



**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ & ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΑΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ , ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

**Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα
Ειδίκευσης**

Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας του Περιβάλλοντος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ ΑΝΑΨΥΧΗΣ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ : ΣΤΑΣΙΝΟΥ ΕΛΕΝΗ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ-ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΑΛΕΞΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ , ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

Περίληψη

Ο τομέας των πλοίων αναψυχής (κρουαζιερόπλοια) είναι ένας σημαντικά εξελισσόμενος τομέας τα τελευταία χρόνια με επίσης σημαντική συμβολή στην οικονομία. Ωστόσο μεγάλης σημασίας επίσης είναι και οι επιπτώσεις του στον τομέα του περιβάλλοντος. Οι ρύποι και τα απόβλητα από τα κρουαζιερόπλοια περιλαμβάνουν τις εκπομπές στον αέρα, το νερό έρματος, τα λύματα, τα επικίνδυνα απόβλητα και τα στερεά απόβλητα. Τα λύματα λόγω του όγκου των επιβατών που μπορεί να φιλοξενήσει ένα κρουαζιερόπλοιο αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή μόλυνσης. Σύμφωνα με το Διεθνή κανονισμό της MARPOL τα λύματα τα οποία απορρίπτονται στη θάλασσα πρέπει να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Κατά περιόδους έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι επεξεργασίας των λυμάτων, ωστόσο σήμερα οι πλειοψηφία αυτών κατέχει βιολογική επεξεργασία με χρήση μεμβρανών. Με βάση λοιπόν την παρούσα εργασία, τα πιο σύγχρονα συστήματα επεξεργασίας που προτείνονται είναι σύστημα επεξεργασίας με χρήση μεμβράνης και βιολογική επεξεργασία, αλλά με τη χρήση νάνο-μεμβρανών και σε συνδυασμό με αντιδραστήρα με επανακυκλοφορία, ηλεκτροχημικό σύστημα επεξεργασίας, συνδυαστικό σύστημα επεξεργασίας, μεμβράνη υπερδιήθησης με μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης για παράδειγμα, σύστημα βιολογικής επεξεργασίας με χρήση καινοτόμων οργανισμών απορρόφησης υδρογονανθράκων και σύστημα φωτοκαταλυτικής επεξεργασίας. Τα δύο τελευταία είναι ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο και χρήζουν περαιτέρω επιστημονικής έρευνας. Ωστόσο η χρήση νανοτεχνολογίας για την κατασκευή των νέων μεμβρανών και ηλεκτροδίων στο σύστημα ηλεκτροχημικής επεξεργασίας με μεγαλύτερη απόδοση είναι δυο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες.

Using modern technology as a proper treatment of wastewater caused by cruise ships.

Abstract

The cruise ships' marine industry is a considerably evolving area in recent years presenting important contribution to the economic sector. However, the environmental impact of the marine industry should be considered. The pollutants and waste from cruise ships mainly includes air emissions, ballast water, waste, hazardous waste and solid waste. The waste water due to the number of passengers that can accommodate a cruise ship is the largest source of contamination. According to the International Regulation of MARPOL waste water discharged into the sea must meet certain standards. Various treatment methods of wastewater have been proposed, but the majority of these modern methods are utilizing membranes biological processes. The current work is based mainly on the literature review of the latest promising processing systems which are the treatment systems using membrane and biological treatment, but with the use of nano-films and in combination with reactor with recirculation, electrochemical processing system, a combined processing system, for example combination of ultrafiltration membrane with a reverse osmosis membrane, biological treatment using innovative hydrocarbon absorption bodies and photocatalytic treatment. Hydrocarbon absorption bodies and photocatalytic treatment methods are still at an experimental stage and require further scientific research. However, the use of nanotechnology in construction of new membranes and electrodes in electrochemical processing system with higher performance are two promising technologies.

Περιεχόμενα	
Περίληψη	2
Using modern technology as a proper treatment of wastewater caused by cruise ships	3
Abstract	3
Εισαγωγή	9
1 Ναυτιλία και θαλάσσια ρύπανση	10
1.1 Η αγορά των κρουαζιερόπλοιων σήμερα	14
1.1.1 Διαχείριση λυμάτων κρουαζιερόπλοιων	16
1.1.1.1 Ρεύματα αποβλήτων.....	19
1.1.1.2 Επεξεργασία αποβλήτων επί του πλοίου.....	21
1.1.2 Σύγχρονα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων των πλοίων	25
2 Διεθνές νομοθετικό και θεσμικό πλαίσιο για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος	31
2.1 MARPOL-Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία	34
2.2 Ισχύουσα νομοθεσία και κατάσταση	37
2.2.1 Ελληνική νομοθεσία	43
3 Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης-Φυσικοχημικοί παράμετροι λυμάτων και ρυπαντές	47
3.1 Πηγές ρύπανσης από πλοία.....	52
3.1.1 Αέρια ρύπανση.....	52
3.1.2 Λύματα.....	53
3.2 Επιπτώσεις λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	58
4 Σύγχρονα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων πλοίων	64
4.1 Συστήματα μεμβρανών διήθησης	64
4.2 Ηλεκτροχημικά συστήματα επεξεργασίας.....	72
4.3 Τροποποιημένα συστήματα μεμβρανών	78
4.4 Συστήματα βιολογικών διεργασιών	81

4.5	Συστήματα φωτοκαταλυτικής μετατροπής	82
4.6	Καινοτόμα συστήματα μαγνητικών νανοσωματιδίων	87
5	Συστήματα προστασίας περιβάλλοντος στα κρουαζιερόπλοια σήμερα	88
5.1	Μείωση αερίων ρύπων	88
5.2	Επεξεργασία λυμάτων	89
6	Συμπεράσματα	95
	Βιβλιογραφία	96

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1. Διάγραμμα φάσεων των στασινόνερων (απόνερα) από τη στάση ενός πλοίου σε λιμάνι [15].	18
Εικόνα 4.1. Διάγραμμα ροής γραμμής πλυντηρίων ρούχων επί του πλοίου, με χρήση πορωδών μεμβρανών και ανακύκλωση [69].	65
Εικόνα 4.2. Χωνί με φυσικά πορώδη φίλτρα [69].	66
Εικόνα 4.3. Σύστημα επεξεργασίας γκρι νερών με ενσωμάτωση βιολογικής επεξεργασίας στις πορώδεις μεμβράνες[73].	67
Εικόνα 4.4. Μείωση COD με τη χρήση ενσωματωμένου βιολογικού επεξεργαστή σε μικροπορώδη μεμβράνες [73].	68
Εικόνα 4.5. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με φορητό βιοφίλμ σε αντιδραστήρα φορητής καταλυτικής κλίνης με χρήση μονάδας διήθησης μεμβράνης [71].	69
Εικόνα 4.6. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με φορητό βιοφίλμ σε αντιδραστήρα φορητής καταλυτικής κλίνης με χρήση μονάδας διήθησης μεμβράνης και με σύστημα ανακύκλωσης [71].	69
Εικόνα 4.7. Αποτελέσματα διήθησης με ποικίλες νάνο-μεμβράνες (AFC) σε γκρι νερά πλυντηρίων ρούχων επί του πλοίου, COD (γκρι μπάρα), TOC (λευκή μπάρα) [75].	70
Εικόνα 4.8. Πιλοτικό σύστημα επεξεργασίας γκριζών νερών με χρήση νάνο-μεμβρανών.	70
Εικόνα 4.9. Παραδείγματα συστημάτων άμεσης και έμμεσης (από αριστερά στα δεξιά) ηλεκτροχημικής επεξεργασίας [80].	72
Εικόνα 4.10. Κατηγοριοποίηση των ηλεκτροχημικών μεθόδων επεξεργασίας λυμάτων [80].	73
Εικόνα 4.11. Ηλεκτροχημικό αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης. 1. Δοχείο αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης, 2. Pt/Ir ηλεκτρόδιο ανόδου και Fe ηλεκτρόδιο καθόδου, 3. Βάση για τα ηλεκτρόδια, 4. DC πηγή ισχύος, 5. ψηφιακό θερμομέτρο, 6. Κελί δειγματοληψίας, 7. Μοτέρ κίνησης, 8. Γυάλινο δοχείο ανάμειξης, 9. Δοχείο θέρμανσης/ψύξης, 10. Αντλία θέρμανσης/ψύξης, 11. Τροφοδοσία θέρμανσης/ψύξης, 12. Τροφοδοσία ρεύματος [82].	73
Εικόνα 4.12. Επίδραση σύνθεσης λυμάτων στην επεξεργασίας τους [82].	74
Εικόνα 4.13. Επίδραση του λόγου θαλασσινό νερό/φρέσκο νερό στην επεξεργασία.	74
Εικόνα 4.14. Επίδραση του pH στη διαδικασία της ηλεκτροκροκίδωσης [84].	75
Εικόνα 4.15. Κοινό σύστημα μεμβράνης επεξεργασίας στασινόνερων [85].	77

Εικόνα 4.16. Σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης για στασιμόνερα που εμπεριέχουν λιπαρά οξέα [85].	77
Εικόνα 4.17. Σύστημα επεξεργασίας στασιμόνερων με περιεχόμενο χημικών ουσιών [85].	78
Εικόνα 4.18. Διάγραμμα ροής συστήματος επεξεργασίας υπερδιήθησης με αντίστροφη ώσμωση στασιμόνερων [15].	79
Εικόνα 4.19. Αποτελέσματα υπερδιήθησης γαλακτώματος με χρήση TFNC (thin-film nanofibrous composite) μεμβρανών που εμπεριέχουν προστατευτικό στρώμα σελουλόζης. Πάχος προστατευτικού στρώματος $0.5\pm 0.1\mu\text{m}$, εφαρμοζόμενη πίεση 30psi και θερμοκρασία $35\pm 2^\circ\text{C}$.	79
Εικόνα 4.20. Τρόπος δράσης ενός βιολογικού ‘επεξεργαστή’ [89].	80
Εικόνα 4.21. Φωτοκαταλυτική διάσπαση $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ 1(■), $\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{CH}=\text{CH}_2$ 2(▲), $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SH}$ 3(□), $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OH}$ 4(◆), $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{CHO}_5$ (●).	81
Εικόνα 4.22. Φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας δυο ζωνών [94].	82
Εικόνα 4.23. Σύστημα φωτοκαταλυτικού αντιδραστήρα σε συνδυασμό με αέρα απογύμνωσης [96].	83
Εικόνα 4.24. Σύστημα φωτοκαταλυτικού αντιδραστήρα με συνδυασμό απλής μεμβράνης και νάνο-μεμβράνης [97].	84
Εικόνα 4.25. Τροποποιημένος φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας με σύστημα υπερδιήθησης [98].	84
Εικόνα 4.26. Απομάκρυνση ελαίου με τη βοήθεια μαγνητικών νανοσωματιδίων [99].	85
Εικόνα 5.1. Σύστημα shore power [101].	88
Εικόνα 5.2. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων MSD, εν πλώ [103].	90
Εικόνα 5.3. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με υπεριώδη ακτινοβολία [104].	92

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1. Νομοθεσία που περιορίζει την μόλυνση των θαλασσών [3].....	12
Πίνακας 1.2. Επιλογές επεξεργασίας αποβλήτων επί του πλοίου [18].....	21
Πίνακας 2.1. Διαχείριση απορριμμάτων σύμφωνα με τον IMO [39].....	39
Πίνακας 4.1. Χημικοί και φυσικοί παράμετροι πριν και μετά την επεξεργασία [69].	66
Πίνακας 4.2. Σύγκριση χημικής κροκίδωσης και ηλεκτροκροκίδωσης [84].....	76

Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο εντοπισμός με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση η ανάλυση καινοτόμων συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων που χρησιμοποιούνται ή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στα κρουαζιερόπλοια. Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τέσσερα Κεφάλαια.

