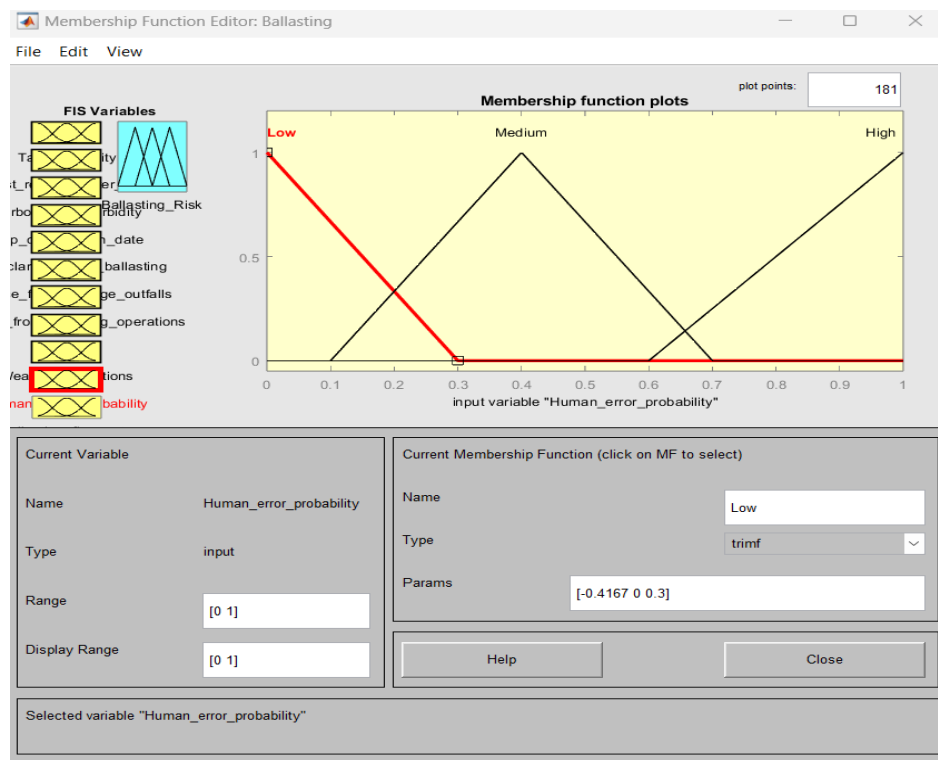
Εικόνα 27: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Weather conditions

Bad
Medium
Good

10. Human error probability (Παράγοντες ανθρώπινου λάθους)

Ο παράγοντας ανθρώπινου λάθους ορίζεται από το προσωπικό. Καθορίζεται από την κόπωση, καθώς και από την εμπειρία του προσωπικού στο εκάστοτε πόστο. Για παράδειγμα, εργασίες όπως το κλείσιμο βαλβίδων χωματερής ή η πραγματοποίηση sounding και ullage tests είναι πιθανό να παραλειφθούν σε καταστάσεις αυξημένης κόπωσης ή λόγω ελλιπούς εκπαίδευσης. Στις περιπτώσεις που είναι χαμηλοί αυτοί οι παράγοντες, ο κίνδυνος επηρεάζεται από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Αν ωστόσο οι παράγοντες είναι υψηλοί, τότε και ο κίνδυνος καθίσταται αυτομάτως υψηλός. Στην περίπτωση που είναι μέτριοι, κλίνουν την κλίμακα προς την αύξηση του κινδύνου.

Τα ασαφή σύνολα παραγόντων ανθρώπινου λάθους ορίζονται ως:



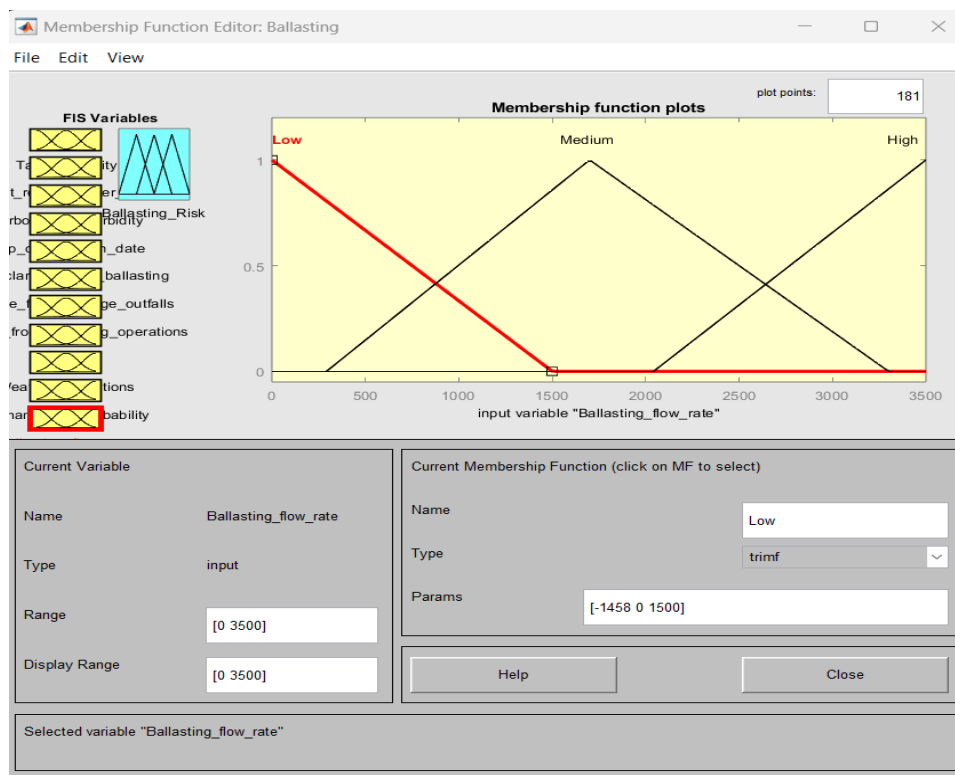
Εικόνα 28: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Human error probability

Low
Medium
High

11. Ballasting flow rate (Ρυθμός ροής ερματισμού)

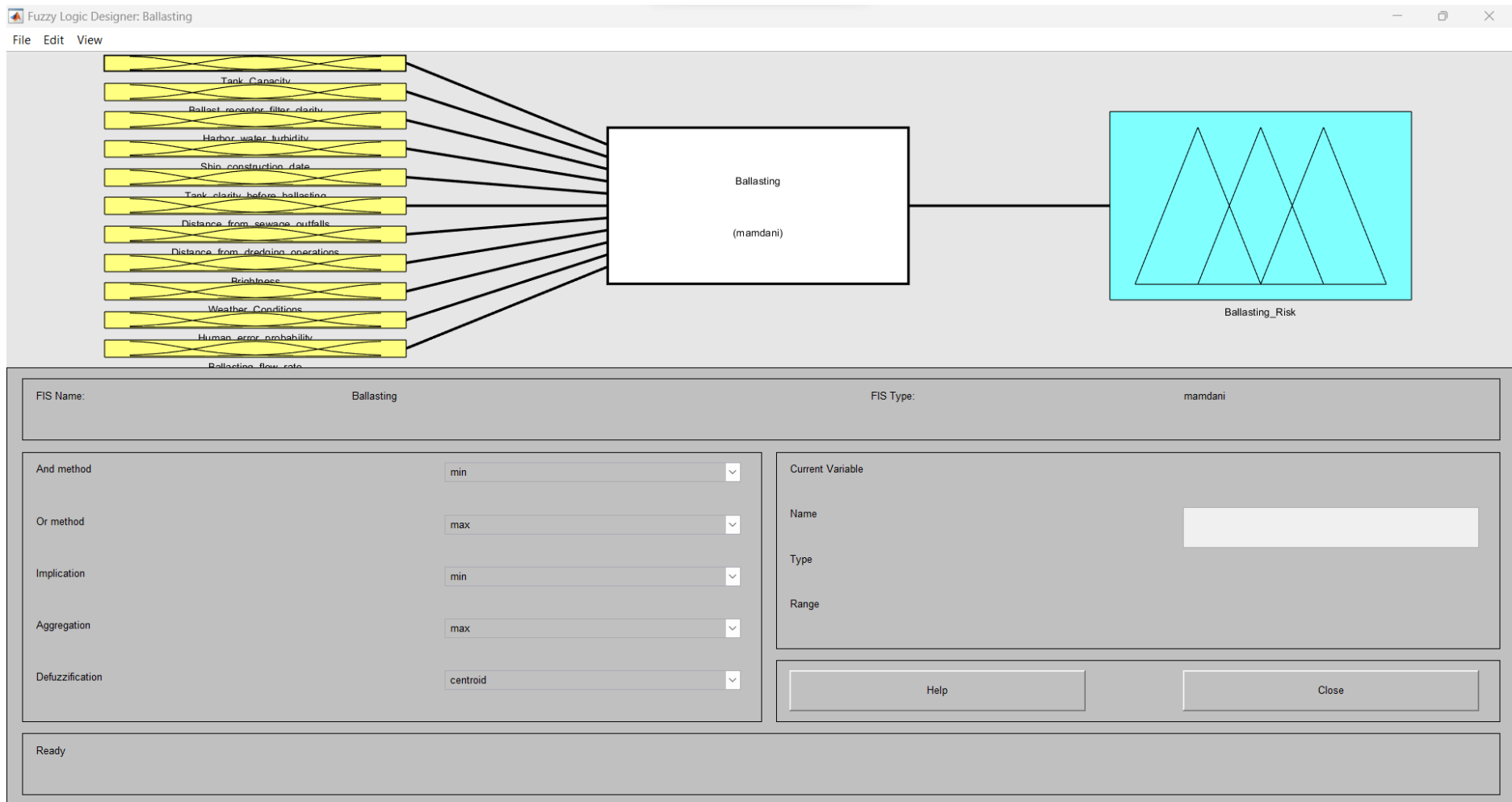
Ο ρυθμός ροής ερματισμού είναι σημαντικός για τις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται τεχνολογίες τύπου UV Lights και υπέρηχοι την ώρα που αντλείται το έρμα, ώστε να μειωθούν οι πληθυσμοί των επιβλαβών οργανισμών. Αν η ροή είναι γρήγορη, τότε η αποτελεσματικότητα αυτών μειώνεται και αυξάνονται οι πιθανότητες για βλάβες των σωληνώσεων. Η ροή έχει μέγιστο επιτρεπόμενο ρυθμό τα 3.000 m³/h, συνεπώς απαγορεύεται να ξεπεραστεί. Επίσης, αν είναι πολύ χαμηλός ενδέχεται και πάλι να δημιουργηθούν βλάβες στις σωληνώσεις. (Rahman, 2017) Αν η είσοδος είναι μέτρια, τότε ο κίνδυνος κρίνεται αποκλειστικά από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Αν ωστόσο είναι χαμηλή ή υψηλή, τότε συνδυαστικά με τις υπόλοιπες εισόδους θα επηρεάσει και τον βαθμό του κινδύνου.

Τα ασαφή σύνολα του ρυθμού ροής ερματισμού διαμορφώνονται ως:



Εικόνα 29: Ερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Ballasting flow rate

Low
Medium
High



Εικόνα 30: Ασαφές Σύστημα Εργασιμότητας

3.2.1.2 Κανόνες ασαφούς συστήματος

A/A	Connection	Tank's Capacity	Ballast receptor filter clarity	Harbor water turbidity	Ship construction date	Tank's clarity before ballasting	Distance from sewage outfalls	Distance from dredging operations	Brightness	Weather Conditions	Human error probability	Ballasting flow rate	Ballasting Risk
1.	And	Small	Clean	Low	New	Clean	Long	Long	Bright	Good	Low	Medium	Low
2.	Or	-	-	High	-	Unclean	Small	Small	-	Bad	High	-	High
3.	And	Small	Clean	Medium	New	Medium clean	Long	Long	Bright	Medium	Medium	Medium	Medium
4.	And	Large	Medium clean	Medium	Medium Old	Medium clean	Long	Long	Medium Bright	Medium	Medium	Low	Medium
5.	And	Medium	Clean	High	New	Clean	Small	Small	Bright	Bad	Low	High	High
6.	And	Medium	Medium clean	Medium	Medium Old	Clean	Long	Long	Bright	Good	Low	High	Low
7.	And	Small	Medium clean	Low	New	Clean	Long	Long	Medium bright	Medium	Low	Low	Low
8.	And	Large	Medium clean	Medium	New	Clean	Long	Long	Dark	Medium	Low	High	Medium
9.	And	Medium	Clean	Medium	New	Medium Clean	Medium	Medium	Dark	Medium	Low	High	High

Επεξήγηση κανόνων:

1. Αφορά τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό εισόδων. Οι παράμετροι λαμβάνουν τις ιδανικές τιμές.
2. Αυτός ο κανόνας συνδέεται με or αντί για and. Οι παράμετροι που έλαβαν μέρος είναι οι πιο καθοριστικές για την χειρότερη έκβαση του ρίσκου.

Για τις παραμέτρους αυτές ισχύουν τα παρακάτω:

Harbor water turbidity:

Η τιμή που έλαβε είναι Low, που σημαίνει ότι η καθαρότητα του νερού στο λιμάνι την στιγμή λήψης έρματος είναι χαμηλή (υψηλή θολότητα).

Η καθαρότητα του νερού εκτιμάται μέσω οπτικού ελέγχου από το προσωπικό του πλοίου, ωστόσο υπάρχουν έρευνες που υποδεικνύουν ότι η διαύγεια είναι αξιόπιστο μέσο εκτίμησης της καθαρότητας του νερού από ίζημα και περιεκτικότητα σε ορισμένους οργανισμούς. Το ίζημα αυξάνει την πιθανότητα φραγμού του συστήματος άντλησης και επεξεργασίας, συνεπώς θεωρείται υψηλής σημαντικότητας μεταβλητή. (Pereira κ.ά., 2016)

Tank's clarity before ballasting:

Η τιμή της μεταβλητής τίθεται στο Unclean. Η μη καθαρισμένη δεξαμενή ενδεχομένως να περιέχει επιπλέον μικροοργανισμούς μέσω των οποίων θα ευδοκιμήσουν οι νέοι οργανισμοί που θα εισαχθούν ή ίσως περιέχει κατάλοιπα από διαρροή πετρελαίου που δεν έχει εντοπιστεί. Συνεπώς αυξάνει καθοριστικά τον κίνδυνο. (Valković & Obhodž, 2020)

Distance from sewage outfalls:

Η είσοδος αυτή για το χειρότερο σενάριο, λαμβάνει την τιμή Low, δηλαδή η απόσταση από εκροές λυμάτων είναι μικρή. Αν το νερό έρματος είναι πιθανό να περιέχει ιούς που προσβάλλουν ανθρώπους και υδάτινους οργανισμούς, ο κίνδυνος αυξάνεται κατακόρυφα. (Loutit & Lewis, 1985)

Distance from dredging operations:

Η τιμή που δίνεται στην απόσταση από εργασίες βυθοκόρησης είναι Low. Αν βρίσκονται κοντά, αυξάνεται η περιεκτικότητα σε επιβλαβείς οργανισμούς και ίζημα, καθιστώντας δυσκολότερο τον καθαρισμό του έρματος και δημιουργώντας συνθήκες επιβλαβείς για το σύστημα διαχείρισης έρματος του πλοίου. Σε μικρή απόσταση, ο κίνδυνος αυξάνεται αυτόματα στο High. (Cutroneo κ.ά., 2012)

Weather Conditions:

Η μεταβλητή των καιρικών συνθηκών παίρνει την τιμή Bad. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυσμενείς οι συνθήκες. Μία κακοκαιρία επηρεάζει αρνητικά το ποσοστό επικινδυνότητας, καθώς τα περιεχόμενα του βυθού αναδύονται και αναδεύονται, συνεπώς μεταφέρονται στη δεξαμενή έρματος.

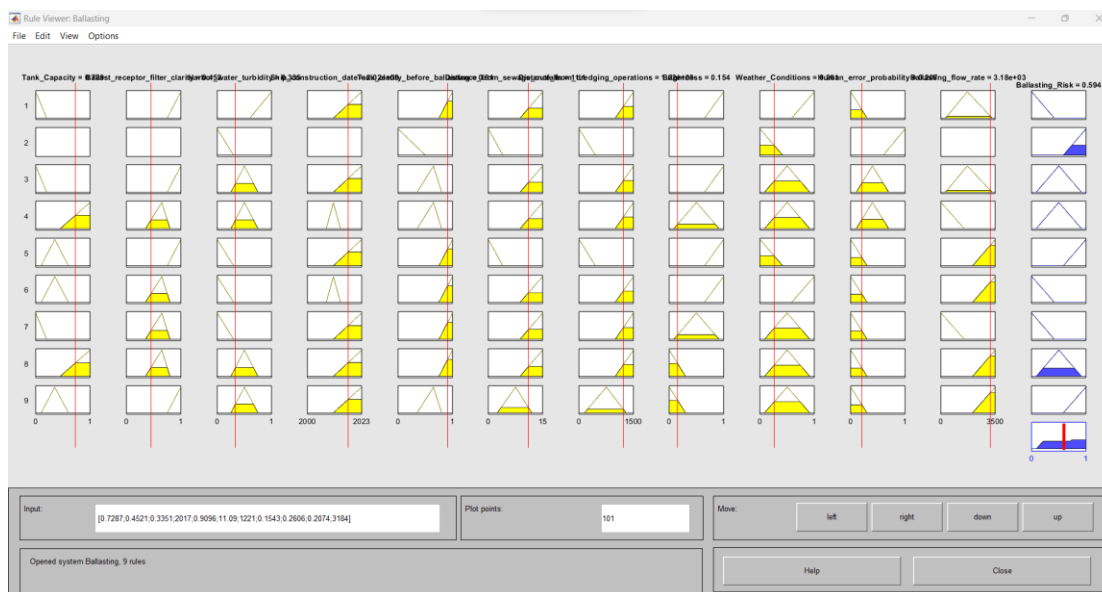
Human error probability:

Η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους, ορίζεται ως High, δηλαδή υψηλή. Υπάρχουν πολυάριθμες συνέπειες από ενδεχόμενα ανθρώπινα λάθη κατά την διάρκεια διαδικασιών ελέγχου και πρόληψης στο πλοίο. Ως μεταβλητή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο, καθώς μπορεί οι υπόλοιπες συνθήκες να είναι μέτριες προς καλές, αλλά να αντιστραφούν από μία λάθος εκτίμηση ή κάποια παράλειψη.

3. Κανόνας που αποφέρει μέτριο κίνδυνο. Όπως παρατηρείται οι μεταβλητές που δεν μετείχαν στον 2^ο κανόνα παίρνουν τις ιδανικές τιμές τους, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές παίρνουν μέτριες ή καλές τιμές.
4. Κανόνας που αποφέρει μέτριο κίνδυνο. Οι τιμές των μεταβλητών κυμαίνονται σε καλά και μέτρια επίπεδα.
5. Κανόνας υψηλού κινδύνου. Οι τιμές κυμαίνονται και στα 3 επίπεδα.
6. Κανόνας που αφορά χαμηλή πιθανότητα κινδύνου. Ενώ είναι χαμηλή προς μέτρια, ο κίνδυνος αντισταθμίζεται από τις αποστάσεις από εργασίες βυθοκόρησης και εκβολές λυμάτων, τις καιρικές συνθήκες, την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους, την θολότητα του νερού και την καθαρότητα δεξαμενής.
7. Κανόνας χαμηλής πιθανότητας κινδύνου. Ομοίως αφορά χαμηλή προς μέτρια επικινδυνότητα, η οποία αντισταθμίζεται από το μέγεθος της δεξαμενής και την χρονολογία κατασκευής και άλλων μεταβλητών.
8. Κανόνας που αφορά μέτρια επικινδυνότητα. Οι μεταβλητές έχουν παρόμοιες τιμές με αυτές του 7^{ου} κανόνα, ωστόσο κάποιες είναι στην αμέσως επόμενη βαθμίδα.
9. Κανόνας υψηλής επικινδυνότητας. Οι τιμές των μεταβλητών κυμαίνονται και στις 3 βαθμίδες, με σημαντικότερες τις αλλαγές της απόστασης από εκροές λυμάτων και εργασιών βυθοκόρησης.

3.2.1.3 Αποασαφοποίηση συστήματος

Ο πίνακας παρακάτω αποτελεί την οπτικοποίηση των ασαφών συνόλων εισόδων και εξόδου (στήλες) σύμφωνα με τους κανόνες (γραμμές). Το οπτικό αποτέλεσμα μεταβάλλεται αναλόγως των εισόδων που ορίζονται (Input). Η τελευταία στήλη αφορά την ασαφή έξοδο (Ballasting Risk) και στο κάτω μέρος της προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα με μορφή γραφικής απεικόνισης. Το αυστηρό αποτέλεσμα (crisp value) για τις τιμές που δόθηκαν στο παράδειγμα αναγράφεται πάνω από την τελευταία στήλη και είναι 0,594.



Εικόνα 31: Rule Viewer - Ballasting Risk

3.2.2 Ασαφές σύστημα Ανταλλαγής Έρματος

Η ανταλλαγή έρματος είναι η διαδικασία που επιβάλλεται μέσω του Κανονισμού D-1 για την μείωση των οργανισμών και του ιζήματος που θα μεταφερθούν στο επόμενο λιμάνι.

3.2.2.1 Ασαφοποίηση εισόδων συστήματος

Η ανταλλαγή έρματος, προκειμένου να θεωρηθεί επιτυχής ως προς την πρόληψη μεταφοράς βιοεισβολών στο λιμάνι εναπόθεσης, χρειάζεται να πραγματοποιηθεί υπό ευνοϊκές συνθήκες.

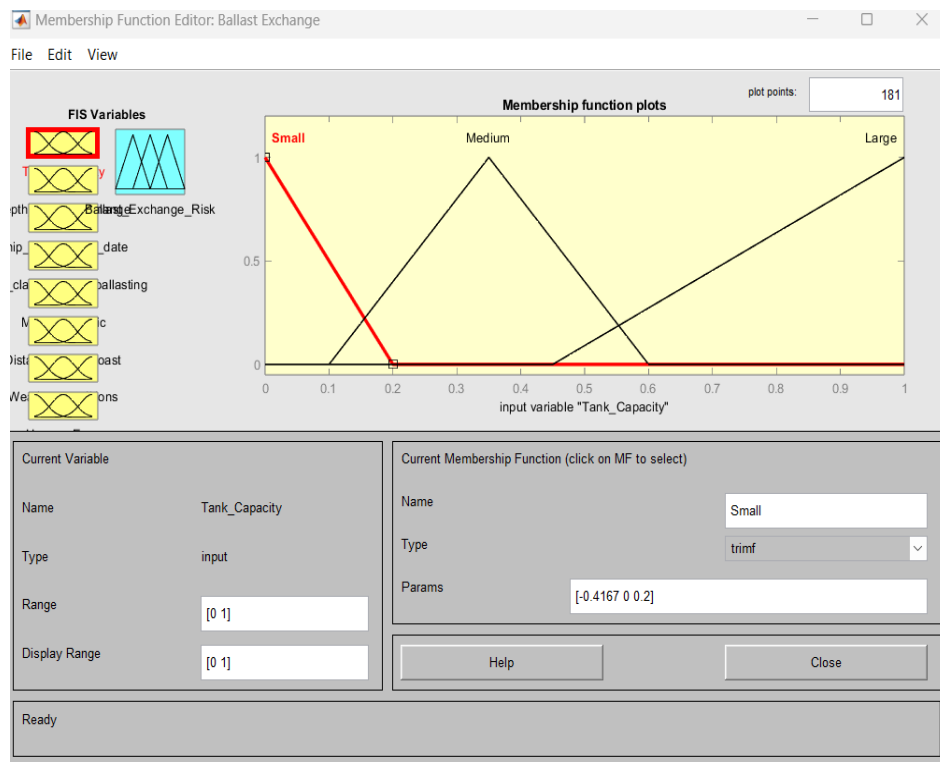
Οι ασαφείς εισοδοί που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν τις συνθήκες που καθορίζουν άμεσα ή έμμεσα την επιτυχή έκβαση της διαδικασίας και είναι οι παρακάτω:

1. Tank's Capacity (Χωρητικότητα Δεξαμενής νερού έρματος)

Η χωρητικότητα της δεξαμενής που υποδέχεται το νερό έρματος επηρεάζει την ποσότητα των μικροοργανισμών και της πανίδας που θα μεταφερθούν από ένα λιμάνι προς ένα άλλο.

Η μετοχή του στο σύστημα αφορά τις περιπτώσεις που ο κίνδυνος είναι μεσαίας τάξης, οπότε αν η δεξαμενή έχει χωρητικότητα κάτω των 1.500m³ μειώνεται ο κίνδυνος, σε αντίθεση με την μεγάλη χωρητικότητα (άνω των 5.000m³) όπου και θα αυξηθεί.

Τα ασαφή σύνολα της χωρητικότητας διαμορφώνονται ως εξής:



Εικόνα 32: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's Capacity

Large: Μεγαλύτερη των 5.000 m³

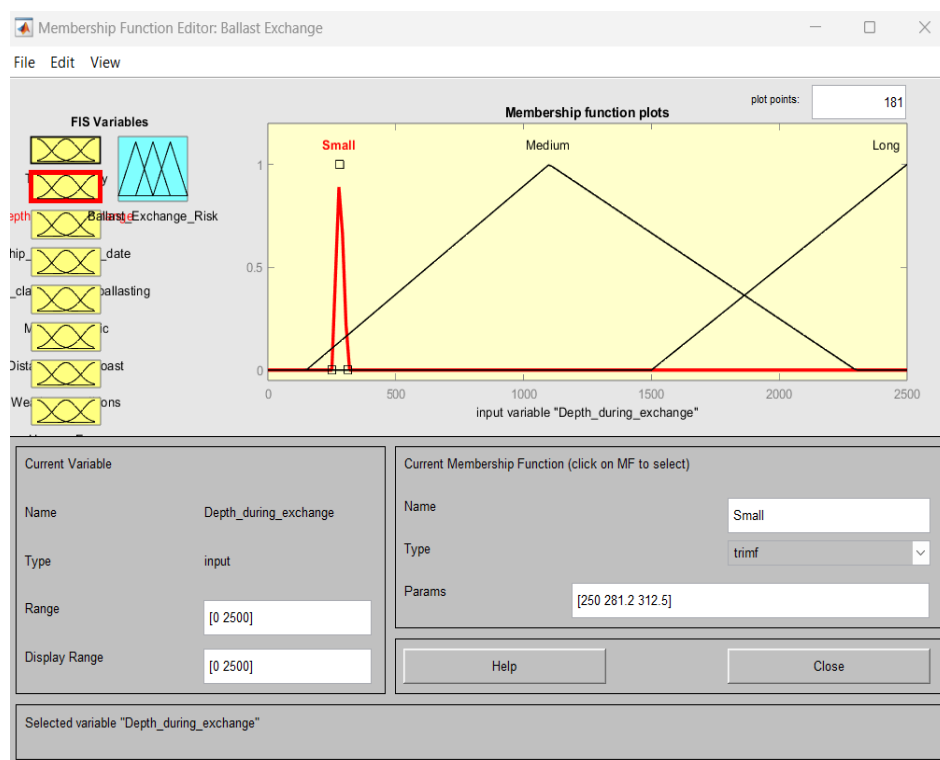
Medium: Μεταξύ 1.500 m³ και 5.000 m³

Small: Μικρότερη από 1.500 m³

2. Depth during exchange (Βάθος ανταλλαγής έρματος)

Σύμφωνα με τον κανονισμό D-1 το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο ερματισμού είναι τα 200 m. Ωστόσο τα 2.000 m βάθος φαίνεται να παρέχουν την αποτελεσματικότερη μείωση των οργανισμών που μεταφέρονται. (Ibrahim & El-naggar, 2012; International Guidelines for Preventing the Introduction of Unwanted Aquatic Organisms and Pathogens from Ships Ballast Water and Sediment Discharges, 1991) Αν το βάθος είναι μικρό, ο κίνδυνος αυξάνεται δραματικά, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη ότι κάτω των 200 m η ανταλλαγή έρματος κρίνεται παράνομη. Αν είναι μέτριο, συνυπολογίζονται και οι υπόλοιπες εισοδοι, αν και ο κίνδυνος μετατοπίζεται στην πιο υψηλή τιμή του. Αν είναι μεγάλο, τότε ο κίνδυνος εξαρτάται από τις υπόλοιπες μεταβλητές.

Τα ασαφή σύνολα του βάθους ορίζονται ως:



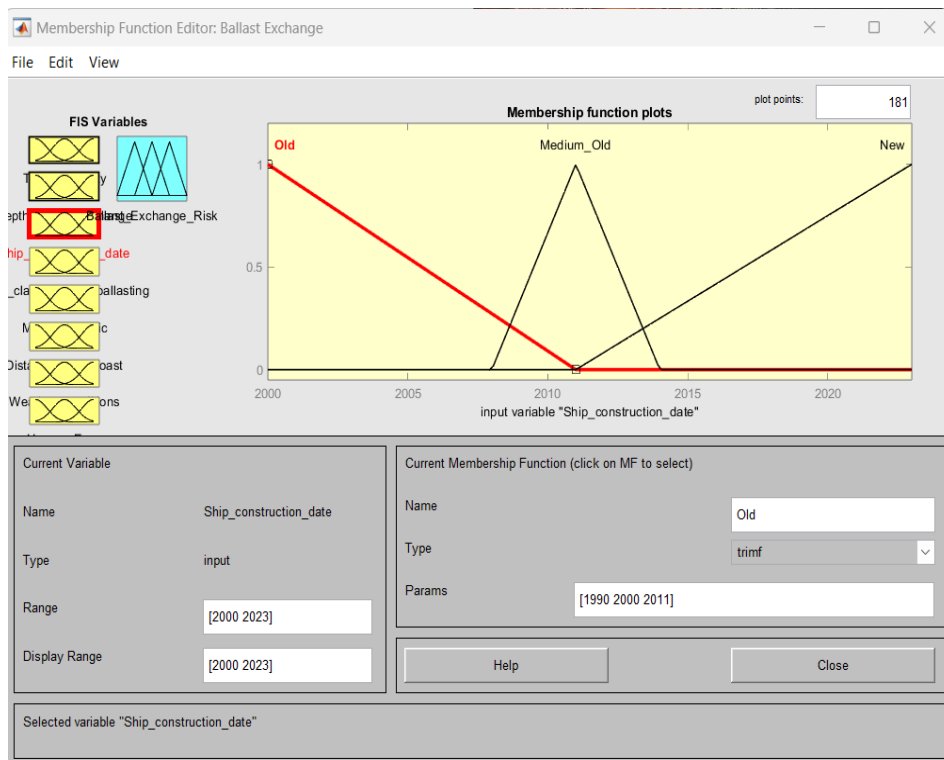
Εικόνα 33: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Depth during exchange

Small: Μικρότερο των 200 m
Medium: Μεταξύ 200 m και 2.000 m
Long: Μεγαλύτερο από 2.000 m