Αρχικά στο Κεφάλαιο 1, γίνεται μια αναφορά εν συντομία στη ναυτιλία και γενικότερα στη θαλάσσια ρύπανση που προκαλείται από τον τομέα της ναυτιλίας. Στη συνέχεια προσδιορίζεται η αγορά και η κίνηση των κρουαζιερόπλοιων σε συνδυασμό με τη μόλυνση που προκαλούν κατά την πορεία τους, αλλά και στους ενδιάμεσους σταθμούς των λιμανιών. Έπειτα αναφέρεται η διαχείριση των λυμάτων των κρουαζιερόπλοιων καθώς και τα τωρινά συστήματα επεξεργασίας των λυμάτων.

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2, αναφέρεται το διεθνές δίκαιο και το θεσμικό πλαίσιο σχετικά με τις διεθνείς συμβάσεις. Επίσης γίνεται και μια σύντομη αναφορά στην Ελληνική νομοθεσία και στον τρόπο διαχείρισης των λυμάτων.

Έπειτα στο Κεφάλαιο 3, προσδιορίζονται οι πιθανές πηγές ρύπανσης των πλοίων με έμφαση στα λύματα. Επίσης επιγραμματικά αναφέρονται και οι επιπτώσεις των λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στο Κεφάλαιο 4, καταγράφονται τα σύγχρονα και καινοτόμα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων που έχουν προταθεί και διερευνώνται από τη Διεθνή Επιστημονική Κοινότητα. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 5, γίνεται μια σύντομη αναφορά στο καινοτόμο σύστημα μείωσης αερίων εκπομπών που χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιοχές υποδοχής κρουαζιερόπλοιων και στη συνέχεια αναλύονται τα σημερινά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων στα κρουαζιερόπλοια.

Τέλος στο Κεφάλαιο 6, καταγράφονται τα συμπεράσματα. Σύμφωνα με αυτά η βιομηχανία της κρουαζιέρας όσο αφορά στην επεξεργασία λυμάτων για την προστασία περιβάλλοντος έχει παραμείνει σχεδόν στάσιμη παρά τις διατάξεις και τα νομοθετήματα. Η πλειοψηφία των πλοίων χρησιμοποιεί τεχνολογία τριανταπέντε χρόνων, την τεχνολογία χλωρίωσης, κυρίως λόγω υψηλού κόστους των καινοτόμων τεχνολογιών. Ωστόσο η καινοτόμα τεχνολογία η οποία προωθείται είναι αυτή με πολλαπλά στάδια διήθησης και τελική επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολίες.

1 Ναυτιλία και θαλάσσια ρύπανση

Οι ωκεανοί και οι θάλασσες του κόσμου έχουν υποστεί περιβαλλοντική υποβάθμιση για πολλά χρόνια και η ανάγκη να αποφευχθεί η περαιτέρω υποβάθμιση τονίστηκε στη Σύνοδο Κορυφής του Ρίο. Μια σημαντική αιτία αυτής της υποβάθμισης είναι η ρύπανση, ιδιαίτερα σε παραθαλάσσιες περιοχές οι οποίες αποτελούν σημεία υποδοχής πλοίων και κρουαζιερόπλοιων, η οποία προέρχεται από τα απόβλητα αυτών των πλοίων.

Ως απόβλητο μπορεί να οριστεί κάτι περιττό που απορρίπτεται, όπως τα απορρίμματα τροφών, των απορριμμάτων συσκευασίας, λύματα, τοξικά υποπροϊόντα από την κατασκευή και ούτω καθεξής [1]. Τα απόβλητα είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα που φαίνεται να αυξάνεται όσο αυξάνεται ο πληθυσμός και οι μετακινήσεις. Τα προβλήματα που συνδέονται με την παραγωγή αποβλήτων από πλοία και τη διαχείρισή τους είναι πλέον πολλά και απασχολούν ολόκληρη την παγκόσμια κοινότητα, όπως περιβαλλοντικές οργανώσεις, καθώς και πολιτικούς παράγοντες.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 αναγνωρίστηκαν για πρώτη φορά παγκοσμίως οι πιθανές περιβαλλοντικές συνέπειες που μπορεί να προκαλέσει η αδιάκριτη απόρριψη αποβλήτων στη θάλασσα. Στη συνέχεια το 1972 πραγματοποιήθηκε η διατύπωση του London Dumping Convention. Μέχρι τότε ή μπορεί να ειπωθεί ορισμένες φορές ακόμα και σήμερα, το θαλάσσιο περιβάλλον θεωρούνταν ένας από τους πιο εύκολους και μεγαλύτερους αποδέκτες αποβλήτων όχι μόνο για απόβλητα που παράγονταν στα πλοία, αλλά και στη στεριά. Ως αποτέλεσμα λόγω των θαλάσσιων ρευμάτων πολλά από τα παραγόμενα απόβλητα μεταφέρονταν και εκτός των χωρικών υδάτων κάποιας περιοχής. [1].

Χαρακτηριστικό είναι ότι ο μοναδικός κανονισμός που υπήρχε για την πρόληψη της ρύπανσης των θαλασσών ήταν αυτός του 1954 της διεθνούς σύμβασης για την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο (OILPOL). Πιο συγκεκριμένα αυτός απευθυνόταν κυρίως σε πετρελαϊκή ρύπανση που είχε προκύψει τότε άμεσα από τα δεξαμενόπλοια εμπορίου και από τη γενική απαλλαγή των ελαιωδών αποβλήτων από άλλα σκάφη. Επομένως χωρίς την ύπαρξη συγκεκριμένου κανονισμού, δεν είχε αναπτυχθεί από την πλευρά της ναυτιλιακής βιομηχανίας εκείνη τη χρονική περίοδο η ορθή διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων.

Η αδιαφορία ή η έλλειψη γνώσεων για τις επιπτώσεις της ρύπανσης και ιδιαίτερα από πετρέλαιο στο θαλάσσιο περιβάλλον αποδείχτηκε αργότερα από μελέτες και αναλύσεις [2].

Ωστόσο μετά τη σύνοδο κορυφής του Ρίο η ορθή διαχείριση των αποβλήτων τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα θεωρείται στρατηγικής σημασίας για βιώσιμη και αειφόρο ανάπτυξη. Για αυτό το λόγο αναπτύσσεται νομοθεσία σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο, καλύπτοντας όχι μόνο τη διάθεση των χερσαίων αποβλήτων που δημιουργούνται αλλά και των αποβλήτων των πλοίων. Κατά αυτόν τον τρόπο παρατηρείται και μεταβολή στη διαχείριση των αποβλήτων από τις ναυτιλιακές εταιρίες και συμμόρφωση αυτών με βάση τους διεθνείς κανονισμούς [3].

Η ναυτιλία είναι ένας κλάδος με κυκλικές διακυμάνσεις που ανταποκρίνεται σε παγκόσμιο επίπεδο προσφοράς και ζήτησης που εξελίσσεται συνεχώς. Ένας από τους τομείς της ναυτιλίας που παρουσιάζει ταχεία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια είναι η αγορά κρουαζιερόπλοιων. Πιο συγκεκριμένα, ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος αποτελείται από περίπου 46.222 σκάφη και έχει υπολογιστεί ότι από το ένα τέταρτο του συνόλου των αποβλήτων που παράγονται λιγότερο από το 1% αντιστοιχεί σε κρουαζιερόπλοια. Στο τέλος του 2004 υπήρχαν 441 επιχειρησιακά κρουαζιερόπλοια, που ισοδυναμεί με 11,5 εκατομμύρια τόνους μεικτό, με το μέσο όρο ηλικίας των πλοίων να είναι 21 χρόνια [3].

Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης αγοράς εισήγαγε ένα μοναδικό σύνολο περιβαλλοντικών πιέσεων που έπρεπε και πρέπει να αντιμετωπιστούν όσο και διερευνηθούν, ιδιαίτερα εκείνων που αφορούν στη διαχείριση των αποβλήτων. Καθώς η αγορά των κρουαζιερόπλοιων συνεχίζει να αυξάνεται, τόσο η ποσότητα των αποβλήτων προς διάθεση θα αυξάνεται.

Ο τρόπος με τον οποίον τα απόβλητα θα διαχειρίζονται ποικίλει ανάλογα με τα σχέδια διαχείρισης των αποβλήτων και τις εγκαταστάσεις του λιμανιού φιλοξενίας, των ενδιάμεσων λιμανιών-στάσεων και φυσικά ανάλογα με τα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων επί του πλοίων ακόμα και σε ιδιωτικά σκάφη. Ανεξάρτητα από τα προαναφερόμενα, είναι πιθανόν να υπάρξουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να είναι σημαντικές, ιδιαίτερα για τα μικρά νησιά, τα λιμάνια φιλοξενίας και τα ενδιάμεσα λιμάνια.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η ναυτιλία προσφέρει τον πιο οικονομικά αποδοτικό και περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο μεταφοράς για τα προϊόντα σε όλο τον κόσμο, σε σύγκριση με τις οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές εμπορευματικές μεταφορές.