3. Ship's construction date (Χρονολογία κατασκευής πλοίου)

Στις νομοθεσίες που αφορούν την θέση σε ισχύ του συστήματος διαχείρισης θαλάσσιου έρματος, γίνεται διαχωρισμός στα περιθώρια συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, ανάμεσα σε πλοία κατασκευασμένα πριν το 2009, μεταξύ 2009 και 2012 και μετά το 2012. Τα περιθώρια αυτά σχετίζονται με την ημερομηνία κατασκευής και το κατά πόσο προηγείτο σε σχέση με την θέση σε ισχύ των κανονισμών. Οι συγκεκριμένες χρονολογίες χρησιμοποιήθηκαν ώστε να συνοπλογοποιηθούν και οι πιθανές βλάβες σωληνώσεων ή και οι πιθανές διαρροές. Η συγκεκριμένη μεταβλητή επηρεάζει το ρίσκο συνδυαστικά, ανεβάζοντας το ρίσκο όταν το πλοίο είναι παρωχημένης χρονολογίας, χωρίς όμως να σημαίνει ότι στην περίπτωση που υπόλοιπες μεταβλητές είναι ιδανικές θα το αυξήσει. (Τσιμίνος, 2022)

Τα ασαφή σύνολα της χρονολογίας κατασκευής καθορίζονται ως εξής:



Εικόνα 34: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Ship's construction date

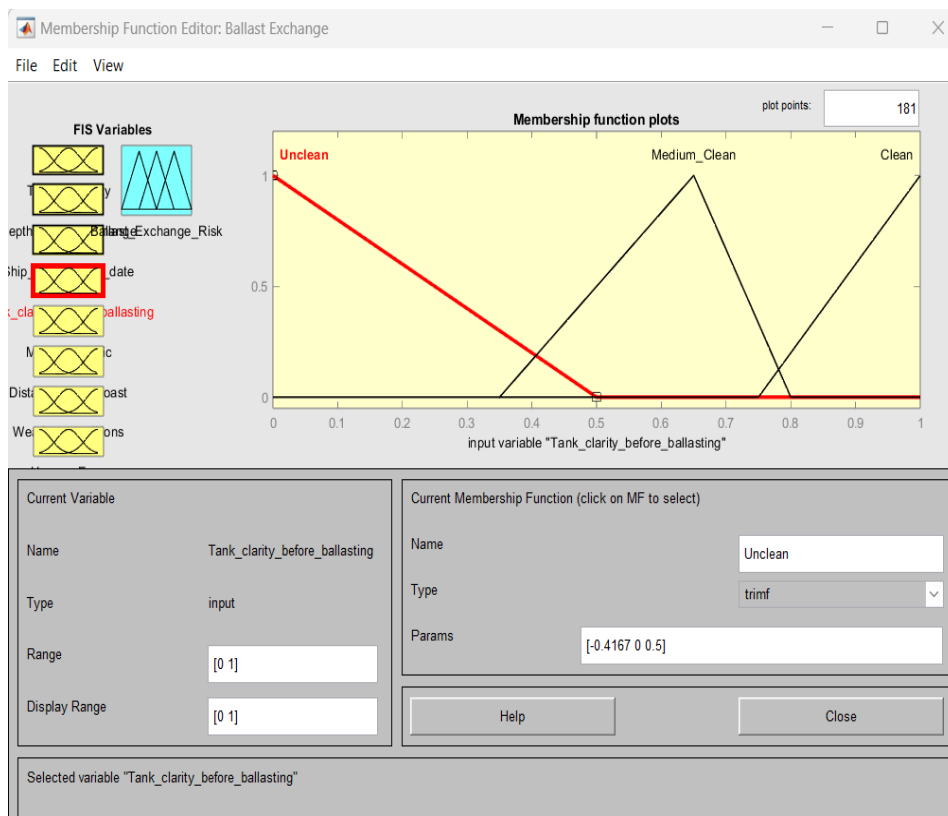
Old: Πριν το 2009
Medium Old: Μεταξύ 2009 και 2012
New: Μετά το 2012

4. Tank's Clarity before ballasting (Καθαρότητα δεξαμενής προ ερματισμού)

Οι δεξαμενές υποδοχής έρματος, συγκεντρώνουν στον πυθμένα μεγάλες ποσότητες από ιζήμα και οργανισμούς, τα οποία λειτουργούν ως «εκκολλαπτήρια» για σωματίδια είτε ζωντανά είτε σε λανθάνουσα φάση. (L. A. Drake κ.ά., 2007)
Ομοίως με την θολότητα του νερού, αυτή η είσοδος του συστήματος βασίζεται κατά κύριο λόγο στην αξιολόγηση μέσω της παρατήρησης. Οι δεξαμενές εσωτερικά καθαρίζονται από το προσωπικό του πλοίου σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι τιμές της διαμορφώνονται από παράγοντες όπως ο φόρτος εργασίας που οδηγεί στην παράταση του διαστήματος από τον καθαρισμό ή στις πρακτικές διαχείρισης έρματος που ακολουθεί το πλοίο. Μία επιμελώς καθαρισμένη δεξαμενή μειώνει τον κίνδυνο πολλαπλασιασμού βακτηρίων αλλά και αλληλεπίδρασης επιβλαβών οργανισμών. Αντίθετα, μία δεξαμενή με μεγάλες ποσότητες ιζήματος θέτει σε κίνδυνο την αποτελεσματική τήρηση του κανονισμού D2. (Valkonić & Obhodž, 2020)

Παρόλο που η μεταβλητή αφορά την καθαρότητα της δεξαμενής πριν τον ερματισμό, η ύπαρξη αυξημένου ιζήματος στην ανταλλαγή έρματος μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, αφού δεν είναι εύκολο να απομακρυνθεί σε μεγάλες ποσότητες.

Τα ασαφή σύνολα για την καθαρότητα δεξαμενής ορίζονται ως:

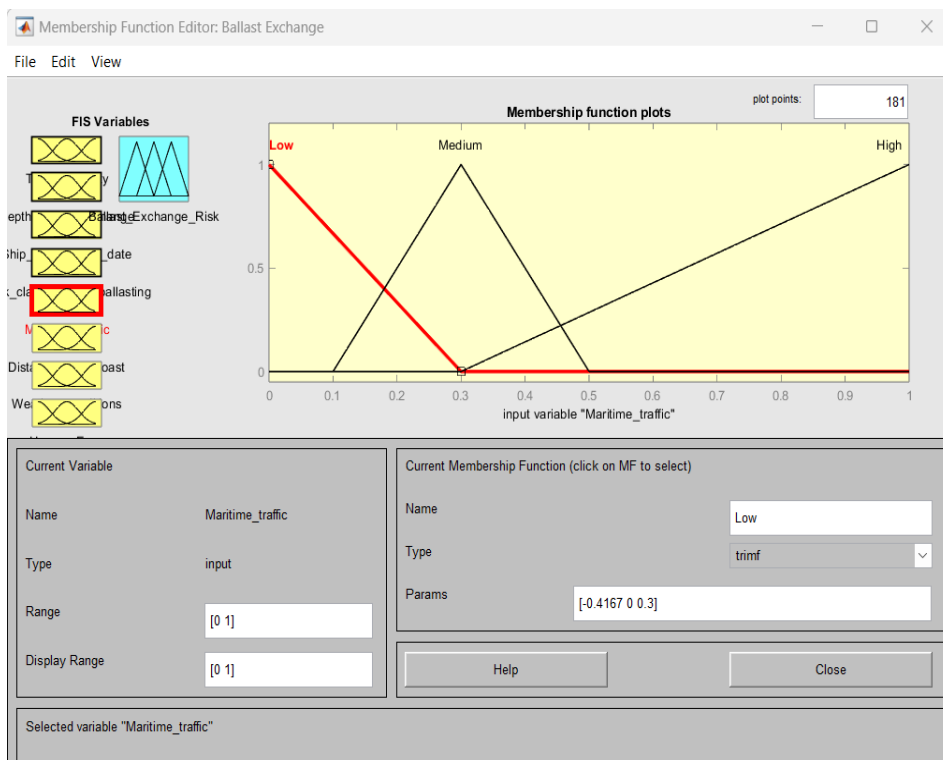


Εικόνα 35: Ανταλλαγή Έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's clarity before ballasting

Unclean
Medium Clean
Clean

5. Maritime traffic (Συμφόρηση στην περιοχή ανταλλαγής έρματος)

Κατά την έξοδο από το λιμάνι είναι πιθανό να υπάρχει αυξημένη συμφόρηση από την είσοδο και έξοδο άλλων πλοίων. Καθώς η ανταλλαγή έρματος μπορεί να διαρκέσει μερικές ώρες, δεν συνιστάται να πραγματοποιηθεί όταν υπάρχει αυξημένος αριθμός πλοίων στις εγκεκριμένες περιοχές ανταλλαγής. Τις πρώτες ώρες που το έρμα παραμένει στις δεξαμενές, οι οργανισμοί πολλαπλασιάζονται, συνεπώς αν η συμφόρηση αποτελέσει λόγο καθυστέρησης της ανταλλαγής έρματος υπάρχει πάντα ο κίνδυνος αύξησης των ζώντων οργανισμών στις δεξαμενές. Εκτός αυτού, αν η συμφόρηση είναι αρκετή αλλά όχι τόσο ώστε να αποτελέσει λόγο αποφυγής της ανταλλαγής έρματος, το νερό σε εκείνη την τοποθεσία είναι πιθανό να περιέχει περισσότερους οργανισμούς από ό,τι θα ήταν αναμενόμενο λόγω και των υπολοίπων πλοίων που πραγματοποιούν ανταλλαγή έρματος. Οι ασαφείς εισοδοι για την συμφόρηση διαμορφώνονται ως:

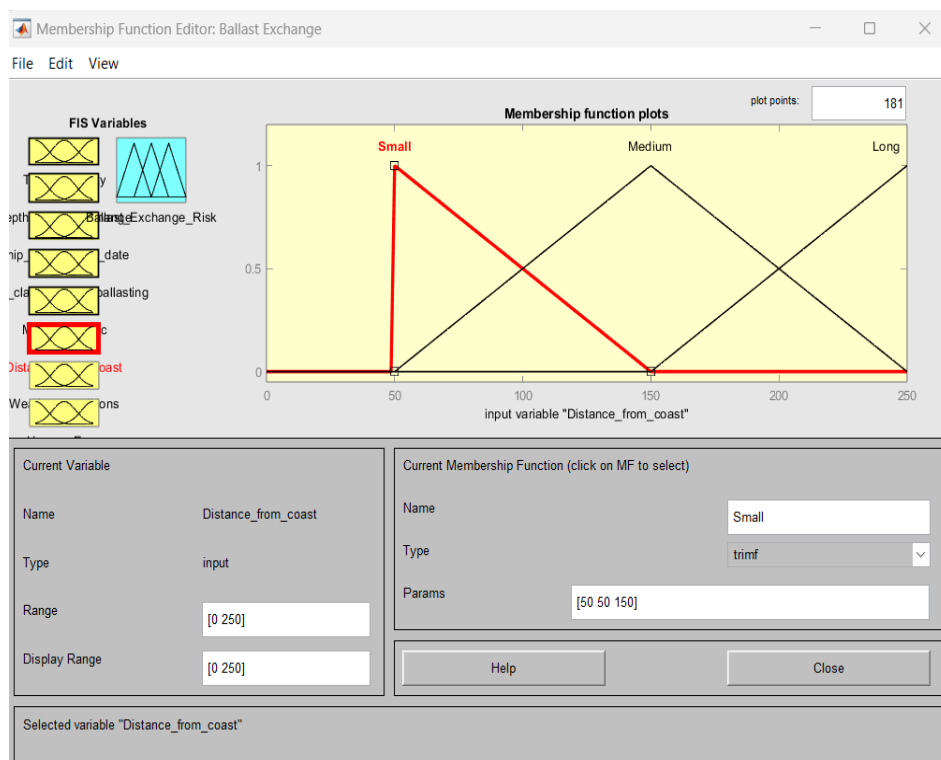


Εικόνα 36: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Maritime traffic

Low
Medium
High

6. Distance from coast (Απόσταση από την ακτή)

Σύμφωνα με τον κανονισμό D-1 η επιτρεπόμενη απόσταση από την ακτή είναι τα 200 nm. Εφόσον όμως οι συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές, η μικρότερη δυνατή επιτρεπόμενη απόσταση από την ακτή για ανταλλαγή έρματος, είναι τα 50 nm. Κάτω των 50 nm κρίνεται παράνομη. (Κύρωση της Διεθνούς Σύμβασης για τον Έλεγχο και Διαχείριση του Έρματος και των Ιζημάτων που προέρχονται από τα Πλοία, 2004 και άλλες διατάξεις, 2017; Ibrahim & El-naggar, 2012) Αν η απόσταση είναι μικρή, ο κίνδυνος αυξάνεται δραματικά. Αν είναι μέτρια, συνηγορούνται και οι υπόλοιπες εισοδοί, ωστόσο τείνει τον κίνδυνο στην υψηλότερη βαθμίδα. Αν είναι μεγάλη, τότε ο κίνδυνος εξαρτάται από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Συνεπώς η αυξημένη συμμόρφωση αυξάνει τον κίνδυνο, η μέτρια συμμόρφωση συνδυάζεται με τις υπόλοιπες μεταβλητές και η χαμηλή δεν επηρεάζει αρνητικά τον κίνδυνο. Ακολουθούν οι ασαφείς εισοδοί της απόστασης από την ακτή:



Εικόνα 37: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής *Distance from coast*

Small: Μικρότερη των 100nm (έως 50nm βάσει νομοθεσίας)

Medium: Μεταξύ 100nm και 200nm

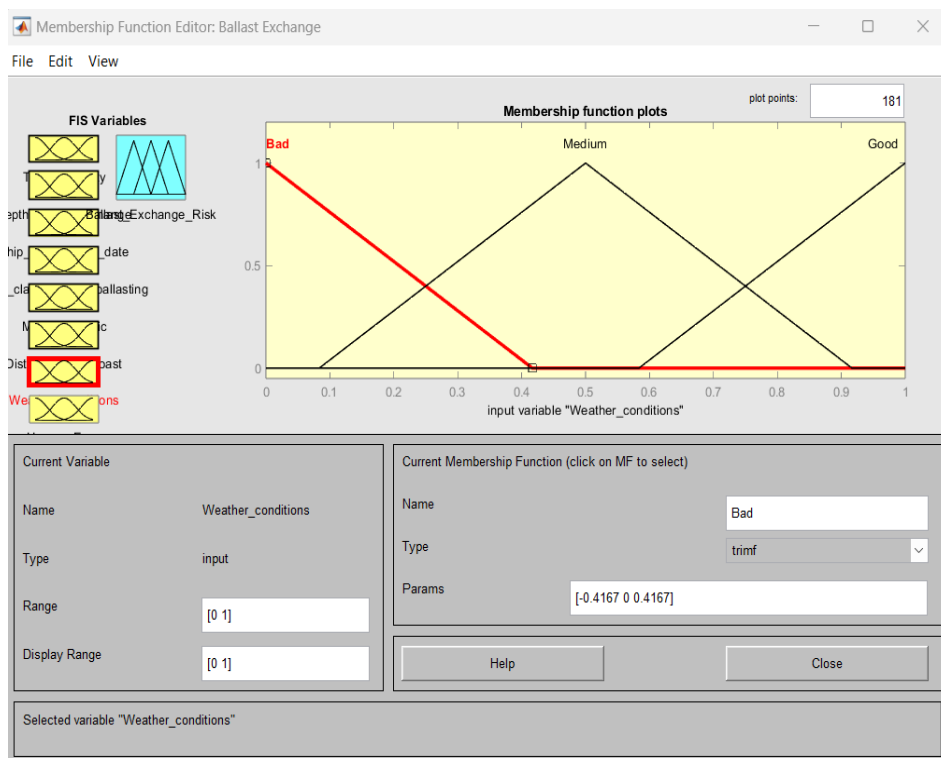
Long: Μεγαλύτερη των 200nm

7. Weather conditions (Καιρικές συνθήκες)

Οι καιρικές συνθήκες παίζουν καθοριστικό ρόλο για την πραγματοποίηση της ανταλλαγής έρματος. Σε περιπτώσεις έντονης κακοκαιρίας αποφεύγεται τελείως ή διακόπτεται. Επιπλέον, η αναταραχή των θαλάσσιων υδάτων οδηγεί στην αυξημένη παρουσία οργανισμών στην επιφάνεια.