Αλλά όλα τα σκάφη προκαλούν ρύπανση, συμπεριλαμβανομένων και των αποβλήτων, η οποία έχει πλέον θεσμοθετηθεί μέσα από τις απαιτήσεις της διεθνούς σύμβασης για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία, το 1973, όπως τροποποιήθηκε από το Πρωτόκολλο του 1978 (MARPOL 73/78) και της Διεθνούς Διαχείρισης της Ασφάλειας (ISM) κώδικα, υπό την αιγίδα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO). Η νομοθεσία είναι επίσης σε ισχύ μέσω της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και αφορά στις απαιτήσεις για τους λιμένες να παρέχουν εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων πλοίου που δεν μπορούν να απορρίπτονται στη θάλασσα σύμφωνα με τους κανονισμούς της MARPOL 73/78. Στον Πίνακα 1.1 δίνεται η σχετική νομοθεσία και πώς αυτή τροποποιήθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις και τους κανονισμούς [3].

Πίνακας 1.1. Νομοθεσία που περιορίζει την μόλυνση των θαλασσών [3].

Σύμβαση για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από την απόρριψη αποβλήτων και άλλων υλικών (ΛΑΧ) του 1972 τροποποιήθηκε το 1996	Τάσσεται υπέρ καλύτερα πρακτικά μέσα για τη μείωση της ρύπανσης και την παραγωγή των βλαβερών αποβλήτων. Απαγορεύει ηθελημένη απόρριψη ορισμένων αποβλήτων στη θάλασσα. Κατηγοριοποιεί τα απόβλητα σε μαύρο (απαγορεύεται) ή γκρι (απαιτείται άδεια).
Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) 73/78	Περιέχει έξι παραρτήματα που απαγορεύονται οι απορρίψεις, θέτει τα πρότυπα κατασκευής, επιβάλλει κυρώσεις, επιτρέπει την επιβολή και προσδιορίζει «Ειδικές Περιοχές», που καλύπτουν: το πετρέλαιο, επιβλαβών υγρών ουσιών, επιβλαβών ουσιών (συσκευασμένα), αποχέτευση, σκουπίδια, η ρύπανση του αέρα.
Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS) του 1982. Μέρος XII. Προστασία και διατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος	Τα άρθρα 194 και 195. Περιλαμβάνει μέτρα για την πρόληψη, μείωση και έλεγχο της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος και την αποφυγή της μεταφοράς ζημιών ή κινδύνων από τη μία περιοχή στην άλλη.
Διεθνής Κώδικας Διαχείρισης της Ασφάλειας (ISM)	Ο μηχανισμός λογοδοσίας υποχρεωτικών προτύπων, όπως ορίζεται στο Σύστημα Διαχείρισης Πλοίων (SMS). Περιλαμβάνει τις απαιτήσεις για όλα τα σκάφη με τον όγκο ρεκόρ και τα είδη των αποβλήτων που δημιουργούνται (σύμφωνα με την MARPOL 73/78) και τη μέθοδο διάθεσης.
Εμπορικής Ναυτιλίας (Θύρα υποδοχής αποβλήτων Εγκαταστάσεις) Κανονισμοί του 1997	Με βάση τις διαπιστώσεις έκθεσης του Λόρδου Donaldson 1994α, η οποία οδήγησε σε βελτίωση των κανονισμών και της επιβολής, βελτίωση των εγκαταστάσεων για τη νόμιμη διάθεση των αποβλήτων στους λιμένες, αύξηση των ποινών για την παράνομη απόρριψη.
Οδηγία της ΕΕ: 2000/59 / ΕΚ. Λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων πλοίου και καταλοίπων φορτίου	Καλύπτει τις απαιτήσεις για λιμενικών εγκαταστάσεων παραλαβής αποβλήτων με στόχο τη μείωση των απορρίψεων αποβλήτων των πλοίων και καταλοίπων φορτίου στη θάλασσα, με τη βελτίωση της διαθεσιμότητας και της χρήσης λιμενικών εγκαταστάσεων υποδοχής.
MGN 253 (M + F). Θύρα υποδοχής αποβλήτων Εγκαταστάσεις Κανονισμοί του 2003	Καλύπτει τις απαιτήσεις για τα πλοία να αναφέρουν τον όγκο και το είδος αποβλήτων που δημιουργούνται επί του πλοίων, ο όγκος πρέπει να αποβάλλεται ή να διατηρείται επί του πλοίων και την υποχρεωτική χρέωση για τη διάθεση των αποβλήτων των πλοίων . (Εξαιρουμένων των σκαφών αναψυχής και των αλιευτικών σκαφών)

Η οδηγία της ΕΕ 2000/59 (λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων πλοίου και καταλοίπων φορτίου) είναι βασισμένη γύρω από τις βασικές αρχές της πολιτικής της ΕΕ για χερσαία απόβλητα που δημιουργούνται, με έμφαση στο λιμάνι και το πλοίο επικεντρώθηκε στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και «ο παραγωγός έχει ευθύνη», ακολουθούμενη από την πρόληψη. Στο πλαίσιο της οδηγίας υπάρχει επίσης μια σύσταση για όλους τους λιμένες της ΕΕ να παράσχουν επαρκείς και κατάλληλες εγκαταστάσεις αποβλήτων που δημιουργούνται ανάλογα με τον τύπο πλοίων που καταπλέουν σε κάθε λιμάνι, το οποίο έχει σημαντικές επιπτώσεις [3].

Το άρθρο 4 (2), συνιστά ότι: «για να επιτευχθεί επάρκεια, οι εγκαταστάσεις υποδοχής πρέπει να είναι ικανές να δεχθούν τις κατηγορίες και τις ποσότητες των αποβλήτων των πλοίων και τα κατάλοιπα φορτίου από πλοία που χρησιμοποιούν συνήθως τον λιμένα, λαμβάνοντας υπόψη τις λειτουργικές ανάγκες των χρηστών του λιμένα, το μέγεθος και τη γεωγραφική θέση του λιμένα, τους τύπους των πλοίων που καταπλέουν σε αυτόν και τις εξαιρέσεις που προβλέπονται στο άρθρο 9.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πλειονότητα της ισχύουσας νομοθεσίας σχετικά με τη ρύπανση και τις συνθήκες των αποβλήτων αναπτύχθηκε πριν από την ταχεία ανάπτυξη της αγοράς των κρουαζιερόπλοιων-πλοίων αναψυχής και κατά συνέπεια δεν υπάρχει διεθνής νομοθεσία για την αντιμετώπιση των ιδιαίτερων ζητημάτων γύρω από τη ρύπανση και διαχείριση των αποβλήτων στα εν λόγω σκάφη. Στην παρακάτω υποενότητα θα συζητηθεί εν συντομία η αγορά των κρουαζιερόπλοιων και η αντίστοιχη ρύπανση της θάλασσας που πιθανόν προκαλούν [3].

1.1 Η αγορά των κρουαζιερόπλοιων σήμερα

Ο τομέας της κρουαζιέρας είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας του τουρισμού. Εκτιμώμενα ποσοστά ανάπτυξης για τον κλάδο είναι στην περιοχή 8,5% ετησίως, με τα στοιχεία των επιβατών έφτασε τα 14,2 εκατ. το 2010 [4]. Από τη φύση τους οι κρουαζιέρες δεν δύναται να ταξινομηθούν ως μια βιώσιμη μορφή τουρισμού, επειδή τα κρουαζιερόπλοια αυτά δεν είναι ικανά να λειτουργούν χωρίς εξωτερική παρέμβαση και επίσης χρησιμοποιούν σημαντικές ποσότητες πόρων. Κατά συνέπεια ασκούν μεγάλη πίεση και δημιουργούν επιπτώσεις στους τόπους που επισκέπτονται,

ιδιαίτερα σε περιοχές οι οποίες αποτελούν τουριστικό αξιοθέατο λόγω της βιοποικιλότητας για παράδειγμα που προσφέρουν, προς εξερεύνηση [5].

Για παράδειγμα τα νησιά της Καραϊβικής δέχονται το 44% της συνολικής αγοράς της κρουαζιέρας. Η Αλάσκα, η οποία αποτελεί οικολογικά ευαίσθητη περιοχή, αντιπροσωπεύει το 7,9% και η Μεσόγειος, μια ημίκλειστη θάλασσα το 12,7% της αγοράς. Η ένταση στην υποδομή μικρών πόλεων, νήσων και νησιωτικών συγκροτημάτων έχει σε ορισμένες περιπτώσεις φτάσει σε οξεία επίπεδα, ιδιαίτερα στην Καραϊβική και στο Νότιο Ειρηνικό.

Έτσι παρατηρείται μια συλλογική προσπάθεια με την υιοθέτηση στρατηγικών που ως στόχο έχουν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του αυξανόμενου αριθμού των επισκέψεων των κρουαζιερόπλοιων. Πιο συγκεκριμένα, το περιβαλλοντικό πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για τα αναπτυσσόμενα μικρά νησιωτικά κράτη ανέδειξε τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν αυτές οι περιβαλλοντικά και οικολογικά ευάλωτες χώρες και διερευνά βιώσιμες λύσεις.

Η Αλάσκα έχει ήδη περάσει έναν ομοσπονδιακό νόμο που εφαρμόζει πολύ αυστηρούς ελέγχους για τη διάθεση των αποβλήτων και τη διαχείριση της ρύπανσης για όλα τα σκάφη που επισκέπτονται την περιοχή. Τα πλοία παρακολουθούνται εκ του σύνεγγυς για τυχόν παραβάσεις και μέχρι σήμερα έχουν επιβληθεί μεγάλα πρόστιμα σε επιχειρήσεις που δεν συμμορφώνονται με τη νομοθεσία αυτή. Η πρωτοβουλία αυτή έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των ομοσπονδιακών πλοίων Clean Cruise Act, το 2005, να νομοθετήσει εναντίον των απορρίψεων γκρίζου νερού, λυμάτων και υδάτων υδροσυλλεκτών από οποιοδήποτε κρουαζιερόπλοιο σε χωρικά ύδατα των ΗΠΑ [6].

Το Διεθνές Συμβούλιο Cruise Lines (ICCL) είναι η κύρια εμπορική ένωση της βιομηχανίας της κρουαζιέρας, αντιπροσωπεύοντας 16 μεγάλα κρουαζιερόπλοια που χειρίζονται περίπου το 85% της παγκόσμιας αγοράς. Αποστολή του είναι να παρακολουθεί εγχώριες και διεθνείς πολιτικές που επηρεάζουν άμεσα τη βιομηχανία και να αναπτύσσει προτάσεις για τα μέλη της, που αντανακλούν την κλιματική πολιτική. Το ICCL έχει καθεστώς μη-κυβερνητικής συμβουλευτικής οργάνωσης στον IMO και συμμετέχει ενεργά στην προσπάθεια για την ανάπτυξη της περιβαλλοντικής πολιτικής, της νομοθεσίας, των συμβάσεων και συνθηκών που σχετίζονται με τη βιομηχανία της κρουαζιέρας.

Το 2004, από τα 441 κρουαζιερόπλοια σε λειτουργία, 339 πλοία και οι διαχειριστές τους ήταν μέλη του Cruise Line Συνδέσμου Βιομηχανιών (CLIA). Οι

μεγάλες επιχειρήσεις είναι η Carnival, η Royal Caribbean και Star/NCL, που αντιπροσωπεύουν το 65% της φέρουσας ικανότητας του συνόλου των πλοίων της κρουαζιέρας. Η Carnival είναι η μεγαλύτερη επιχείρηση κρουαζιερόπλοιων η οποία απασχολεί 70.000 προσωπικό σε όλο τον κόσμο και λειτουργεί 77 πλοία. Ανά πάσα στιγμή 191.000 άνθρωποι είναι σε ένα πλοίο (135.000 επιβάτες και 56.000 πλήρωμα) [7].

Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι η μεγαλύτερη αγορά για τη βιομηχανία της κρουαζιέρας, αντιπροσωπεύοντας περίπου τα δύο τρίτα της παγκόσμιας αγοράς, ενώ το Ηνωμένο Βασίλειο είναι η δεύτερη μεγαλύτερη αγορά και είναι υπεύθυνο για περίπου το 40% της ευρωπαϊκής αγοράς της κρουαζιέρας. Από αυτά και μόνο τα μεγέθη πρέπει να αναλογιστεί κάποιος και το μέγεθος της μόλυνσης που μπορεί να προκαλείται σε περίπτωση απουσίας των κατάλληλων συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων [7].

1.1.1 Διαχείριση λυμάτων κρουαζιερόπλοιων

Οι ρύποι και τα απόβλητα από τα κρουαζιερόπλοια περιλαμβάνουν τις εκπομπές στον αέρα, το νερό έρματος, τα λύματα, τα επικίνδυνα απόβλητα και τα στερεά απόβλητα. Υπολογίζεται ότι κατά μέσο όρο ένα κρουαζιερόπλοιο παράγει τουλάχιστον 1 kg στερεών αποβλήτων συν δύο μπουκάλια και δύο κουτιά, ανά επιβάτη ανά ημέρα και κατά μέσο όρο 50 τόνους λυμάτων (μαύρο νερό) ανά ημέρα [8].

Σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ 2000/59, άρθρο 4 (2), κάθε λιμάνι ή τα ενδιάμεσα λιμάνια που υποδέχονται κρουαζιερόπλοια θα πρέπει να παρέχουν τις κατάλληλες εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων για να αντιμετωπίσουν τον όγκο των αποβλήτων που παράγονται από αυτά. Με ποιόν τρόπο στη συνέχεια τα λιμάνια διαχειρίζονται αυτά τα απόβλητα εξαρτάται αποκλειστικά από την τοπική πολιτική και τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις που έχουν στη διάθεσή τους. Η τοπική λιμενική πολιτική και ο τρόπος ελέγχου των πλοίων μπορεί να ειπωθεί ότι επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο τα απόβλητα και τα λύματα διαχειρίζονται επί του σκάφους [9].

Σχετικά με τα στερεά απόβλητα οι περισσότερες αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν τώρα την ιεράρχηση των αποβλήτων, προκειμένου να ενθαρρύνουν μια πιο βιώσιμη προσέγγιση για τη διαχείριση των αποβλήτων. Η πιο επιθυμητή επιλογή στην ιεραρχία είναι η μείωση (προληπτικά), η επαναχρησιμοποίηση και η

ανακύκλωση (βελτιωτική και προληπτική), και τέλος η διάθεση σε χωματερές (αφομοιωτική). Η ιεράρχηση των αποβλήτων λειτούργησε καλά στο παρελθόν, κυρίως μέσω της αύξησης των επιπέδων ανάκτησης, ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης, αλλά υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις των στρατηγικών των αποβλήτων με βάση την ιεραρχία, όπου η ερμηνεία του αποφθέγματος «η πρόληψη είναι καλύτερη από τη θεραπεία» μπορεί να θεωρηθεί ως το επόμενο βήμα για την επίτευξη της αειφορίας [10].

Η προσέγγιση της μείωσης, ανάκτησης (ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση) και διάθεση ισχύει επίσης για των πλοίων τα παραγόμενα απορρίμματα, αλλά το βάρος της συμμόρφωσης με την περιβαλλοντική και βιώσιμη πρακτική επί του σκάφους είναι γενικά μια αντανάκλαση της περιβαλλοντικής δέσμευσης των φορέων εκμετάλλευσης του πλοίου και τις εγκαταστάσεις που επιμελούνται τα πληρώματα. Μερικές από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις συνηγορούν και ενθαρρύνουν σε υψηλά επίπεδα την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και διαφημίζουν το γεγονός αυτό ως ένα επιπλέον κίνητρο όταν πωλούν κρουαζιέρες τους.

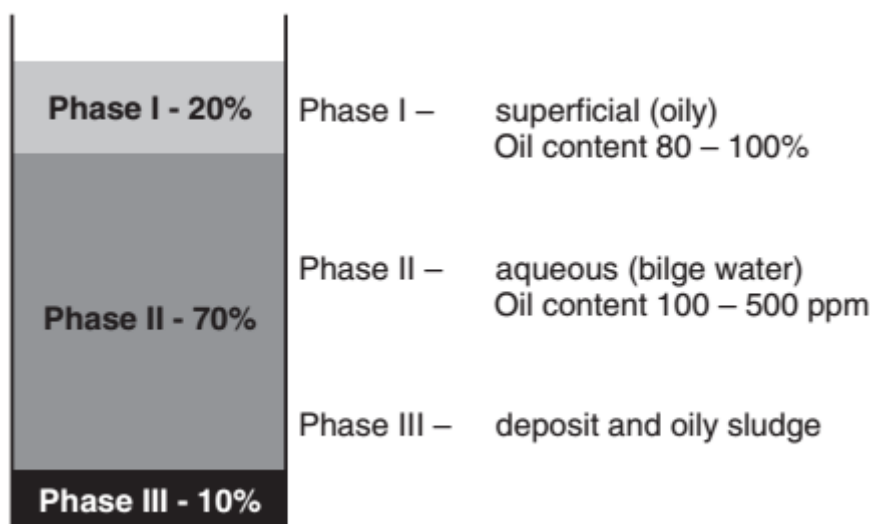
Οι Bernal *et al.* [11] ορίζουν τα πλοία ως πλωτά βιομηχανικά εργοστάσια που παράγουν μεγάλες ποσότητες τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων. Στη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL 73/78), ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) συμφώνησε ότι όλα τα πλοία που παράγουν άνω των 400 GRT πρέπει να περιλαμβάνουν διαχωριστές ελαίου/νερού [12].

Μια σημαντική κατηγορία λυμάτων που προκύπτει από τα πλοία είναι τα σεντινότερα. Τα σεντινότερα, είναι το χαμηλότερο εσωτερικό μέρος του κύτους του πλοίου κάτω από το μηχανοστάσιο και τους λέβητες. Αυτό το εσωτερικό μέρος είναι κάτω από την ίσαλο γραμμή, όπου οποιοδήποτε νερό συχνά μολυσμένο με πετρέλαιο, καύσιμα και άλλα λιπαντικά από το μηχανοστάσιο συγκεντρώνεται στο κύτος. Bilge νερό είναι ένα διαβρωτικό μείγμα θαλασσινού νερού που περιέχει μια ποικιλία συστατικών, συμπεριλαμβανομένων καθαριστικά, διαλύτες, καύσιμα, λιπαντικά έλαια και τα υδραυλικά έλαια. Αυτό προκύπτει κυρίως από την διαρροή από τη μηχανή και το φρέσκο νερό πλύσης, τα οποία αφήνονται να στραγγίσουν στο χαμηλότερο εσωτερικό μέρος του κύτους του πλοίου [13].

Η σύμβαση αυτή περιλαμβάνει ρυθμίσεις που αποσκοπούν στην πρόληψη και στην ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από τα πλοία, καθώς και στην αποφυγή ατυχημάτων από δραστηριότητες ρουτίνας. IMO ρυθμίζει το όριο απόρριψης λαδιού

και γράσου σε απόσταση άνω των 12 ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ακτή, να είναι 15 mgL^{-1} . Ως εκ τούτου, το σεντινότερο πρέπει να υποστεί επεξεργασία με τελική εκροή με περιεκτικότητα λαδιού μικρότερη από 15 mg L^{-1} . Ωστόσο εξαιτίας του υψηλού κόστους των συστημάτων επεξεργασίας των λυμάτων και εκφόρτωσης της ύλης η απόρριψη αυτών γίνεται πολλές φορές παράνομα στη θάλασσα με αποτέλεσμα τη ρύπανση αυτής [14].

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι τα σεντινότερα είναι σύστημα διασποράς δύο φάσεων στο οποίο η διεσπαρμένη φάση είναι το νερό, ενώ το πετρέλαιο είναι η φάση διασποράς. Το γαλάκτωμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια χοντρή διασπορά (με τη διάμετρο των σταγονιδίων άνω των 50 μm) και μια λεπτή διασπορά (με τη διάμετρο των σταγονιδίων εντός της περιοχής 0.2-50 μm). Τα γαλακτώματα χονδροειδούς διασποράς έχουν κατά κανόνα χαμηλή σταθερότητα και υπό ευνοϊκές συνθήκες, π.χ. κατά την περίοδο της παραμονής του πλοίου στο λιμάνι, ο διαχωρισμός του πετρελαίου συμβαίνει πολύ γρήγορα. Μετά από ένα καθορισμένο χρόνο που είχε παρέλθει, το γαλάκτωμα διαχωρίζεται σε τρεις φάσεις, όπως φαίνεται στην Εικ. 1.1 [15].



Εικόνα 1.1. Διάγραμμα φάσεων των στασινόνερων (απόνερα) από τη στάση ενός πλοίου σε λιμάνι [15].