Η βασική επιρροή των καιρικών συνθηκών στο βαθμό κινδύνου, αφορά τις περιπτώσεις που είναι δυσμενείς, όταν και αυξάνεται ο κίνδυνος. Στην μεσαία και χαμηλή κατηγορία ο κίνδυνος προσαρμόζεται συνδυαστικά με τις άλλες μεταβλητές.

Τα ασαφή σύνολα των καιρικών συνθηκών είναι:



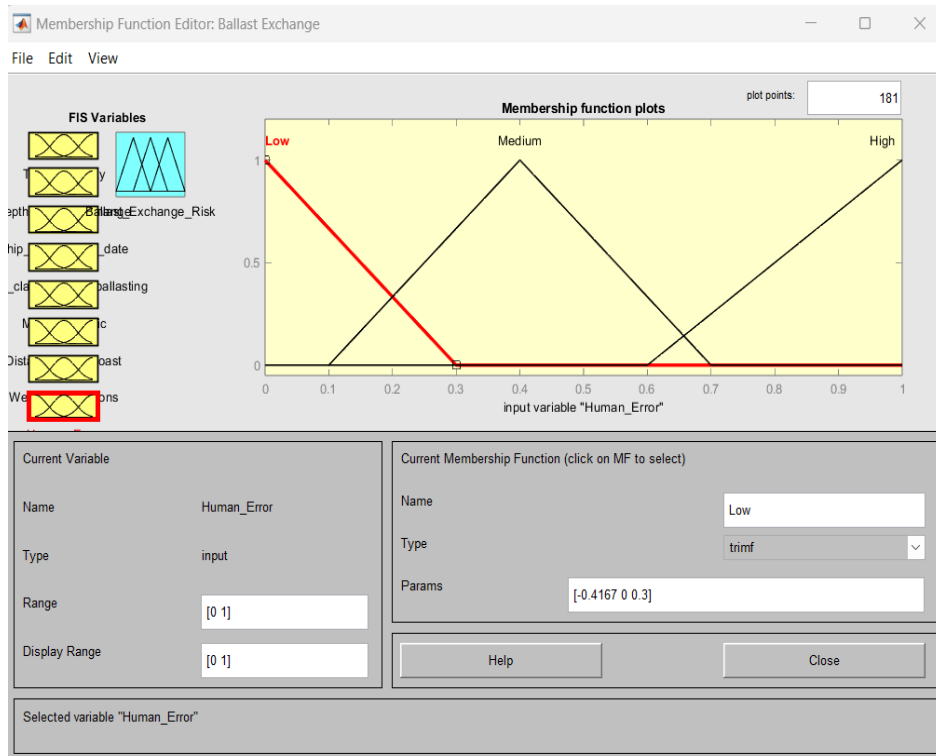
Εικόνα 38: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Weather conditions

Bad
Medium
Good

8. Human Error Probability (Παράγοντες ανθρώπινου λάθους)

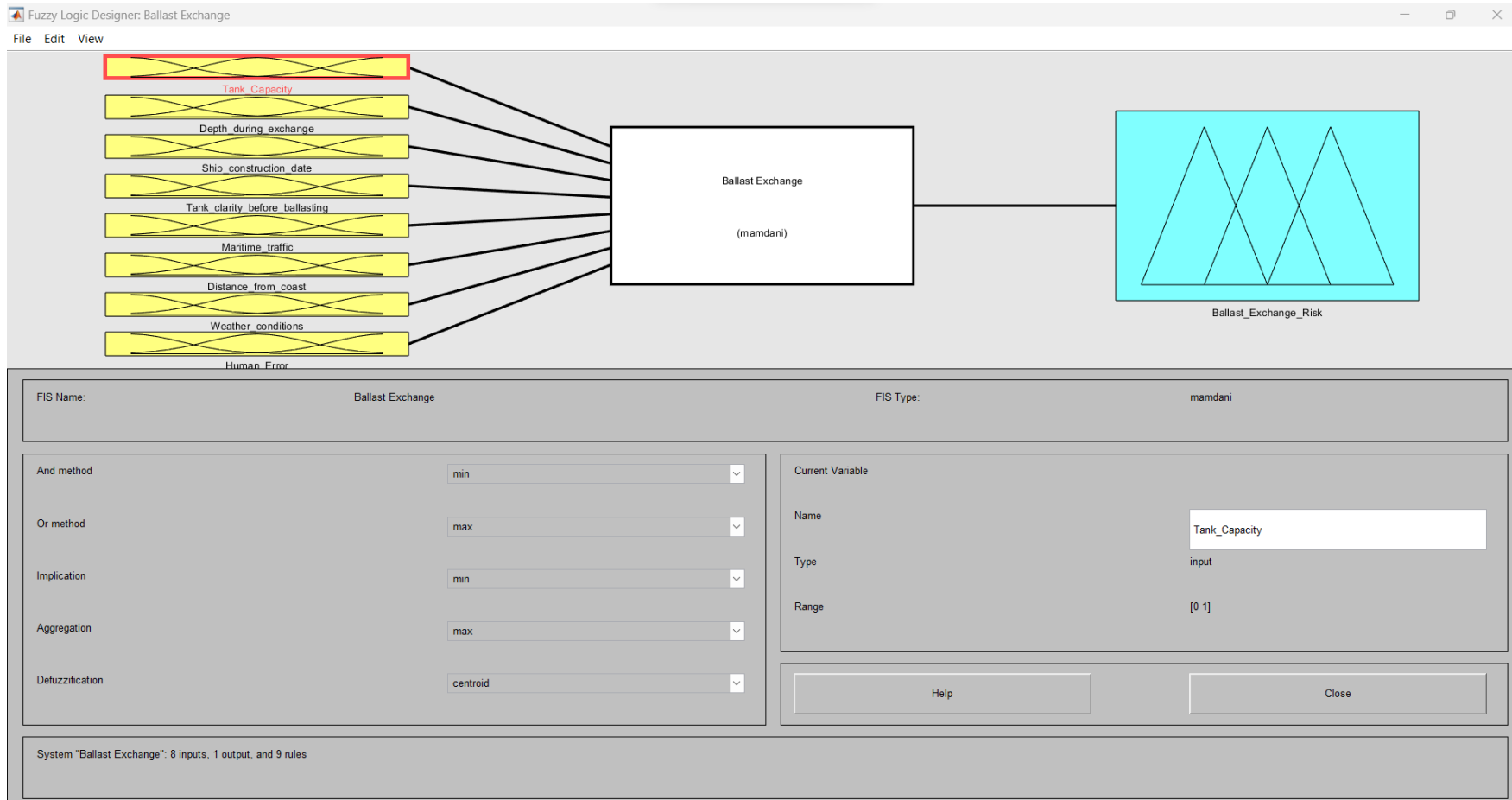
Ο παράγοντας ανθρώπινου λάθους ορίζεται από το προσωπικό. Καθορίζεται από την κόπωση, καθώς και από την εμπειρία του προσωπικού στο εκάστοτε πόστο. Στις περιπτώσεις που είναι χαμηλοί οι παράγοντες που συντελούν σε λάθη, ο κίνδυνος επηρεάζεται από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Αν ωστόσο οι παράγοντες είναι υψηλοί, τότε και ο κίνδυνος καθίσταται αυτομάτως υψηλός. Στην περίπτωση που είναι μέτριοι, κλίνει την κλίμακα προς την αύξηση του κινδύνου.

Τα ασαφή σύνολα παραγόντων ανθρώπινου λάθους ορίζονται ως:



Εικόνα 39: Ανταλλαγή έρματος - Συνάρτηση συμμετοχής Human error probability

Low
Medium
High



Εικόνα 40: Ασαφές σύστημα ανταλλαγής έρματος

3.2.2.2 Κανόνες ασαφούς συστήματος

A/A	Connection	Tank's Capacity	Depth during exchange	Ship construction date	Tank's clarity before ballasting	Maritime traffic	Distance from coast	Weather condition	Human Error probability	Ballasting Risk
1.	And	Small	Long	New	Clean	Low	Long	Good	Low	Low
2.	Or	-	Small	-	Unclean	High	Small	Bad	High	High
3.	And	Small	Long	Medium Old	Medium Clean	Medium	Long	Medium	Medium	Medium
4.	And	Large	Medium	New	Clean	Medium	Medium	Medium	Low	Medium
5.	And	Small	Medium	New	Unclean	High	Small	Bad	Low	High
6.	And	Medium	Long	Old	Clean	Low	Long	Medium	Low	Low
7.	And	Large	Long	Medium Old	Clean	Low	Long	Medium	Low	Low
8.	And	Medium	Long	Old	Clean	Low	Medium	Good	Medium	Medium
9.	And	Small	Small	New	Clean	Medium	Small	Good	Medium	High

Επεξήγηση κανόνων:

1. Αφορά τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό εισόδων. Οι παράμετροι λαμβάνουν τις ιδανικές τιμές.
2. Αυτός ο κανόνας συνδέεται με or αντί για and. Οι παράμετροι που έλαβαν μέρος είναι οι πιο καθοριστικές για την χειρότερη έκβαση του ρίσκου.

Για τις παραμέτρους αυτές ισχύουν τα παρακάτω:

Depth during exchange:

Η τιμή που λαμβάνει είναι Small. Οι σχετικές νομοθεσίες επιβάλλουν ως ελάχιστο βάθος ανταλλαγής τα 200 m. Σε μερικές περιπτώσεις προτείνονται τα 2.000 m ως ιδανικό βάθος, καθώς και αυτό οριζόταν στο παρελθόν ως το νόμιμο βάθος ανταλλαγής έρματος. (International Guidelines for Preventing the Introduction of Unwanted Aquatic Organisms and Pathogens from Ships Ballast Water and Sediment Discharges, 1991)

Tank's clarity before ballasting:

Η τιμή της μεταβλητής τίθεται στο Unclean. Η μη καθαρισμένη δεξαμενή ενδεχομένως να περιέχει επιπλέον μικροοργανισμούς μέσω των οποίων θα ευδοκιμήσουν οι νέοι οργανισμοί που θα εισαχθούν ή ίσως περιέχει κατάλοιπα από διαρροή πετρελαίου που δεν έχει εντοπιστεί. Συνεπώς αυξάνει καθοριστικά τον κίνδυνο. (Valkoníc & Obhodaš, 2020)

Maritime traffic:

Η τιμή της μεταβλητής ορίζεται ως High, καθώς η υψηλή συμφόρηση δεν επιτρέπει την ανταλλαγή έρματος για λόγους ασφαλείας. Η οδηγία αυτή συχνά δίνεται από τους υψηλότερα ιστάμενους στο πλοίο, προκειμένου να διασφαλιστεί η ακεραιότητα του πλοίου.

Distance from coast:

Η τιμή αυτής της εισόδου ορίζεται ως Small. Καθώς υπάρχουν προδιαγραφές για τη νόμιμη απόσταση ανταλλαγής έρματος από την ακτή, η τιμή αναφέρεται στις τιμές κάτω του συνιστώμενου (200 nm) και άνω του νόμιμου σε ειδικές περιπτώσεις (50 nm), το οποίο και κρίνεται ως άκρως επικίνδυνο λόγω της περιεκτικότητας του νερού σε μικροοργανισμούς και ιζημάτων. (Κύρωση της Διεθνούς Σύμβασης για τον Έλεγχο και Διαχείριση του Έρματος και των Ιζημάτων που προέρχονται από τα Πλοία, 2004 και άλλες διατάξεις, 2017)

Weather Conditions:

Η μεταβλητή των καιρικών συνθηκών παίρνει την τιμή Bad. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυσμενείς οι συνθήκες. Σε περιπτώσεις κακοκαιρίας, καθίσταται επικίνδυνη και μερικές φορές ανέφικτη η δυνατότητα ανταλλαγής έρματος.

Human error probability:

Η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους, ορίζεται ως High, δηλαδή υψηλή. Υπάρχουν πολυάριθμες συνέπειες από ενδεχόμενα ανθρώπινα λάθη κατά την διάρκεια διαδικασιών ελέγχου και πρόληψης στο πλοίο. Ως μεταβλητή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο, καθώς μπορεί οι υπόλοιπες συνθήκες να είναι μέτριες της καλής, αλλά να αντιστραφούν από μία λάθος εκτίμηση ή κάποια παράλειψη.

3. Κανόνας που αποφέρει μέτριο κίνδυνο. Τρεις βασικές μεταβλητές λαμβάνουν την βέλτιστη τιμή και οι υπόλοιπες λαμβάνουν μέτριες τιμές.
4. Κανόνας που αποφέρει μέτριο κίνδυνο. Οι τιμές των μεταβλητών κυμαίνονται σε καλά και μέτρια επίπεδα.
5. Κανόνας υψηλού κινδύνου. Οι τιμές κυμαίνονται και στα 3 επίπεδα.
6. Κανόνας που αφορά χαμηλή πιθανότητα κινδύνου. Παρόλο που ο καιρός είναι μέτριος, οι υπόλοιπες τιμές αντισταθμίζουν τον κίνδυνο.
7. Κανόνας χαμηλής πιθανότητας κινδύνου. Ομοίως αφορά χαμηλή της μέτρια επικινδυνότητα, η οποία αντισταθμίζεται από τις τιμές των περισσότερων βασικών μεταβλητών.
8. Κανόνας που αφορά μέτρια επικινδυνότητα. Οι μεταβλητές κυμαίνονται σε διάφορα επίπεδα. Οι βασικότερες μεταβλητές που ανεβάζουν τον κίνδυνο είναι η ημερομηνία κατασκευής, η απόσταση από την ακτή και η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους.
9. Κανόνας υψηλής επικινδυνότητας. Οι τιμές των μεταβλητών κυμαίνονται και της 3 βαθμίδες, με σημαντικότερες τις τιμές της απόστασης από την ακτή, της θαλάσσιας συμφόρησης, του βάθους ανταλλαγής και της πιθανότητας ανθρώπινου λάθους.

3.2.2.3 Αποασαφοποίηση συστήματος

Ο πίνακας παρακάτω αποτελεί την οπτικοποίηση των ασαφών συνόλων εισόδων και εξόδου (στήλης) σύμφωνα με τους κανόνες (γραμμές). Το οπτικό αποτέλεσμα μεταβάλλεται αναλόγως των εισόδων που ορίζονται (Input). Η τελευταία στήλη αφορά την ασαφή έξοδο (Ballast Exchange Risk) και στο κάτω μέρος της προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα με μορφή γραφικής απεικόνισης. Το αυστηρό αποτέλεσμα (crisp value) για τις τιμές που δόθηκαν στο παράδειγμα αναγράφεται πάνω από την τελευταία στήλη και είναι 0,809.



Εικόνα 41: Rule viewer - Ballast Exchange

3.2.3 Ασαφές Σύστημα Αφερματισμού

Ο αφερματισμός είναι η αποδέσμευση του νερού που περιέχεται στις δεξαμενές έρματος στο λιμάνι εκφόρτωσης.

3.2.3.1 Ασαφοποίηση εισόδων συστήματος

Κατά την διαδικασία του αφερματισμού, υπάρχουν συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν τα ποσοστά επιβίωσης των οργανισμών ή συνθήκες που μπορούν να προκαλέσουν οικολογικό αντίκτυπο αν δεν τεθούν υπό έλεγχο εγκαίρως.

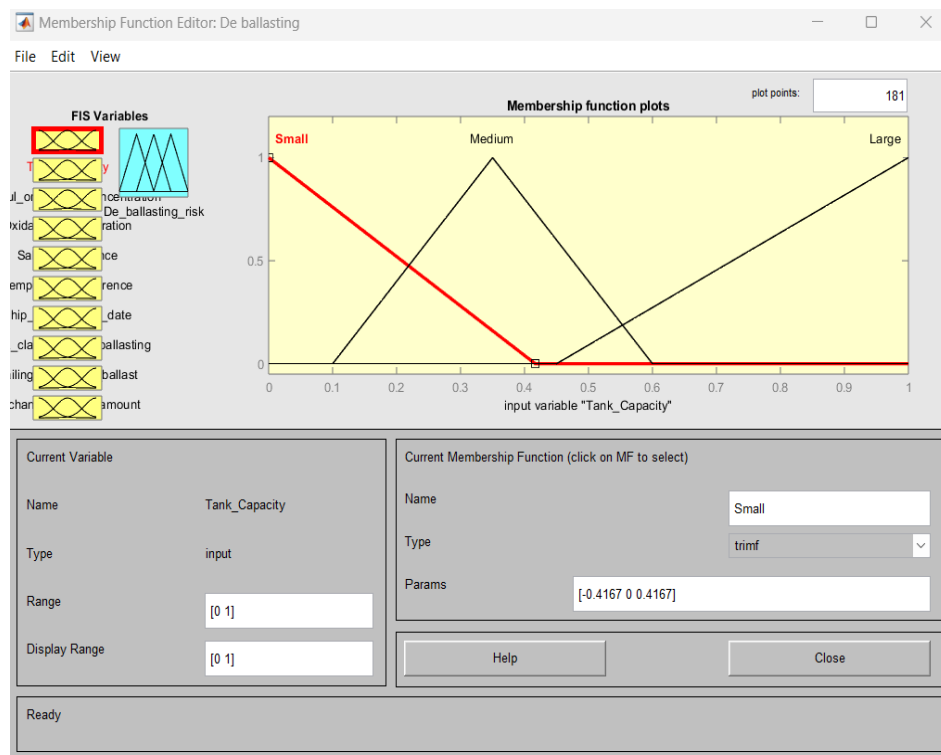
Οι ασαφείς εισοδοί περιλαμβάνουν τις συνθήκες αυτές που καθορίζουν με άμεσο ή έμμεσο τρόπο το αποτέλεσμα του αφερματισμού και είναι οι παρακάτω:

1. Tank's capacity (Χωρητικότητα Δεξαμενής νερού έρματος)

Η χωρητικότητα της δεξαμενής που υποδέχεται το νερό έρματος επηρεάζει την ποσότητα των μικροοργανισμών και της πανίδας που θα μεταφερθούν από ένα λιμάνι προς ένα άλλο.

Η μετοχή του στο σύστημα αφορά τις περιπτώσεις που ο κίνδυνος είναι μεσαίας τάξης, οπότε αν η δεξαμενή έχει χωρητικότητα κάτω των 1.500m^3 μειώνεται ο κίνδυνος, σε αντίθεση με την μεγάλη χωρητικότητα (άνω των 5.000m^3) όπου και θα αυξηθεί.

Τα ασαφή σύνολα της χωρητικότητας διαμορφώνονται ως εξής:



Εικόνα 42: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's capacity

Small: Μικρότερη από 1.500 m^3

Medium: Μεταξύ 1.500 m^3 και 5.000 m^3

Large: Μεγαλύτερη των 5.000 m^3

2. Harmful organisms' concentration (Περιεκτικότητα δείγματος σε επιβλαβείς οργανισμούς)

Βάσει του κανονισμού επεξεργασίας έρματος D-2, είναι υποχρεωτικό να ληφθεί δείγμα από το νερό έρματος, αφότου πραγματοποιηθεί η χημική επεξεργασία, ώστε να διαπιστωθεί αν μπορεί να απορριφθεί στην θάλασσα με ασφάλεια. Το πρότυπο αυτό επιβάλλει τα παρακάτω όρια:

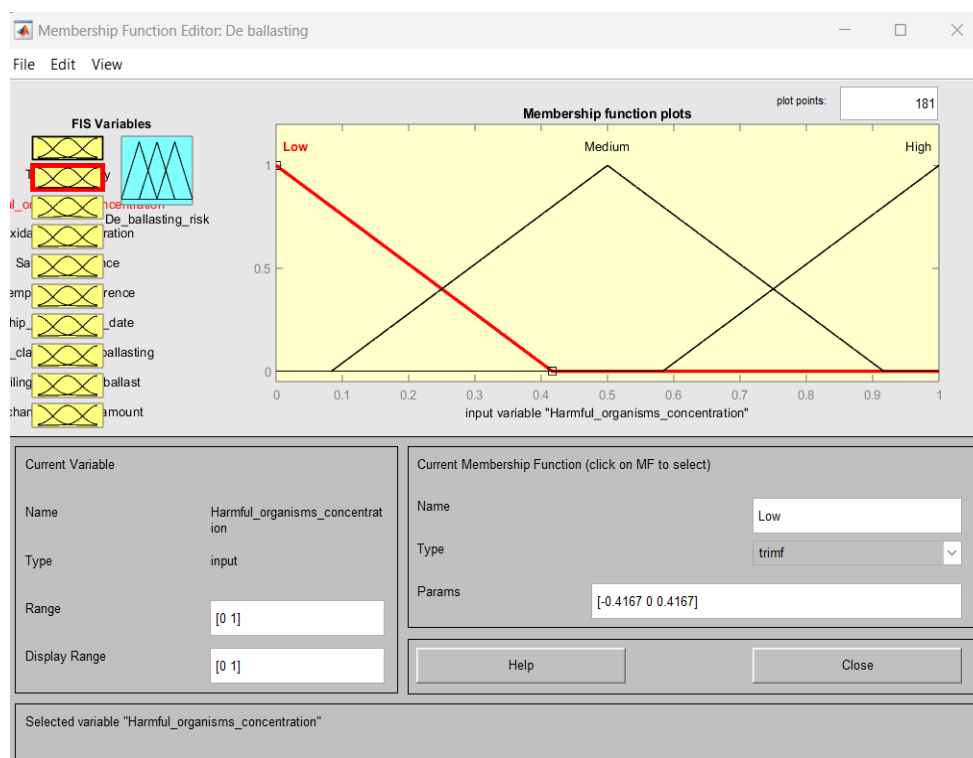
Κατηγορία Οργανισμού	Όρια
Τοξικογόνο <i>Vibrio cholerae</i> (O1 & O139)	<1 cfu*/100ml ή <1 cfu*/gr (υγρό βάρος) δείγματος ζωοπλαγκτόν
<i>Escherichia coli</i>	<250 cfu*/100ml
Intestinal enterococci	<100 cfu*/100ml

Πίνακας 2: Επιτρεπόμενα όρια περιεκτικότητας σε επιβλαβείς οργανισμούς. Πηγή:(Τσιμίνος, 2022)

*cfu: Colony forming unit – Μονάδα σχηματισμού αποικίας

Ως μεταβλητή, έχει άμεση επιρροή στο βαθμό του ρίσκου, καθώς τα δείγματα λαμβάνονται μετά την χημική επεξεργασία και πριν την απόρριψη, και συχνά αν τα όρια υπερβαίνονται δεν υπάρχει ο χρόνος περαιτέρω επεξεργασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο κανονισμός υποδεικνύει την παράδοση του έρματος σε αναγνωρισμένες εγκαταστάσεις υποδοχής στην στεριά. (Τσιμίνος, 2022)

Τα ασαφή σύνολα είναι τα παρακάτω:



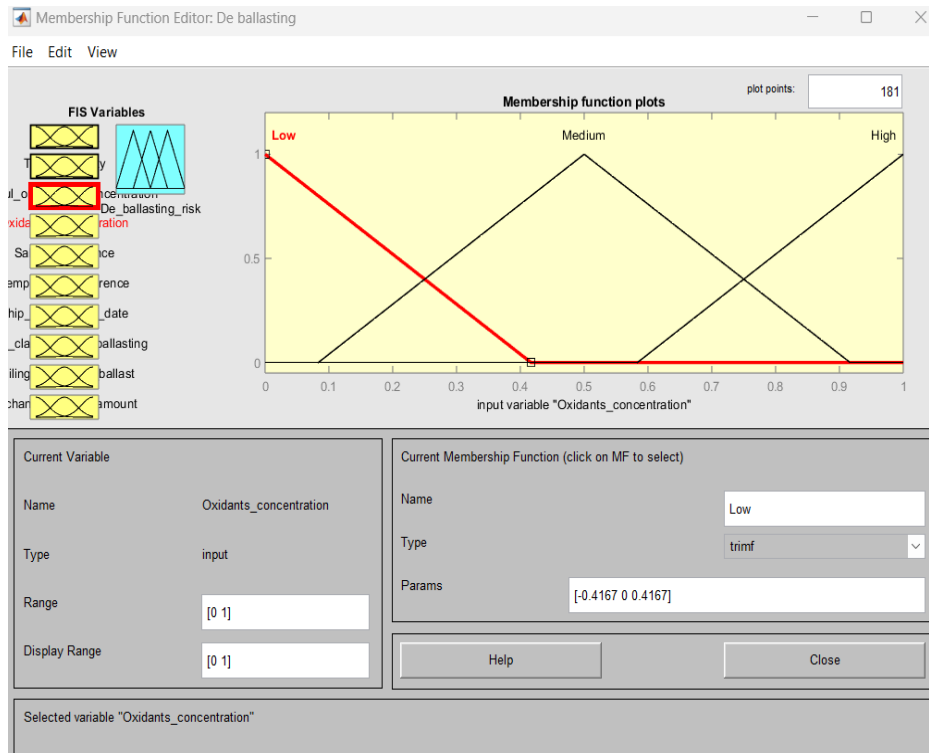
Εικόνα 43: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής *Harmful organisms' concentration*

Low
Medium
High

3. Oxidants' concentration (Περιεκτικότητα δείγματος σε οξειδωτικά)

Προκειμένου οι μικροοργανισμοί που αντλήθηκαν να μην ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα όρια, γίνεται χρήση συστημάτων καθαρισμού όπως είναι οι ακτινοβολίες UV ή ο χημικός καθαρισμός. (1.2.4.2) Στην περίπτωση του χημικού καθαρισμού, δημιουργούνται χημικά κατάλοιπα, συχνότερα παραπροϊόντα χλωρίου, τα οποία αν απορριφθούν στην θάλασσα αποτελούν κίνδυνο για το θαλάσσιο οικοσύστημα. Μέσω ενός αισθητήρα, μετρούνται τα παραπροϊόντα, ώστε αν ξεπερνούν το μέγιστο επιτρεπτό όριο από τον διεθνή οργανισμό ναυτιλίας (ΙΜΟ) τα οποία είναι 0.1 mg/l, να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Αναλόγως και το είδος της χημικής επεξεργασίας μπορεί να προκύψουν και άλλα βλαβερά παραπροϊόντα όπως υπεροξείδιο του υδρογόνου (<math><1.000 \mu\text{g/l}</math>) ή υπεροξικό οξύ (<math><500 \mu\text{g/l}</math>) (Τσιμίνο, 2022; David κ.ά., 2018; Ibrahim & El-naggar, 2012). Καθώς η ποσότητα οποιασδήποτε επιβλαβούς χημικής ουσίας άνω του ορίου αυτόματα αυξάνει το ρίσκο της απόρριψης, ο κίνδυνος ακολουθεί πορεία παρόμοια με την εκάστοτε τιμή της μεταβλητής.

Ακολουθούν τα ασαφή σύνολα για την περιεκτικότητα σε οξειδωτικά:



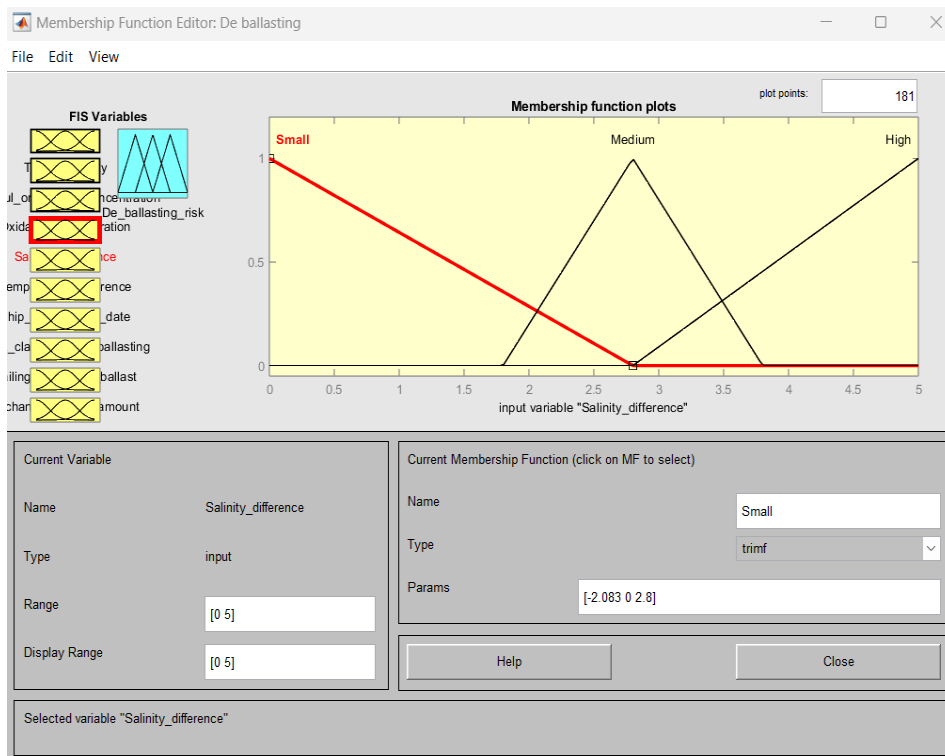
Εικόνα 44: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Oxidants' concentration

Low
Medium
High

4. Salinity difference (Διαφορά αλατότητας μεταξύ νερού δεξαμενής & νερού αποβολής)

Σύμφωνα με έρευνες η διαφορά αλατότητας των υδάτων εναπόθεσης με το νερό έρματος, περιορίζει τις πιθανότητες επιβίωσης των μικροοργανισμών μετά την απόρριψη, καθώς φαίνεται να προκαλείται σοκ στους οργανισμούς. Τα όρια που τέθηκαν στον πίνακα αφορούν τις διαφορετικές αλατότητες μεταξύ π.χ. αλμυρού και υφάλμυρου νερού (David Smith κ.ά., 1999; Ruiz κ.ά., 2007). Ως μεταβλητή δεν επηρεάζει άμεσα τον βαθμό του κινδύνου, αλλά συνδυαστικά με τις υπόλοιπες μεταβλητές.