Το ICCL έχει αναπτύξει ένα βιομηχανικό πρότυπο για τις «πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων και διαδικασίες», τις οποίες όλα τα μέλη συμφώνησαν να ενσωματώσουν στα συστήματα διαχείρισης πλοίων τους (μέρος του κώδικα ISM) συμμόρφωση με το

πρότυπο αυτό θα βοηθήσει στην ενίσχυση της τωρινής διαχείρισης των αποβλήτων σε ένα κρουαζιερόπλοιο [15]. Στις παρακάτω υποενότητες περιγράφονται συνοπτικά κάποια ρεύματα αποβλήτων.

1.1.1.1 Ρεύματα αποβλήτων

Επί του πλοίου τα απόβλητα μπορούν να διανεμηθούν σύμφωνα με την MARPOL 73/78 παραρτήματα I-VI που διέπουν τον έλεγχο και τη διάθεση των αποβλήτων των πλοίων που παράγονται και απαγορεύει τις απορρίψεις στην ένδειξη «Ειδικές Ζώνες». Τα απόβλητα σε συνεχή ροή, όπως το πετρέλαιο, τα επικίνδυνα απόβλητα, τα λύματα (μαύρο ή γκρι), τα στερεά απόβλητα και η ατμοσφαιρική ρύπανση, υπάγονται στις MARPOL τα παραρτήματα I, III, IV, V και VI.

Παράρτημα I- MARPOL

Η παραγωγή ενός ορισμένου ποσού πετρελαιοειδών αποβλήτων και λιπαρά από υδροσυλλέκτες παρατηρείται σε όλα τα σκάφη. Εκτιμάται ότι ένα κρουαζιερόπλοιο παράγει 8 τόνους λιπαρών από υδροσυλλέκτες για κάθε 24 ώρες λειτουργίας. Αυτό το νερό διέρχεται μέσω ενός διαχωριστή με «καθαρό» νερό από την απόρριψή τους στη θάλασσα και το πετρέλαιο αποθηκεύεται για περαιτέρω διάθεση. Τα βιβλία καταγραφής του πετρελαίου, εμπεριέχουν όλες τις κινήσεις εκκενώσεως και διάθεσης όλων των επί του σκάφους ελαιωδών υδάτων και των αποβλήτων τα έγγραφα, είναι μια νομική απαίτηση για όλα τα σκάφη [16].

Παράρτημα III-MARPOL

Αυτό καλύπτει όλα τα απόβλητα που απαιτούν ειδική επεξεργασία ή / και διάθεση και περιλαμβάνει χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία φωτογραφιών , στεγνό καθάρισμα, εκτύπωση κατάστημα, λαμπτήρες φθορισμού και ατμούς υδραργύρου και μπαταρίες. Ένα κρουαζιερόπλοιο που μεταφέρει 3.000 επιβάτες μπορεί να δημιουργήσει έως και 68 λίτρα φωτο-χημικών ουσιών ανά ημέρα [16]

Παράρτημα IV-MARPOL

Το παράρτημα αυτό καλύπτει τα λύματα και τις υδάτινες απορροές. Μαύρο νερό θεωρείται ότι είναι στερεά ανθρώπινα απόβλητα και τα απόβλητα από ιατρικές εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με εκτιμήσεις τα κρουαζιερόπλοια παράγουν μεταξύ 20 και 40 λίτρα ανά άτομο την ημέρα, εξαρτάται από τον αριθμό των επιβατών. Σύμφωνα με το παράρτημα IV επιτρέπεται η εκφόρτιση ακατέργαστων λυμάτων στην «ανοικτή

θάλασσα», αλλά μόνο επεξεργασμένα λύματα μπορούν να απορρίπτονται εντός 12 μιλίων από την ακτή. Δεν επιτρέπονται απορρίψεις εντός 4 μιλίων από την ακτή. Τα πλοία που είναι μέλη του Διεθνούς Ποινικού Δικαστηρίου επιτρέπονται να απορρίπτουν απόβλητα που έχουν υποστεί επεξεργασία επί του σκάφους μόνο εάν πληρούν τις προδιαγραφές των θαλασσών στις οποίες απορρίπτονται [16].

Πρόσθετοι περιορισμοί εκφόρτισης σε μαύρο νερό μπορεί επίσης να επιβάλλονται από ορισμένες μεμονωμένες χώρες εντός των χωρικών τους υδάτων, υπό τα δικαιώματά τους σύμφωνα με τα άρθρα UNCLOS. Το γκρίζο νερό δε θεωρείται ότι είναι λύματα, αλλά νερό που προκύπτει από τα ντους, πλυντήρια πιάτων, πλυντήρια, κλπ. Εκτιμάται ότι τα κρουαζιερόπλοια παράγουν μεταξύ 120 και 300 λίτρα/άτομο/ημέρα. Δεν υπάρχουν περιορισμοί εκφόρτισης βάσει της MARPOL 73/78 για τις απορρίψεις των γκρίζων υδάτων, ακόμη και αν οι απορρίψεις μπορεί να περιέχουν άζωτο και φώσφορο και ενδεχομένως, κολοβακτηριοειδή. Η ΕΕ και ορισμένες άλλες χώρες, ωστόσο, επιβάλλουν τους δικούς τους περιορισμούς για τα χωρικά ύδατα [16].

Παράρτημα V-MARPOL

Περίπου 50-70 τόνοι στερεών αποβλήτων μπορούν να δημιουργηθούν κάθε εβδομάδα από ένα πλοίο που μεταφέρει 3.000 επιβάτες. Αυτά τα απορρίμματα αποτελούνται από γυαλί, κασσίτερος, πλαστικό, χαρτί, χαρτόνι, δοχεία από χάλυβα, τα λίπη της κουζίνας, απόβλητα κουζίνας και απόβλητα τροφίμων. Σε γενικές γραμμές τα ανακυκλώσιμα υλικά διαχωρίζονται και αποθηκεύονται για διάθεση στην ξηρά ή αντιμετωπίζονται επί του σκάφους (δηλαδή, γυαλί σύνθλιψη). Περίπου 75-85% των υπόλοιπων αποβλήτων που αποτεφρώνονται (ανάλογα με την ηλικία των πλοίων και των εγκαταστάσεων), με την τελική τέφρα να απορρίπτεται στη θάλασσα, όταν επιτρέπεται βάσει της MARPOL 73/78 ή να αποθηκεύεται για εκφόρτωση στο λιμάνι. Τα περισσότερα πλαστικά αποθηκεύονται για διάθεση σε εγκαταστάσεις στην ξηρά, καθώς υπάρχει πλήρης απαγόρευση απόρριψης των πλαστικών στη θάλασσα και της καύσης ορισμένων πλαστικών [16].

Παράρτημα VI-MARPOL

Ενώ δεν ταξινομείται γενικά ως «αληθινό» ρεύμα αποβλήτων, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σημαντικό υποπροϊόν όλων των πλοίων και είναι σχετική με τις επιπτώσεις των κρουαζιερόπλοιων που έχουν στο περιβάλλον. Για οικονομικούς λόγους πολλά πλοία χρησιμοποιούν βαρύ μαζούτ το οποίο έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (90% υψηλότερο από τη βενζίνη ή το συμβατικό ντίζελ). Οι εκπομπές από την καύση αυτού του τύπου καυσίμου περιλαμβάνει υψηλά επίπεδα

του οξειδίου του αζώτου, διοξείδιο του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονάνθρακες [16].

Μερικά κρουαζιερόπλοια ψάχνουν τώρα εναλλακτικούς, καθαρότερους τύπους κινητήρων και καυσίμων χρησιμοποιώντας ιδιαίτερα αεριοστρόβιλους που είναι πολύ αποτελεσματικοί και που έχουν χαμηλές εκπομπές ρύπων. Τα κρουαζιερόπλοια έχουν μια συνεχή ανάγκη για επικουρική δύναμη για να ανταποκριθούν σε φωτισμό και αερισμό απαιτήσεις τόσο στη θάλασσα όσο και στο λιμάνι, οι οποίες παρέχονται από τις γεννήτριες του πλοίου. Λόγω τεχνικών περιορισμών, όπως η σταδιακή και η υψηλή ζήτηση, αυτό δεν είναι πάντα δυνατό για τα πλοία που πρέπει να λειτουργούν από ένα ρεύμα. Έτσι οι γεννήτριες πρέπει να λειτουργούν συνεχώς, ενώ στο λιμάνι που φιλοξενείται προσθέτει στην τοπική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Αέριες εκπομπές προκύπτουν και μέσα από τα αέρια του αποτεφρωτήρα καυσαερίων, ιδιαίτερα αν τα πλαστικά καίγονται. Κατά την καύση των πλαστικών μπορεί να παράγονται διοξίνες και άλλα βαρέα μέταλλα [16].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ΕΕ δημοσίευσε το 2006 μια σύσταση (2006/339 / ΕΚ), η οποία προωθεί τη χρήση ηλεκτροδότησης από την ξηρά πλοίων σε λιμένες της ΕΕ ειδικά για να αντιμετωπίσει τα ζητήματα ποιότητας του αέρα και την ηχορύπανση στις προβλήτες που βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές [17].

1.1.1.2 Επεξεργασία αποβλήτων επί του πλοίου

Τα απόβλητα μπορούν να αντιμετωπιστούν με διάφορους τρόπους στα πλοία. Οι μέθοδοι επεξεργασίας, παρά τις απαιτήσεις της MARPOL 73/78, εξαρτώνται από την ηλικία του σκάφους, τις εγκαταστάσεις επί του σκάφους και την περιβαλλοντική δέσμευση του ιδιοκτήτη. Οι κοινές μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων αναφέρονται στον Πίνακα 1.2 [18].

Πίνακας 1.2. Επιλογές επεξεργασίας αποβλήτων επί του πλοίου [18].