Τα ασαφή σύνολα της διαφοράς αλατότητας διαμορφώνονται ως:



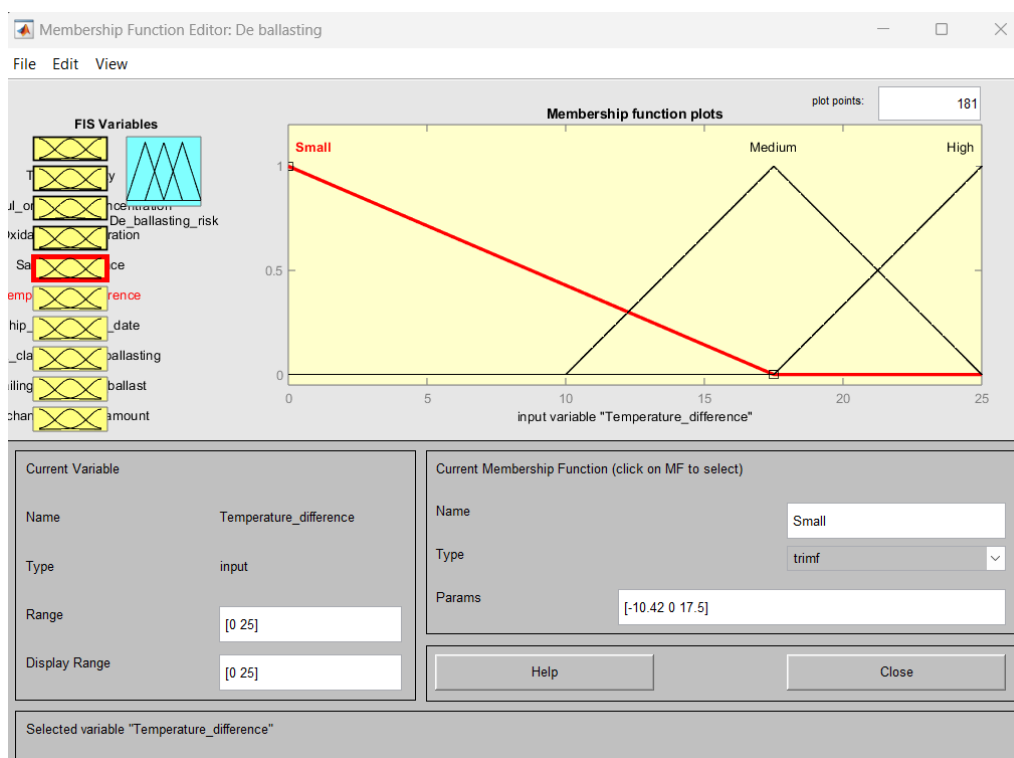
Εικόνα 45: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Salinity Difference

Small: Μικρότερη από 25.000 ppm
Medium: Μεταξύ 25.000 ppm και 32.000 ppm
High: Μεγαλύτερη από 32.000 ppm

5. Temperature difference (Διαφορά θερμοκρασίας υδάτων)

Αντίστοιχα με την διαφορά αλατότητας μελετήθηκε και ο αντίκτυπος της διαφοράς θερμοκρασίας. Ωστόσο, δεν είχε τόσο καθοριστικό ρόλο όσο η αλατότητα, αν και είχε αξιοσημείωτη επίδραση, καθώς οι οργανισμοί που μεταβαίνουν σε ύδατα με μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας υπόκεινται «σοκ» και οι πιθανότητες επιβίωσής τους μειώνονται (David Smith κ.ά., 1999). Αντίστοιχα, ως είσοδος δεν επηρεάζει αναλογικά τον βαθμό του κινδύνου, αλλά με τον συνυπολογισμό και των υπόλοιπων μεταβλητών.

Τα ασαφή σύνολα της διαφοράς θερμοκρασίας ορίζονται ως εξής:



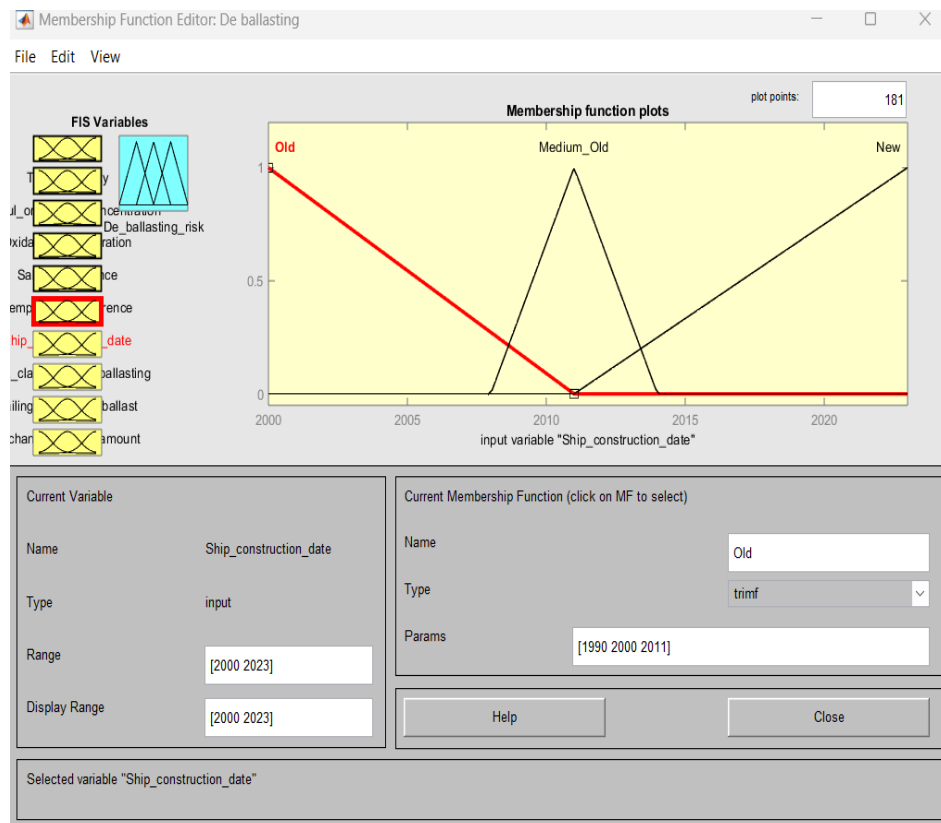
Εικόνα 46: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής *Temperature difference*

Small: Μικρότερη από 15°C
Medium: Μεταξύ 15°C και 20°C
High: Μεγαλύτερη από 20°C

6. Ship's construction date (Χρονολογία κατασκευής πλοίου)

Στις νομοθεσίες που αφορούν την θέση σε ισχύ του συστήματος διαχείρισης θαλάσσιου έρματος, γίνεται διαχωρισμός στα περιθώρια συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, ανάμεσα σε πλοία κατασκευασμένα πριν το 2009, μεταξύ 2009 και 2012 και μετά το 2012. Τα περιθώρια αυτά σχετίζονται με την ημερομηνία κατασκευής και το κατά πόσο προηγείτο σε σχέση με την θέση σε ισχύ των κανονισμών. Οι συγκεκριμένες χρονολογίες χρησιμοποιήθηκαν ώστε να συνοπλογοιστούν και οι πιθανές βλάβες σωληνώσεων ή και οι πιθανές διαρροές. Η συγκεκριμένη μεταβλητή επηρεάζει το ρίσκο συνδυαστικά, ανεβάζοντας το ρίσκο όταν το πλοίο είναι παρωχημένης χρονολογίας, χωρίς όμως να σημαίνει ότι στην περίπτωση που υπόλοιπες μεταβλητές είναι ιδανικές θα το αυξήσει. (Τσιμίνος, 2022)

Τα ασαφή σύνολα της χρονολογίας κατασκευής καθορίζονται ως εξής:



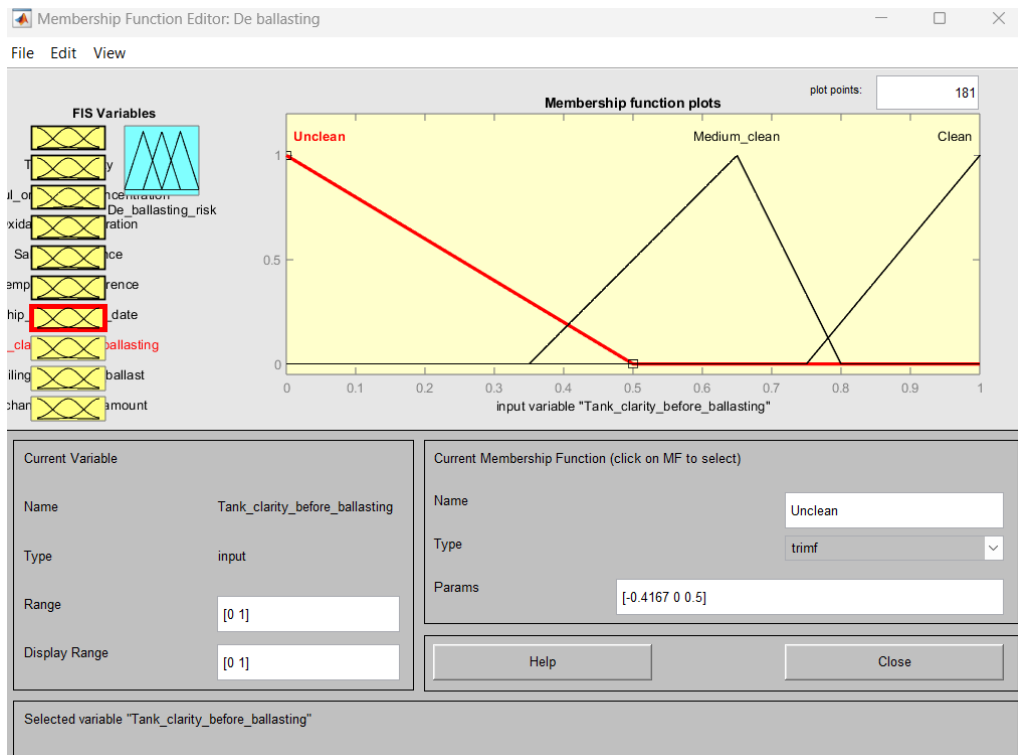
Εικόνα 47: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Ship's construction date

Old: Πριν το 2009
Medium Old: Μεταξύ 2009 και 2012
New: Μετά το 2012

7. Καθαρότητα δεξαμενής προ ερματισμού

Οι δεξαμενές υποδοχής έρματος, συγκεντρώνουν στον πυθμένα μεγάλες ποσότητες από ίζημα και οργανισμούς, τα οποία λειτουργούν ως «εκκολαπτήρια» για σωματίδια είτε ζωντανά είτε σε λανθάνουσα φάση. (L. A. Drake κ.ά., 2007)
Ομοίως με την θολότητα του νερού, αυτή η είσοδος του συστήματος βασίζεται κατά κύριο λόγο στην αξιολόγηση μέσω της παρατήρησης. Οι δεξαμενές εσωτερικά καθαρίζονται από το προσωπικό του πλοίου σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι τιμές της διαμορφώνονται από παράγοντες όπως ο φόρτος εργασίας που οδηγεί στην παράταση του διαστήματος από τον καθαρισμό ή στις πρακτικές διαχείρισης έρματος που ακολουθεί το πλοίο. Μία επιμελώς καθαρισμένη δεξαμενή μειώνει τον κίνδυνο πολλαπλασιασμού βακτηρίων αλλά και αλληλεπίδρασης επιβλαβών οργανισμών. Αντίθετα, μία δεξαμενή με μεγάλες ποσότητες ιζήματος θέτει σε κίνδυνο την αποτελεσματική τήρηση του κανονισμού D2. (Valkonić & Obhodž, 2020)

Τα ασαφή σύνολα για την καθαρότητα δεξαμενής ορίζονται ως:

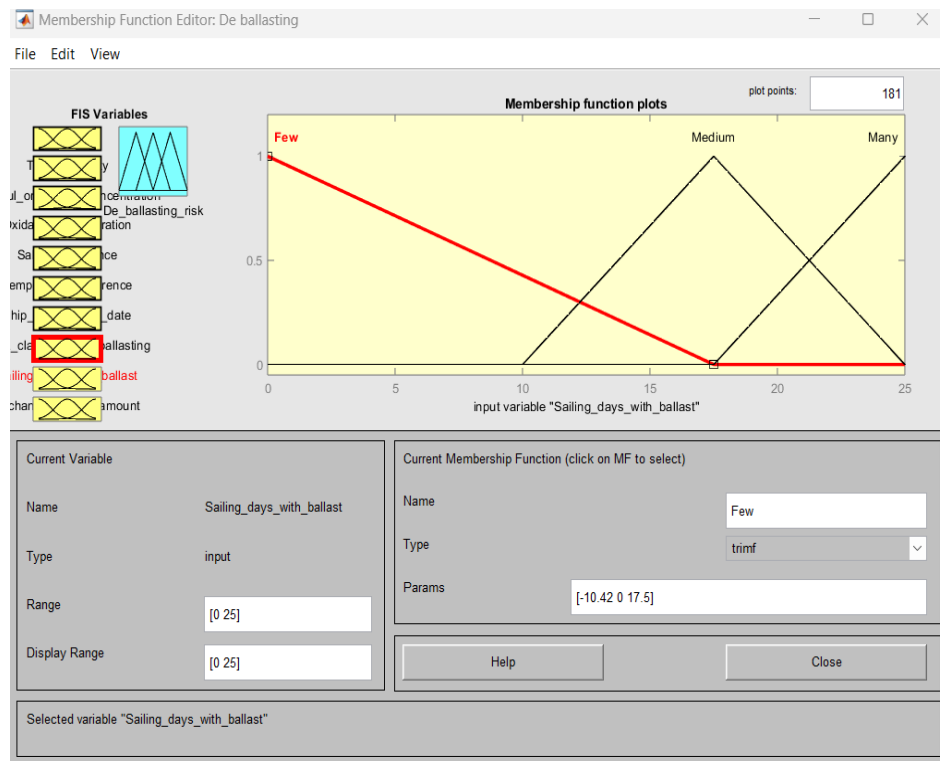


Εικόνα 48: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Tank's clarity

Unclean
Medium Clean
Clean

8. Sailing days with ballast (Ημέρες ταξιδιού με έρμα)

Σύμφωνα με μελέτες, οι αυξημένοι χρόνοι αναμονής του έρματος μπορούν να βοηθήσουν στην μείωση των οργανισμών που περιέχει (David & Gollasch, 2015; L. Drake κ.ά., 2002). Εφόσον από μόνο του δεν αποτελεί μέσο προστασίας, δεν καθορίζει δραστικά τον βαθμό του κινδύνου, ωστόσο εάν το ταξίδι διαρκέσει αρκετές ημέρες σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους μειώνεται ο κίνδυνος. Τα ασαφή σύνολα των ημερών ταξιδιού με έρμα διαμορφώνονται ως:



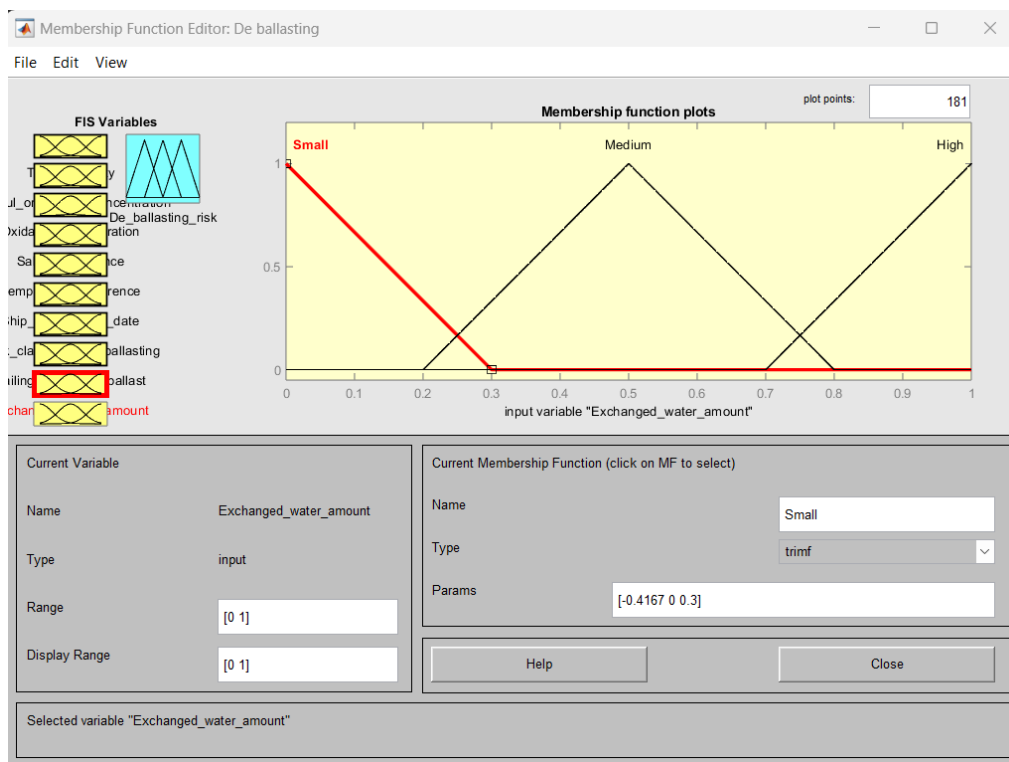
Εικόνα 49: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Sailing days with ballast

Few: Κάτω των 15 ημερών
Medium: Μεταξύ 15 και 20 ημερών
Many: Άνω των 20 ημερών

9. Exchanged water's amount (Όγκος νερού που ανταλλάχθηκε)

Ο διεθνής κανονισμός D-2 επιβάλλει ως ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ανταλλαγής έρματος το 95% της δεξαμενής. Ασφαλέστερη κρίνεται η ανταλλαγή του τριπλάσιου όγκου της δεξαμενής, ωστόσο δεν είναι εφικτό σε όλα τα πλοία λόγω χρόνου, κατασκευής και συνθηκών. Επίσης λόγω συνθηκών πολλές φορές μπορεί να καθίσταται αδύνατη η ανταλλαγή έρματος. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται, καθώς η περιεκτικότητα μικροοργανισμών μειώνεται δραστικά στην ανοιχτή θάλασσα από ό,τι στο λιμάνι, συνεπώς είναι σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της επικινδυνότητας (Simard κ.ά., 2011). Η περίπτωση μη ανταλλαγής αυτόματα ορίζει τον κίνδυνο ως υψηλό, ενώ στις περιπτώσεις που πραγματοποιήθηκε η ανταλλαγή σε μεγάλο βαθμό ο κίνδυνος καθορίζεται και από άλλους παράγοντες.

Τα ασαφή σύνολα για τον όγκο που ανταλλάχθηκε ορίζονται ως:



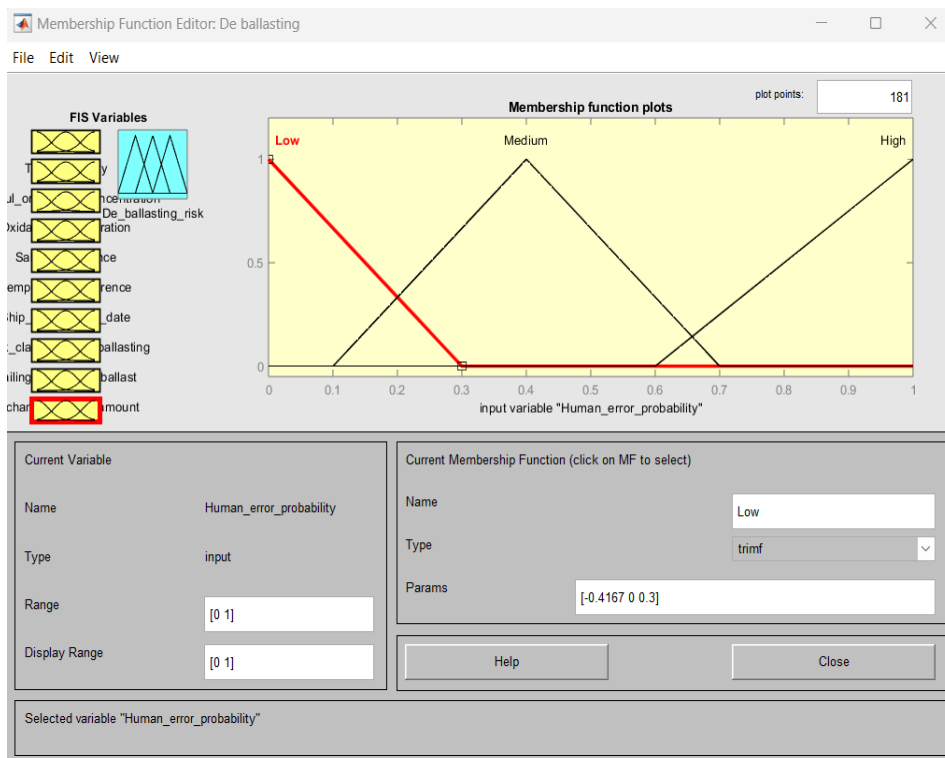
Εικόνα 50: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Exchanged water's amount

Small
Medium
High

10. Human error probability (Παράγοντες ανθρώπινου λάθους)

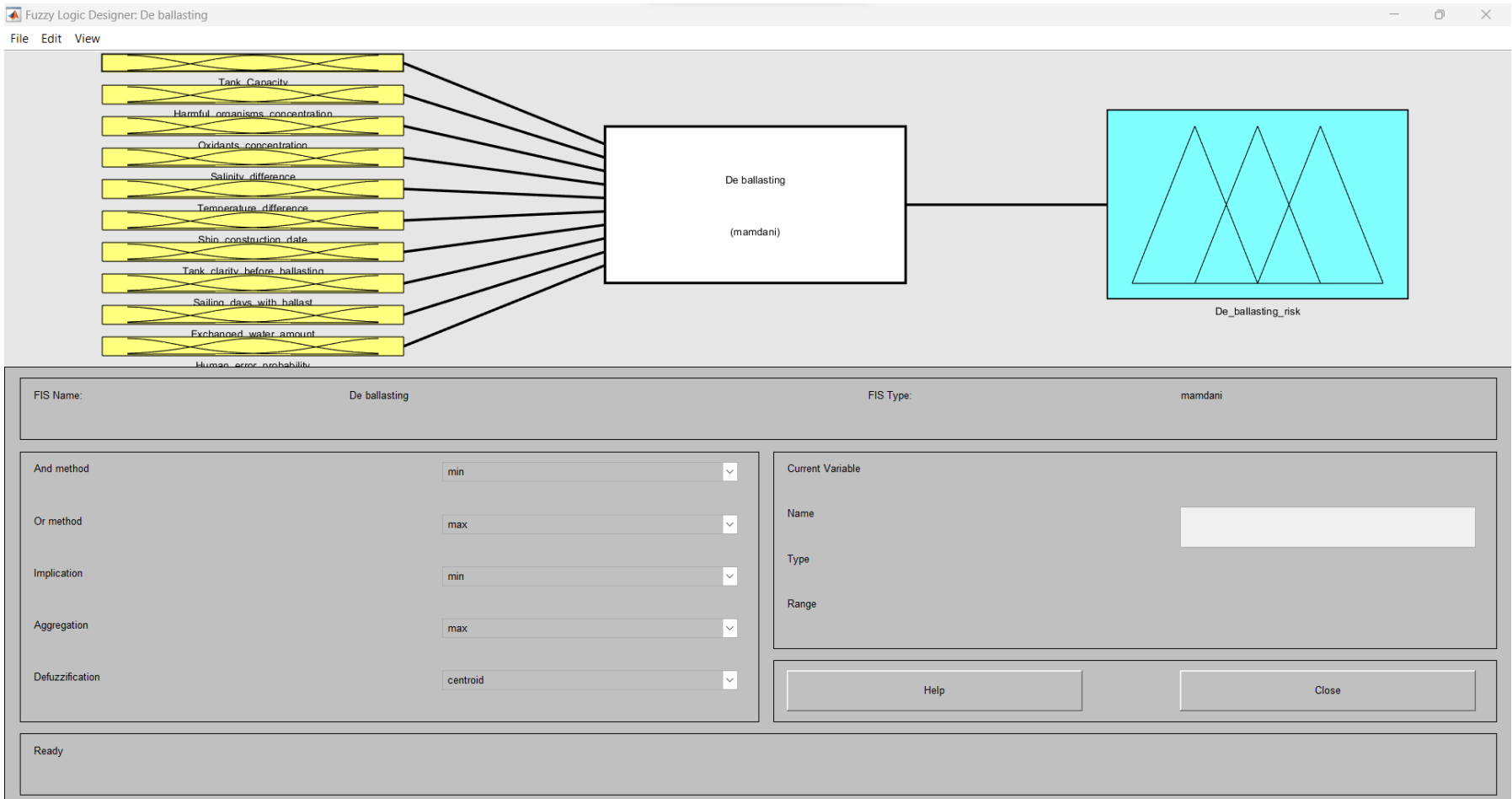
Ο παράγοντας ανθρώπινου λάθους ορίζεται από το προσωπικό. Καθορίζεται από την κόπωση, καθώς και από την εμπειρία του προσωπικού στο εκάστοτε πόστο. Για παράδειγμα, εργασίες όπως το κλείσιμο βαλβίδων χωματερής ή η πραγματοποίηση sounding και ullage tests είναι πιθανό να παραλειφθούν σε καταστάσεις αυξημένης κόπωσης ή λόγω ελλιπούς εκπαίδευσης. Στις περιπτώσεις που είναι χαμηλοί αυτοί οι παράγοντες, ο κίνδυνος επηρεάζεται από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Αν ωστόσο οι παράγοντες είναι υψηλοί, τότε και ο κίνδυνος καθίσταται αυτομάτως υψηλός. Στην περίπτωση που είναι μέτριοι, κλίνει την κλίμακα προς την αύξηση του κινδύνου.

Τα ασαφή σύνολα παραγόντων ανθρώπινου λάθους ορίζονται ως:



Εικόνα 51: Αφερματισμός - Συνάρτηση συμμετοχής Human error probability

Low
Medium
High



Εικόνα 52: Ασαφές σύστημα αφερματισμού

3.2.3.2 Κανόνες ασφαούς συστήματος

A/A	Connection	Tank's Capacity	Harmful organisms' concentration	Oxidants' concentration	Salinity difference	Temperature difference	Ship construction date	Tank's clarity before ballasting	Sailing days with ballast	Exchanged water's amount	Human error probability	Ballasting Risk
1.	And	Small	Low	Low	High	High	New	Clean	Many	High	Low	Low
2.	Or	-	High	High	-	-	-	Unclean	-	Small	High	High
3.	And	Small	Medium	Medium	High	High	New	Medium clean	Many	Medium	Medium	Medium
4.	And	Large	Medium	Low	High	Medium	Old	Clean	Medium	Medium	Low	Medium
5.	And	Medium	High	High	Small	Medium	New	Medium clean	Medium	Small	Medium	high
6.	And	Medium	Low	Low	High	High	Medium old	Medium clean	Many	High	Low	Low
7.	And	Large	Low	Low	Medium	High	Medium Old	Clean	Many	High	Low	Low
8.	And	Small	Medium	Low	Medium	Small	New	Clean	Few	High	Medium	Medium
9.	And	Large	High	Medium	Small	Medium	Old	Unclean	Medium	Medium	Low	High

Επεξήγηση κανόνων:

1. Αφορά τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό εισόδων. Οι παράμετροι λαμβάνουν τις ιδανικές τιμές.
2. Αυτός ο κανόνας συνδέεται με or αντί για and. Οι παράμετροι που έλαβαν μέρος είναι οι πιο καθοριστικές για την χειρότερη έκβαση του ρίσκου.

Για τις παραμέτρους αυτές ισχύουν τα παρακάτω:

Harmful organisms' concentration

Η τιμή που λαμβάνει αυτή η είσοδος είναι High. Η υψηλή περιεκτικότητα σε επιβλαβείς οργανισμούς μετά τον χημικό καθαρισμό σηματοδοτεί την απαγόρευση απόρριψης του έρματος στο λιμάνι. (Τσιμίνος, 2022)

Oxidants' concentration

Η μεταβλητή παίρνει την τιμή High. Τα χημικά που χρησιμοποιούνται για να απομακρυνθούν οι επιβλαβείς οργανισμοί, αν απορριφθούν στην θάλασσα, μπορούν να προσβάλλουν το περιβάλλον εκτός και αν πραγματοποιηθεί εξουδετέρωση αυτών. Ομοίως με τους μικροοργανισμούς, τα πλοία υποχρεούνται να πραγματοποιήσουν δειγματοληψία πριν την απόρριψη του έρματος. (David κ.ά., 2018)

Tank's clarity before ballasting

Η τιμή της μεταβλητής τίθεται στο Unclean. Η μη καθαρισμένη δεξαμενή ενδεχομένως να περιέχει επιπλέον μικροοργανισμούς μέσω των οποίων θα ευδοκιμήσουν οι νέοι οργανισμοί που θα εισαχθούν ή ίσως περιέχει κατάλοιπα από διαρροή πετρελαίου που δεν έχει εντοπιστεί. Συνεπώς αυξάνει καθοριστικά τον κίνδυνο. (Valkonić & Obhodaš, 2020)

Exchanged water's amount

Η τιμή της εισόδου ορίζεται ως Low. Η μηδενική ανταλλαγή έρματος συνεπάγεται έρμα που βρίθει μικροοργανισμών. Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατό λόγω καιρικών συνθηκών, δεν κρίνεται παράνομη η μη ανταλλαγή. Ωστόσο από τον IMO θεωρείται απαραίτητη η ανταλλαγή 95% του όγκου, ενώ συνιστάται η ανταλλαγή με τη μέθοδο 300% flow through. (Simard κ.ά., 2011)

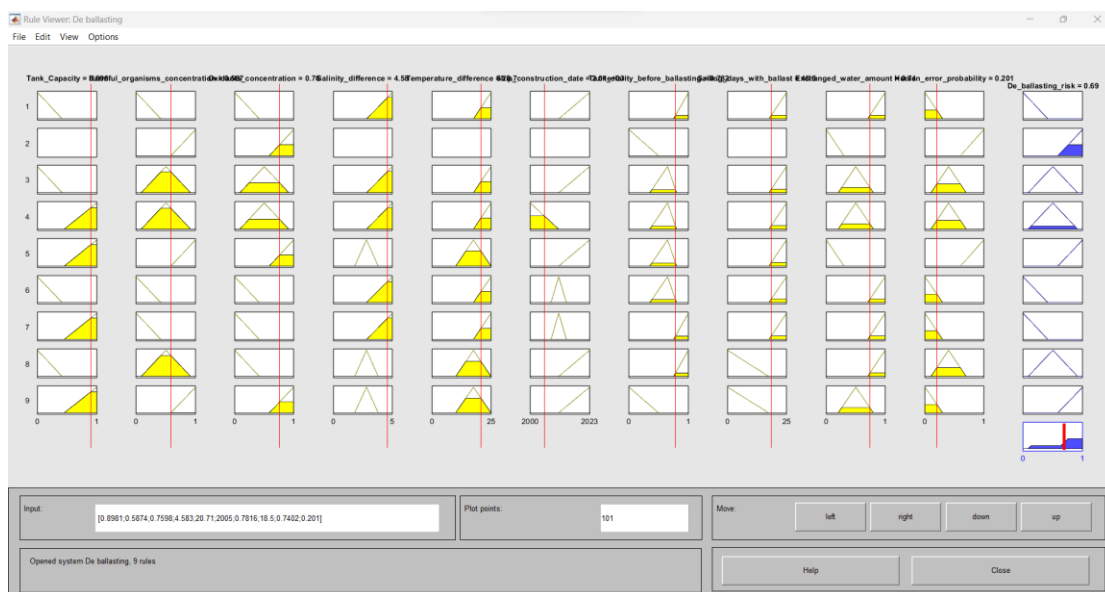
Human error probability

Η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους, ορίζεται ως High, δηλαδή υψηλή. Υπάρχουν πολυάριθμες συνέπειες από ενδεχόμενα ανθρώπινα λάθη κατά την διάρκεια διαδικασιών ελέγχου και πρόληψης στο πλοίο. Ως μεταβλητή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο, καθώς μπορεί οι υπόλοιπες συνθήκες να είναι μέτριες προς καλές, αλλά να αντιστραφούν από μία λάθος εκτίμηση ή κάποια παράλειψη.