Συμπιεστές	Μειώνει τον όγκο με συμπίεση καταστεί δυνατή την αποθήκευση έως ότου τα απόβλητα μπορούν να διατεθούν στη στεριά
Θρυμμάτισης	Μειώνει τα υπολείμματα τροφίμων σε λεπτά τεμαχίδια που μπορούν στη συνέχεια να εκπλυθούν έξω από το μηχάνημα και να αποφορτιστούν στη θάλασσα
Μύλος	Μειώνει το χαρτί και το χαρτόνι σε παπιέ μασέ το οποίο μπορεί στη συνέχεια να απορριφθεί στη θάλασσα
Τεμαχιστής	Χρησιμοποιείται για να αλέσει κόκκαλα, μέταλλο, γυαλί και πλαστικό τα οποία μπορούν στη συνέχεια να αποθηκευθούν είτε απορριφθούν στη θάλασσα
Αποτεφρωτήρας	Χρησιμοποιείται για την καύση απορριμμάτων που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν και εμπίπτουν στις MARPOL παράρτημα V, αυτό αποκλείει όλα τα επικίνδυνα απόβλητα και τα περισσότερα πλαστικά. Η τέφρα πυθμένα στη συνέχεια απομακρύνεται και είτε αποβάλλεται στη θάλασσα ή αποθηκεύεται για εκφόρτιση στην ξηρά
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων	Μια ποικιλία από εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία και των δύο γκρι και μαύρο νερό. Σύγχρονες εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν προηγμένα συστήματα καθαρισμού του νερού (ΕΠΕ) και βιοαντιδραστήρες μεμβρανών

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και πιο συγκεκριμένα τα καινοτόμα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Δεδομένου ότι η παρούσα τάση είναι να ενισχύσει τα υφιστάμενα πρότυπα εκκένωσης, οι εταιρείες έχουν αναπτύξει διάφορους τύπους διαχείρισης αποβλήτων με στόχο [18]:

- Την ελαχιστοποίηση της παραγόμενης ποσότητας των αποβλήτων (χρήση συσκευών χαμηλής ροής, συλλογής κενού και συστήματα συγκέντρωσης αποβλήτων, για παράδειγμα) και τη μείωση της ζημιογόνου για το περιβάλλον, για παράδειγμα με τη χρήση βιοδιασπώμενων απορρυπαντικών.
- Την ανάπτυξη συστημάτων για την επεξεργασία λυμάτων επί του σκάφους. Έτσι, οι στρατηγικές συνίστανται στην πρόληψη ή τον έλεγχο της ρύπανσης.

Σε σύγκριση με τα χερσαία συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων οι απαιτήσεις για τα συστήματα των πλοίων είναι διαφορετικές. Για παράδειγμα απαιτείται μικρό βάρος, ελάχιστο κόστος συντήρησης και μικρότερη συχνότητα συντήρησης, αντοχή στους κραδασμούς, λειτουργία του συστήματος με ελάχιστο θόρυβο και παρουσίασης ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας [18].

Από τον Πίνακα 1.2 συμπεραίνεται ότι εκτός από τα λύματα και τις αέριες εκπομπές τα πλοία και ιδιαίτερα τα κρουαζιερόπλοια που φιλοξενούν καθημερινώς πολύ κόσμο μπορούν να έχουν και στερεά απόβλητα. Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μια σύντομη αναφορά στις μεθόδους επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων [18].

Μια από αυτές τις μεθόδους είναι μηχανήμα κοπής και συμπιεστής στερεών αποβλήτων. Οι μηχανικές μέθοδοι μπορούν να μειώσουν τον όγκο των αποβλήτων και να διευκολύνουν την αποθήκευση και μεταφορά τους. Το μηχανήμα κοπής και ο συμπιεστής μπορούν να λειτουργούν και να διαχειρίζονται ταυτόχρονα διάφορους τύπους απορριμμάτων ή κάθε είδος χωριστά, όπως γυαλί, χαρτί, μέταλλο και πλαστικό [18].

Τα υπολείμματα των τροφίμων μπορούν να υποστούν επεξεργασία σε μηχανήμα κοπής-συμπίεσης, αλλά η αποθήκευση των συμπιεσμένων υπολειμμάτων πρέπει να γίνεται με τρόπο που να αποφεύγεται η επαφή με ζώφια, παθογενείς οργανισμούς και οσμές [18].

Η πολτοποιητική μηχανή είναι μια άλλη μέθοδος μείωσης και επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων. Δύναται να πραγματοποιηθεί πολτοποίηση χαρτιού, φαγητού και πολύ σκληρού χαρτιού. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το μέγεθος των αποβλήτων και αναμειγνύονται σε νερό δημιουργώντας ένα είδος λάσπης που μπορεί να απορριφθεί στη θάλασσα. Στις περιπτώσεις που απαγορεύεται η απόρριψη στη θάλασσα, τα απόβλητα δεν αναμειγνύονται με νερό. Η διαδικασία του πολτοποιητή είναι απλή: τα στερεά απόβλητα πολτοποιούνται σε μικρά κομμάτια, διαβρέχονται από θαλασσινό νερό δημιουργώντας λάσπη και πολτοποιούνται πάλι (το τελικό προϊόν είναι 2% στερεό). Στη μηχανή περιλαμβάνεται ένα κουτί που συγκρατεί τα κομμάτια που δεν πολτοποιήθηκαν. Τα πλαστικά που κατά λάθος φορτώθηκαν στον πολτοποιητή παραμένουν εκεί μέχρι να καθαρισθεί η μηχανή [18].

Η διαδικασία της καύσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του όγκου των χαρτιών και πλαστικών που υπάρχουν στα απορρίμματα των πλοίων, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τον όγκο των αποβλήτων για αποθήκευση. Βέβαια το κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού είναι υψηλό και ο διαθέσιμος χώρος πάνω στο πλοίο είναι περιορισμένος. Η καύση είναι κατάλληλη για την καταστροφή χαρτιών, πλαστικών, απορριμμάτων τροφίμων, ιατρικών απορριμμάτων, εύφλεκτων αποβλήτων, κ.ά [19].

Η καύση χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα εμπορικά πλοία για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Τα στερεά απόβλητα αρχικά καίγονται σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο. Τα εύφλεκτα συστατικά των αποβλήτων όπως το χαρτί, τα πλαστικά και άλλα οργανικά μίγματα χρησιμοποιούνται ως καύσιμο ενώ όταν χρειάζεται προστίθεται καύσιμο υδρογονάνθρακα για να επιτευχθεί ζεστή φλόγα. Τα μειονεκτήματά της είναι το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης και το λειτουργικό κόστος, οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και οι τεχνικές δυσκολίες στη λειτουργία των αποτεφρωτήρων [19].

Τα μικροσυστήματα αυτόματης αεριοποίησης (Micro Auto Gasification System, MAGS) αποτελούν απλή τεχνολογία, φιλική ως προς το περιβάλλον και οικονομικά συμφέρουσα. Αυτά τα συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε χερσαίες και θαλάσσιες δραστηριότητες, επίσης με εφαρμογή στη διαχείριση των αποβλήτων [20].

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μετατροπή των αποβλήτων, όπως χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά, χημικά, ρούχα, πετρέλαιο, διαλύτες, τροφές, μηχανέλαιο και άλλα οργανικά απορρίμματα σε αέριο απομακρύνοντας ταυτόχρονα τις ουσίες που μπορεί να αποτελούν πιθανούς ρυπαντές. Στη συνέχεια η ενέργεια του παραγόμενου αερίου χρησιμοποιείται για την επίτευξη της όλης διαδικασίας [20].

Τα MAGS μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση όλων των οργανικών αποβλήτων συμπεριλαμβανομένων επικίνδυνων ή βιοενεργών. Τα μέταλλα και τα γυαλιά που υπάρχουν στα απόβλητα μπορούν να ανακυκλωθούν. Σήμερα τα MAGS χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποστείρωση ανόργανων απορριμμάτων και σε απομακρυσμένες περιοχές [21].

Είναι γεγονός ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα διαχείρισης των απορριμμάτων από τρόφιμα το αντιμετωπίζουν τα κρουαζιερόπλοια και τα πολεμικά πλοία.

Γενικά υπάρχουν τέσσερις κύριοι τρόποι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση των υπολειμμάτων τροφών πάνω στο πλοίο [22]:

- Διαδικασία καύσης, η οποία με βάση τους νέους κανονισμούς της ΕΕ αποτελεί το λιγότερο επιθυμητό τρόπο διαχείρισης απορριμμάτων.
- Πολτοποιητής τροφίμων ως ένα πιο ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων.
- Αποθήκευση των πολτοποιημένων προϊόντων και απόρριψή τους σαν τροφή στα ψάρια στη θάλασσα ή παράδοσή τους σε χερσαίες εγκαταστάσεις.

- Αποθήκευση των μη επεξεργασμένων ή εν μέρει επεξεργασμένων απορριμμάτων τροφίμων και παράδοση αυτών αργότερα σε κατάλληλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

Σύμφωνα με τον Inter-Governmental Maritime Consultative Organization (IGCMO) ο ρυθμός δημιουργίας απορριμμάτων που σχετίζονται με τα τρόφιμα πάνω στο πλοίο κυμαίνεται μεταξύ 1,4 και 2,4 kg ανά ημέρα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό δημιουργίας υπολειμμάτων τροφών είναι τεχνικοί, οικονομικοί, πολιτισμικοί, συμπεριλαμβανομένης της εθνικής κουζίνας. Επίσης επηρεάζεται από τον σκοπό, τους στόχους, την ένταση και τις λεπτομέρειες της έρευνας που χρησιμοποιήθηκε για να βρεθεί ο ρυθμός [23].

Γενικότερα όμως σήμερα γίνεται μια προσπάθεια διαχείρισης των στερεών αποβλήτων όπως και στη στεριά με τη λογική ότι ανακυκλώνεται και ανακτάται το μεγαλύτερο ποσοστό των αποβλήτων, με την καύση να είναι το λιγότερο επιθυμητό στάδιο επεξεργασίας.

1.1.2 Σύγχρονα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων των πλοίων

Σήμερα ορισμένα πλοία διαθέτουν διάφορα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης των αποβλήτων, μερικά από τα οποία είναι τα ακόλουθα [24]:

- Αποτεφρωτήρες με αυτόματη τροφοδότηση, έλεγχο ανάφλεξης και εξοπλισμό αυτόματης διαχείρισης της στάχτης.
- Μηχανήματα κοπής που μειώνουν το μέγεθος των αποβλήτων για ευκολότερη μεταφορά.
- Συμπιεστές στερεών αποβλήτων για μείωση του όγκου των υλικών που πρέπει να αποθηκευτούν.
- Πολτοποιητικές μηχανές για μεταφορά και απόρριψη των υπολειμμάτων τροφίμων.
- Εξοπλισμό αποξήρανσης για την απομάκρυνση του επιπλέον νερού από τα πολτοποιημένα τρόφιμα και τη λάσπη black water και gray water.
- Δεξαμενές για βιολογική επεξεργασία των black water και καταστροφή των παθογενών οργανισμών.
- Ελαιοδιαχωριστές για τις σεντίνες.

Είναι φανερό πως το ενδιαφέρον εστιάζεται στην ανάπτυξη νέων μεθόδων διαχείρισης έρματος που να εκπληρώνουν τους στόχους και τα κριτήρια της πρακτικής της ασφαλούς διαχείρισης έρματος. Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που γίνεται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, μέχρι σήμερα πραγματοποιείται μια προσπάθεια ανάπτυξης εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης έρματος πάνω στο πλοίο, όπως:

- Συστήματα διήθησης και φυσικού διαχωρισμού
- Χημικά βιοκτόνα-οξειδωτικά και μη
- Θερμικές τεχνικές
- Τεχνικές ηλεκτρικών παλμών και πλάσματος παλμών
- Υπεριώδη ακτινοβολία
- Ακουστικά συστήματα υπερήχων
- Μαγνητικά πεδία
- Ανεπάρκεια οξυγόνου
- Επεξεργασία με όζον
- Βιολογικές μεθόδους
- Χρήση ειδικών βαφών
- Συνδυασμούς των ανωτέρω

Στις ακόλουθες παραγράφους περιγράφονται συνοπτικά κάποιες από αυτές τις μεθόδους.

Συστήματα διήθησης και φυσικού διαχωρισμού

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε ποικίλες εφαρμογές. Το μέγεθος και το είδος του φίλτρου τέτοιων συστημάτων εξαρτάται από το μέγεθος και τον τύπο των σωματιδίων που πρέπει να απομακρυνθούν. Η διήθηση μπορεί και απομακρύνει όλα τα σωματίδια κάτω από ένα προκαθορισμένο μέγεθος [25].

Σήμερα τα συστήματα διήθησης και φυσικού διαχωρισμού χρησιμοποιούνται ευρέως στα πλοία ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά του νερού. Το μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι πρέπει γίνεται συχνός καθαρισμός των φίλτρων, είτε χειρωνακτικά είτε αυτόματα με συστήματα ανάστροφης πλύσης. Η τελευταία μέθοδος προτιμάται καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη, είναι πιο υγιεινή και πιο ασφαλής, αποτελεσματική και είναι χαμηλότερου κόστους. Αν και σήμερα το μέγεθος των υφιστάμενων φίλτρων δεν επιτρέπει την χρήση τους στα πλοία, ο

σχεδιασμός και η ανάπτυξη συστημάτων διήθησης συνεχώς βελτιστοποιείται, έτσι ώστε να είναι συμβατά με τις νέες τεχνολογίες των πλοίων [26].

Χημικά βιοκτόνα-οξειδωτικά και μη

Οξειδωτικά βιοκτόνα, ιδιαίτερα το χλώριο και το όζον, χρησιμοποιούνται ευρέως στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Δεκάδες μελέτες έχουν αποδείξει ότι σε γενικές γραμμές το χλώριο είναι ένα αποτελεσματικό βιοκτόνο, καθώς το ισχυρό αυτό οξειδωτικό καταστρέφει τις κυτταρικές μεμβράνες και έτσι αδρανοποιεί τους ζώντες οργανισμούς. Τα μη οξειδωτικά βιοκτόνα περιλαμβάνουν έναν μεγάλο αριθμό ενώσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία για έλεγχο της ανάπτυξης οργανισμών σε πύργους ύδατος ψύξης και σε άλλες περιπτώσεις, όπου παρατηρείται συσσώρευση μεγάλης ποσότητας βιολογικού υλικού και ιζήματος. Τα μη οξειδωτικά βιοκτόνα, όπως τα εντομοκτόνα, παρεμβαίνουν στις λειτουργίες αναπαραγωγής, στο κεντρικό νευρικό σύστημα, παρεμποδίζοντας π.χ. την αναπνοή ή επηρεάζοντας το μεταβολισμό των οργανισμών [27].

Η χρήση χημικών βιοκτόνων προσφέρεται ως λύση για την επεξεργασία θαλασσέριματος από την άποψη της ευκολίας εφαρμογής τους. Βιοκτόνα μπορεί να προστεθούν σε θαλάσσερμα με την χρήση της συμπυκνωμένων στερεών χημικών ή να παραχθούν ηλεκτρολυτικά από θαλάσσιο νερό με συστήματα δοσομετρικών αντλιών, συστήματα αυτόματων αισθητήρων κ.λπ. Θετικό γεγονός είναι ότι και οι δύο αυτές μέθοδοι εφαρμογής βιοκτόνων χρησιμοποιούνται σε στα πλοία σήμερα, αν και όχι για επεξεργασία θαλασσέριματος [27].

Θερμικές Τεχνικές

Υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται συχνά για την αποστείρωση ύδατος σε πολλές και ποικίλες εφαρμογές. Η χρήση πλεονάζουσας θερμότητας από το σύστημα πρόωσης και το δίκτυο ψύξης ενός πλοίου αποτελεί μια ελκυστική μέθοδο για την αδρανοποίηση οργανισμών στο θαλάσσερμα, καθώς η ενέργεια αυτή αποτελεί υποπροϊόν χωρίς οικονομική αξία, επειδή αποκλείει το ενδεχόμενο απόρριψης χημικών παραπροϊόντων ή υπολειμμάτων στο περιβάλλον [28].

Η τεχνική αυτή μπορεί αν συνδυαστεί με τη μέθοδο ανταλλαγής έριματος εν πλω. Συγκεκριμένα έχει προταθεί να πραγματοποιείται η ανταλλαγή θαλασσέριματος με νερό που προέρχεται από την ψύξη των μηχανών του πλοίου. Η θερμοκρασία του νερού ψύξης υπερβαίνει τους 45°C και έχει αποδειχθεί ότι δεν περιέχει ζωντανό πλαγκτόν. Όμως αυτή η μέθοδος δεν φαίνεται να είναι αποτελεσματική για την επεξεργασία ολόκληρης της ποσότητας θαλασσέριματος στο πλοίο και δε συνίσταται

για επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη θέρμανση του θαλασσέριματος με τη χρήση της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων των μηχανών των πλοίων [28].

Τεχνικές ηλεκτρικών παλμών και πλάσματος παλμών

Η εφαρμογή παλμικού ηλεκτρικού πεδίου ή ενός ενεργειακού παλμού σε νερό έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να θανατώσει θαλάσσιους οργανισμούς. Τα συστήματα ενεργειακού παλμού παράγουν ένα ηλεκτρικό πεδίο, ενώ τα συστήματα πλάσματος παλμών κατανέμουν ένα παλμό υψηλής ενέργειας εντός στήλης ύδατος. Επειδή και τα δύο συστήματα είναι αυτοματοποιημένα και δεν απαιτούν επιτήρηση κατά τη λειτουργία, η πολυπλοκότητά τους από τεχνικής άποψης δε θα πρέπει να είναι σοβαρό μειονέκτημα, εάν το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ βλαβών εξοπλισμού είναι μεγάλο και η επισκευή μπορεί να γίνει με αντικατάσταση επιμέρους εξαρτημάτων του εξοπλισμού [29].

Αν και τα συστήματα ηλεκτρικών παλμών και πλάσματος παλμών σχεδιάζονται με μεγάλη διάρκεια ζωής και προβλέπεται να έχουν μικρές απαιτήσεις συντήρησης, υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με τα πρακτικά προβλήματα λειτουργίας και συντήρησης αυτών, καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα από εφαρμογές των συστημάτων αυτών σε πλοία [29].

Υπεριώδης ακτινοβολία

Η επεξεργασία ύδατος με υπεριώδη ακτινοβολία για την αδρανοποίηση βακτηρίων είναι μια καλά δοκιμασμένη μέθοδος. Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι αποτελεσματική στην καταστροφή μικροοργανισμών, αλλά όχι στην απομάκρυνση ή αδρανοποίηση ανώτερων οργανισμών και κυστών ή σπόρων πρωτόζωων, μυκήτων, μικροαλγών και μακροαλγών. Επιπρόσθετα, η αποτελεσματικότητα της υπεριώδους απολύμανσης μειώνεται σημαντικά σε νερά που περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία προέρχονται είτε από το ίδιο το νερό που αντλήθηκε ως έρμα, είτε δημιουργούνται από χημικές διεργασίες στις δεξαμενές του πλοίου [30].

Ακουστικά συστήματα υπερήχων

Τα συστήματα υπερήχων χρησιμοποιούν μετατροπείς ηχητικών σωμάτων, οι οποίοι εφαρμόζονται στο υπό επεξεργασία νερό. Η ηχητική ενέργεια που προέρχεται από χαμηλές συχνότητες προκαλεί σπηλαιώση και οι επακόλουθες μηχανικές καταπονήσεις καταστρέφουν τα κύτταρα, με αποτέλεσμα τον άμεσο θάνατο ή την ευαισθησία σε άλλες ουσίες, οι οποίες τελικά θα τα καταστρέψουν. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε πειραματικό στάδιο, σε συνδυασμό με την επεξεργασία του νερού με

όζον, καθώς οι οργανισμοί που μπορεί να επιβιώσουν από τους υπέρηχους καταστρέφονται εν συνεχεία από το όζον. Υπέρηχοι υψηλής συχνότητας μελετώνται για την αποτελεσματικότητά τους σε σχέση με την εκδίωξη θαλάσσιων οργανισμών στην περιοχή λήψης έρματος και για τη θανάτωση του γόνου των μαλακίων και τη διάσπαση των κελυφών νεαρών μυδιών [31].

Βιολογικές Μέθοδοι

Οι βιολογικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να ελεγχθούν ανεπιθύμητα είδη, περιλαμβάνουν την εισαγωγή πρόσθετων οργανισμών, οι οποίοι είναι θηρευτές, παθογόνα ή ανταγωνιστές των ειδών ειδικού ενδιαφέροντος. Τέτοιες τεχνικές έχουν αποδειχτεί χρήσιμες στον έλεγχο κάποιων εντόμων, όταν το βιο-ελεγχόμενο είδος αναπτύσσει πληθυσμούς ικανούς να επιβιώσουν και να αναπαράγονται μόνοι τους. Η βιολογική επεξεργασία επίσης περιλαμβάνει τη χρήση προχωρημένων μεθόδων βιοτεχνολογίας με την τροποποίηση των γενετικών χαρακτηριστικών ενός οργάνου. Το εάν οι βιολογικές τεχνικές μπορεί να είναι αποτελεσματικές στην απομάκρυνση, μείωση ή αποτροπή οργανισμών που ζουν στο θαλάσσερμα και το ίζημα, είναι ακόμη άγνωστο. Πάντως η χρησιμοποίηση γενετικώς τροποποιημένων οργανισμών είναι απίθανο ότι θα δώσει μια λύση στο πρόβλημα διαχείρισης του θαλασσέρματος στο άμεσο μέλλον [32].