3. Κανόνας που αποφέρει μέτριο κίνδυνο. Όπως παρατηρείται οι μεταβλητές που δεν μετείχαν στον 2^ο κανόνα παίρνουν τις ιδανικές τιμές τους, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές παίρνουν μέτριες ή καλές τιμές.
4. Κανόνας που αποφέρει μέτριο κίνδυνο. Οι τιμές των μεταβλητών κυμαίνονται σε καλά και μέτρια επίπεδα.
5. Κανόνας υψηλού κινδύνου. Οι τιμές κυμαίνονται και στα 3 επίπεδα.
6. Κανόνας που αφορά χαμηλή πιθανότητα κινδύνου. Οι τιμές κυμαίνονται σε καλά και μέτρια επίπεδα.
7. Κανόνας χαμηλής πιθανότητας κινδύνου. Οι βασικές μεταβλητές βρίσκονται σε καλά επίπεδα.
8. Κανόνας που αφορά μέτρια επικινδυνότητα. Οι μεταβλητές κυμαίνονται σε διάφορα επίπεδα.
9. Κανόνας υψηλής επικινδυνότητας. Οι τιμές των μεταβλητών κυμαίνονται και στις 3 βαθμίδες, με σημαντικότερες τις τιμές της συγκέντρωσης επιβλαβών ουσιών συνδυαστικά με την χαμηλή διαφορά αλατότητας και την καθαρότητα της δεξαμενής.

3.2.3.3 Αποασαφοποίηση συστήματος

Ο πίνακας παρακάτω αποτελεί την οπτικοποίηση των ασαφών συνόλων εισόδων και εξόδου (στήλες) σύμφωνα με τους κανόνες (γραμμές). Το οπτικό αποτέλεσμα μεταβάλλεται αναλόγως των εισόδων που ορίζονται (Input). Η τελευταία στήλη αφορά την ασαφή έξοδο (De-Ballasting Risk) και στο κάτω μέρος της προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα με μορφή γραφικής απεικόνισης. Το αυστηρό αποτέλεσμα (crisp value) για τις τιμές που δόθηκαν στο παράδειγμα αναγράφεται πάνω από την τελευταία στήλη και είναι 0,69.



Εικόνα 53: Rule viewer - De-Ballasting

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με την ειδική κατηγορία της ρύπανσης από την διαδικασία ερματισμού, αλλά και με το γενικό πλαίσιο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την ναυτιλία.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε συνδυάζει τον ανθρώπινο συλλογισμό με την μαθηματική ανάλυση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εργαλείο κατά την λήψη αποφάσεων με γνώμονα τον περιβαλλοντικό κίνδυνο στις διαδικασίες ερματισμού. Καθώς η συγκεκριμένη κατηγορία ρύπανσης δεν έχει μελετηθεί εκτενώς, χρειάστηκε αρκετή έρευνα προκειμένου να παρουσιαστούν συγκεντρωτικά οι παράμετροι που επηρεάζουν τον βαθμό κινδύνου. Μάλιστα, μεγάλο μέρος των ερευνών από τις οποίες αντλήθηκαν πληροφορίες δημοσιεύτηκαν μόλις τα τελευταία 6 χρόνια.

Ο κατακερματισμός του σε τρία συστήματα, καθιστά το μοντέλο περισσότερο λειτουργικό και αντιπροσωπευτικό των διαδικασιών. Η πρακτική εφαρμογή αυτού του συστήματος μπορεί να αποτρέψει την απόρριψη έρματος στην θάλασσα όταν οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν είναι υψηλοί, και αντίθετα να απορριφθεί με ασφάλεια σε ειδικές εγκαταστάσεις στο λιμάνι.

Οι κανονισμοί του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας θέτουν τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες επιτρέπονται οι διαδικασίες ερματισμού. Ωστόσο οι μέθοδοι καταγραφής και ελέγχου των διαδικασιών εντός των πλοίων, φαίνονται να είναι παρωχημένες σε σύγκριση με τα τεχνολογικά επιτεύγματα της εποχής. Οι διαδικασίες καταγράφονται χειρόγραφα στο βιβλίο «Ballast Record Book» όπως επιβάλλει ο κανονισμός. Η χειρόγραφη διαδικασία όμως δεν δεσμεύει το εκάστοτε πλοίο να συμμορφωθεί ολοκληρωτικά με τους κανονισμούς. Η εισαγωγή τέτοιων μεθόδων λήψης αποφάσεων, όπως είναι το σύστημα που αναπτύχθηκε σε αυτήν την εργασία, μπορεί να συντελέσει στον εκσυγχρονισμό των διαδικασιών εντός και εκτός πλοίου.

Αυτό που συμπεραίνεται αναφορικά με την προστασία του περιβάλλοντος, είναι ότι παρόλο που άρχισε να απασχολεί την ανθρωπότητα τουλάχιστον από το 1970, φαίνεται πως η οικολογική αλλοίωση λαμβάνει καταστροφικές διαστάσεις και τα νομοθετικά πλαίσια δεν διακατέχονται από την αυστηρότητα που θα απαιτούσε το μέγεθος της οικολογικής καταστροφής. Μεγαλύτερη βαρύτητα όμως θα πρέπει να δοθεί στην πρόληψη και αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής καταστροφής, καθώς μπορεί το κόστος υιοθέτησης βιώσιμων πρακτικών να είναι υψηλό όμως το πραγματικό κόστος αφορά την ανθρώπινη ευζωία και το κληροδότημά μας στις επόμενες γενιές.

Βιβλιογραφία

Θεοδώρου, Γ. (2010). *Εισαγωγή στην Ασαφή Λογική*.

Κύρωση της Διεθνούς Σύμβασης για τον Έλεγχο και Διαχείριση του Έρματος και των Ιζημάτων που προέρχονται από τα Πλοία, 2004 και άλλες διατάξεις, Ν. 4470/2017 (ΦΕΚ 65/Α' 8.5.2017) 66 (2017). https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/65a_2017.1494848206973.pdf

Παπαδάκης, Σ., & Αδαμίδης, Π. (2004). *Ασαφή συστήματα—Θεωρία και Εργαστηριακές ασκήσεις*.

Τσιμίνος, Γ. (2022). Προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τη ναυτιλιακή ρύπανση.

Bui, K. Q., & Perera, L. P. (2019). The Compliance Challenges in Emissions Control Regulations to Reduce Air Pollution from Shipping. *OCEANS 2019 - Marseille*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2019.8867420>

Butt, N. (2007). The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton. *Marine Policy*, 31(5), 591–598. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2007.03.002>

Chen, Q., Wu, W., Guo, Y., Li, J., & Wei, F. (2022). Environmental impact, treatment technology and monitoring system of ship domestic sewage: A review. *Science of The Total Environment*, 811, 151410. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151410>

Cutroneo, L., Castellano, M., Pieracci, A., Povero, P., Tucci, S., & Capello, M. (2012). The use of a combined monitoring system for following a turbid plume generated by dredging activities in a port. *Journal of Soils and Sediments*, 12(5), 797–809. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0486-0>

Czabanski, R., Jezewski, M., & Leski, J. (2017). Introduction to Fuzzy Systems. Στο P. Prokopowicz, J. Czerniak, D. Mikołajewski, Ł. Apiecionek, & D. Ślęzak (Επιμ.), *Theory and Applications of Ordered Fuzzy Numbers* (τ. 356, σσ. 23–43). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59614-3_2

David, M., & Gollasch, S. (Επιμ.). (2015). *Global Maritime Transport and Ballast Water Management: Issues and Solutions*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9367-4>

David, M., Linders, J., Gollasch, S., & David, J. (2018). Is the aquatic environment sufficiently protected from chemicals discharged with treated ballast water from vessels worldwide? – A decadal environmental perspective and risk assessment. *Chemosphere*, 207, 590–600. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.136>

David Smith, L., Wonham, M. J., McCann, L. D., Ruiz, G. M., Hines, A. H., & Carlton, J. T. (1999). Invasion pressure to a ballast-flooded estuary and an assessment of inoculant survival. *Biological Invasions*, 1(1), 67–87. <https://doi.org/10.1023/A:1010094527218>

Davies, T. W., Duffy, J. P., Bennie, J., & Gaston, K. J. (2014). The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(6), 347–355. <https://doi.org/10.1890/130281>

- Dittel, A. I., & Epifanio, C. E. (2009). Invasion biology of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*: A brief review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 374(2), 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2009.04.012>
- Drake, L. A., Doblin, M. A., & Dobbs, F. C. (2007). Potential microbial bioinvasions via ships' ballast water, sediment, and biofilm. *Marine Pollution Bulletin*, 55(7–9), 333–341. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.11.007>
- Drake, L., Ruiz, G., Galil, B., Mullady, T., Friedmann, D., & Dobbs, F. (2002). Microbial ecology of ballast water during a transoceanic voyage and the effects of open-ocean exchange. *Marine Ecology Progress Series*, 233, 13–20. <https://doi.org/10.3354/meps233013>
- Erbe, C., Marley, S. A., Schoeman, R. P., Smith, J. N., Trigg, L. E., & Embling, C. B. (2019). The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review. *Frontiers in Marine Science*, 6, 606. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606>
- Frantzis, A. (2004, Φεβρουάριος). *THE FIRST MASS STRANDING THAT WAS ASSOCIATED WITH THE USE OF ACTIVE SONAR (KYPARISSIAKOS GULF, GREECE, 1996)*. European Cetacean Society's 17th Annual Conference.
- Gössling, S., Meyer-Habighorst, C., & Humpe, A. (2021). A global review of marine air pollution policies, their scope and effectiveness. *Ocean & Coastal Management*, 212, 105824. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105824>
- Ibrahim, A. M., & El-naggar, M. M. A. (2012). *Ballast Water Review: Impacts, Treatments and Management*.
- International Guidelines for Preventing the Introduction of Unwanted Aquatic Organisms and Pathogens from Ships Ballast Water and Sediment Discharges, MEPC 31/21 (1991).
- International Maritime Organisation, I. (χ.χ.). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*.
- Final Act of the International Conference on Marine Pollution, 1973, 166 (1973).
- Kholdebarin, A., Mozaffari, N., Vambol, V., Vambol, S., & Mozaffari, N. (2020). IMPACT OF SHIP'S BALLAST WATER ON INVASIVE SPECIES OCCURRENCE, AND AS A CONSEQUENCE ON ENVIRONMENTAL AND PUBLIC HEALTH: A SHORT REVIEW. *Labour protection problems in Ukraine*, 36(1), 18–21. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.36-1.2020.18-21>
- Law, R. J. (2011). The Torrey Canyon Oil Spill, 1967. Στο *Oil Spill Science and Technology* (σσ. 1103–1106). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-943-0.10033-4>
- Loutit, M. W., & Lewis, G. (1985). Faecal bacteria from sewage effluent in sediments around an ocean outfall. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 19(2), 179–185. <https://doi.org/10.1080/00288330.1985.9516085>
- Mueller, N., Westerby, M., & Nieuwenhuijsen, M. (2023). Health impact assessments of shipping and port-sourced air pollution on a global scale: A scoping literature review. *Environmental Research*, 216, 114460. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114460>
- Munakata, T., & Jani, Y. (1994). Fuzzy systems: An overview. *Communications of the ACM*, 37(3), 68–76. <https://doi.org/10.1145/175247.175254>

- Ojala, J., & Tenold, S. (2017). Maritime trade and merchant shipping: The shipping/trade ratio since the 1870s. *International Journal of Maritime History*, 29(4), 838–854. <https://doi.org/10.1177/0843871417724692>
- O’Sullivan, A. J., & Richardson, A. J. (1967). The Torrey Canyon Disaster and Intertidal Marine Life. *Nature*, 214(5087), 448–448. <https://doi.org/10.1038/214448a0>
- Peng, C., Zhao, X., & Liu, G. (2015). Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12304–12323. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012304>
- Pereira, N. N., Colombo, F. B., Chávez, M. I. A., Brinati, H. L., & Carreño, M. N. P. (2016). Challenges to implementing a ballast water remote monitoring system. *Ocean & Coastal Management*, 131, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.07.008>
- Rahman, S. (2017). Implementation of Ballast Water Management Plan in Ships Through Ballast Water Exchange System. *Procedia Engineering*, 194, 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.152>
- Rezaee, M. R., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., & Alizadeh, P. M. (2008). Intelligent approaches for the synthesis of petrophysical logs. *Journal of Geophysics and Engineering*, 5(1), 12–26. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/5/1/002>
- Ruiz, G. M., Reid, D. F., Oceanic, U. S. N., Administration, A., Program (U.S.), N. I. S., & Laboratory, G. L. E. R. (2007). *Current State of Understanding about the Effectiveness of Ballast Water Exchange (BWE) in Reducing Aquatic Nonindigenous Species (ANS) Introductions to the Great Lakes Basin and Chesapeake Bay, USA: Synthesis and Analysis of Existing Information*. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. https://books.google.gr/books?id=L8B_tQEACAAJ
- Saglam, H., & Duzgunes, E. (2018). Effect of Ballast Water on Marine Ecosystem. Στο F. Aloui & I. Dincer (Επιμ.), *Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability 2* (σσ. 373–382). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62575-1_26
- Sanches, V. L., Aguiar, M. R. D. C. M., De Freitas, M. A. V., & Pacheco, E. B. A. V. (2020). Management of cruise ship-generated solid waste: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110785. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110785>
- Schoeman, R. P., Patterson-Abrolat, C., & Plön, S. (2020). A Global Review of Vessel Collisions With Marine Animals. *Frontiers in Marine Science*, 7, 292. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00292>
- Simard, N., Plourde, S., Gilbert, M., & Gollasch, S. (2011). Net efficacy of open ocean ballast water exchange on plankton communities. *Journal of Plankton Research*, 33(9), 1378–1395. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbr038>
- Tsolaki, E., & Diamadopoulos, E. (2010). Technologies for ballast water treatment: A review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85(1), 19–32. <https://doi.org/10.1002/jctb.2276>
- Valković, V., & Obhođaš, J. (2020). Sediments in the ship’s ballast water tank: A problem to be solved. *Journal of Soils and Sediments*, 20(6), 2717–2723. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02624-0>

Walker, T. R., Adebambo, O., Del Aguila Feijoo, M. C., Elhaimer, E., Hossain, T., Edwards, S. J., Morrison, C. E., Romo, J., Sharma, N., Taylor, S., & Zomorodi, S. (2019). Environmental Effects of Marine Transportation. Στο *World Seas: An Environmental Evaluation* (σσ. 505–530). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00030-9>