Μαγνητικά Πεδία

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το προς επεξεργασία νερό διέρχεται από μαγνητικό πεδίο συγκεκριμένης μαγνητικής ροής, η οποία παράγεται από σιδηρομαγνητικά υλικά ή ηλεκτρομαγνήτες. Οι βιολογικές και χημικές επιδράσεις μαγνητικών πεδίων δεν είναι πλήρως κατανοητές, αλλά πιστεύεται ότι τα ανόργανα και οργανικά συστατικά ζωντανών οργανισμών μέσα στο νερό μεταβάλλονται από το μαγνητικό πεδίο. Μέχρι στιγμής αυτή η μέθοδος δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε επεξεργασία θαλασσινού νερού [33].

Οι παραπάνω ενότητες περιέγραψαν μεθόδους και τεχνικές για τη διαχείριση του έρματος. Ήδη Διεθνείς Οργανισμοί, όπως ο International Maritime Organization (IMO) και άλλοι ερευνητικοί φορείς, μελετούν νέες προσεγγίσεις, ώστε τα νέα πλοία που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται να αντιμετωπίσουν το σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκύπτει από τη χρήση του θαλάσσιου έρματος. Τροποποιήσεις στο σχεδιασμό που μειώνουν την ανάγκη μεταφοράς θαλασσέρματος, χωρίς να επηρεάζουν την ασφάλεια και το αξιόπλοο του πλοίου, αναζητούνται με δυνατότητες για [12]:

- Περιορισμό των συνολικών απαιτήσεων μεταφοράς θαλασσέρματος.
- Βελτίωση της ασφάλειας κατά την ανταλλαγή θαλασσέρματος στη θάλασσα.
- Ενσωμάτωση σχεδιασμών κατασκευής δικτύων που κατακρατούν μικρότερη ποσότητα ιζήματος και είναι ευκολότερα στον καθαρισμό.

Οι πιο καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων θα συζητηθούν και θα αναλυθούν στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας.

2 Διεθνές νομοθετικό και θεσμικό πλαίσιο για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος

Η πρώτη συστηματική αντιμετώπιση του θέματος της θαλάσσιας ρύπανσης έγινε στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το ανθρώπινο περιβάλλον (United Nations Conference on Human Environment), ή διάσκεψη της Στοκχόλμης, το 1972. Η πρώτη αναφορά στο θέμα είχε γίνει ωστόσο στα ψηφίσματα της πρώτης διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το δίκαιο της θάλασσας (First United Nations Conference on the Law of the Sea) το 1958. Διεθνές συμβούλιο για εξερεύνηση της θάλασσας (International council for exploitation of the sea), ήταν ο πρώτος οργανισμός που ασχολήθηκε με προβλήματα θαλάσσιας ρύπανσης και ο οποίος ιδρύθηκε το 1902 [34]. Η προσέγγιση του στα θέματα της θαλάσσιας ρύπανσης είναι περιφερειακή, καθώς έχει ορισθεί σαν αποκλειστικός τομέας ευθύνης του ο βόρειος Ατλαντικός και η Βαλτική θάλασσα. Πρόκειται περί ενός επιστημονικού οργανισμού χωρίς δικαιοδοσία έκδοσης κανονισμών.

Η διακυβερνητική ωκεανογραφική επιτροπή της Unesco Intergovernmental Océanographie Commission ιδρύθηκε το 1950. Το 1950 η UNESCO δημιούργησε αυτό το αυτόνομο σώμα προκειμένου να προάγει, να σχεδιάσει και να υλοποιήσει, μέσα από συντονισμένη δράση των κρατών μελών του, τη διεθνή συνεργασία σε προγράμματα θαλάσσιας έρευνας και ελέγχου, καθώς επίσης να προσφέρει υπηρεσίες στον ωκεανό [35].

Το μακροπρόθεσμο εκτεταμένο πρόγραμμα για την εξερεύνηση και έρευνα των ωκεανών Long-Term Expanded Programme for Oceanic Exploration and Research (LEPOR) και η παγκόσμια διερεύνηση της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος Global Investigation of Pollution of the Marine Environment (GIPME) και το ενδιαφέρον του Οργανισμού Γεωργίας και Τροφίμων, FAO, ειδικά για τη διατήρηση των αλιευτικών αποθεμάτων όπως και της UNESCO μέσω του IOC, οδήγησαν σε μια παγκοσμίου κλίμακας μελέτη του θαλάσσιου περιβάλλοντος, που ξεκίνησε το 1969. Αυτό κατέληξε στην ανάπτυξη του LEPOR το οποίο και αποτέλεσε αργότερα το πλαίσιο για την επιστημονική δραστηριότητα του IOC, μια από τις δραστηριότητες του οποίου υπήρξε η GIPME [36].

Η δραστηριότητα των οργάνων αυτών ήταν κυρίως επιστημονικής φύσεως. Μολονότι μπορούσαν να συστήσουν δράση, δεν μπορούσαν να την επιβάλλουν. Η

ουσιαστική τους χρησιμότητα έγκειται στο γεγονός ότι τα αποτελέσματα της δραστηριότητας τους αποτέλεσαν τη βάση για ορισμένες περιφερειακές συμβάσεις. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού η Διεθνής Συντονιστική Ομάδα ή ICG (International Coordinating Group) του IOC ανέπτυξε ένα αποτελεσματικό πλάνο εργασίας σε περιφερειακή βάση, με απώτερο όμως σκοπό την υποστήριξη ενός παγκόσμιου συστήματος παρακολούθησης της θαλάσσιας ρύπανσης. Ειδικά για τα θέματα της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο έγιναν από τις ενικές συμβάσεις Draft Treaties dealing with Oil Pollution from Ships το 1926 και 1934 οι οποίες όμως δεν τέθηκαν ποτέ σε ισχύ [35].

Ο διακυβερνητικός ναυτιλιακός συμβουλευτικός οργανισμός (Inter-Governmental Maritime Consultative Organization (IMCO), σήμερα: IMO δημιουργήθηκε αργότερα. Μια γενική αρχή που ίσχυε ανέκαθεν για τα νομικά θέματα ενός πλοίου είναι και αυτή που ορίζει πως ένα σκάφος υπόκειται στη νομοθεσία του κράτους τη σημαία του οποίου φέρει, σχεδόν για όλα τα θέματα, του ελέγχου της ρύπανσης και συμπεριλαμβανομένου και της ασφάλειας του πλοίου. Έως τότε κάθε κράτος με ναυτιλία ή έθετε δικούς του κανονισμούς για τα πλοία του ή δεν έθετε καθόλου [35].

Με τη ναυτιλιακή διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών που έγινε στη Γενεύη το 1948 τη Σύμβαση που δημιούργησε τον IMCO παρατηρούνται αλλαγές στον τρόπο αντιμετώπισης της λειτουργίας ενός πλοίου. Ο οργανισμός αυτός, με έδρα το Λονδίνο, ξεκίνησε να λειτουργεί το 1958 και μέχρι το 1959 το ιδρυτικό του κείμενο υπογράφηκε από αρκετές χώρες ώστε να δημιουργηθεί η ειδικευμένη υπηρεσία (agency) των Ηνωμένων Εθνών. Μέχρι τη στιγμή της δημιουργίας του προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP), ο IMCO ήταν ο μόνος οργανισμός στον τομέα της προστασίας και διατήρησης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Οι σπουδαιότερες από τις συμβάσεις τις οποίες επέβαλε ο IMCO είναι οι ακόλουθες [35]:

1) Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης της Θάλασσας από Πετρέλαιο, 1954 (International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil): η αρχική σύμβαση θέσπισε την απαγόρευση απόρριψης πετρελαίου και μιγμάτων του με περιεκτικότητα πάνω από 100 ppm στα δεξαμενόπλοια άνω των 150 κόρων ολικής χωρητικότητας και λοιπά πλοία άνω των 500 m³, σε ορισμένες θαλάσσιες ζώνες και σε απόσταση μικρότερη από 50 μίλια από την πλησιέστερη ακτή. Η διάταξη για τις θαλάσσιες ζώνες δεν εφαρμόστηκε για τα εμπορικά πλοία που προσέγγιζαν σε λιμάνια που δε διέθεταν ευκολίες υποδοχής πετρελαϊκών

καταλοίπων. Η τροποποίηση στη συνέχεια του 1962 έθεσε ακόμα χαμηλότερα όρια απόρριψης πετρελαίου. Στη συνέχεια το 1969 υπήρξε και δεύτερη τροποποίηση η οποία το πλοίο πρέπει να διατηρεί βιβλία και τα πλοία επιτρέπονταν να απορρίψουν 60λίτρα ανά μίλι.

- 2) Διεθνής Σύμβαση σχετικά με την Επέμβαση στην Ανοιχτή Θάλασσα σε Περιπτώσεις Ατυχημάτων Ρύπανσης Πετρελαίου, 1969 (International Convention Relating to Intervention on the High Seas in Cases of Oil Pollution Casualties): προοίμιο για αυτή τη σύμβαση αποτέλεσε η Διεθνής Σύμβαση σχετικά με τον Περιορισμό της Ευθύνης των Ιδιοκτητών Ποντοπόρων Πλοίων ή Σύμβαση των Βρυξελλών του 1957 (International Convention Relating to Limitation of the Liability of Owners of Seagoing Ship or Brussels Convention). Η Σύμβαση αυτή είχε σαν σκοπό τον καθορισμό ανωτάτων ορίων ευθύνης των πλοιοκτητών σε περιπτώσεις ατυχημάτων με ρύπανση πετρελαίου. Τα όρια που καθορίστηκαν με τη σύμβαση αυτή ήταν πολύ χαμηλά, πράγμα που σήμαινε πως οι ενάγοντες για ζημιές που τους προκλήθηκαν από ρύπανση πετρελαίου είχαν ελάχιστες πιθανότητες να αποζημιωθούν.

Η πρώτη μεγάλη αναφορά στη θαλάσσια ρύπανση στα πλαίσια του Δικαίου της Θάλασσας γίνεται στην UNCLOSΙ το 1958. Οι διατάξεις που αναφέρονται στην ανοιχτή θάλασσα αποσκοπούν να εξασφαλίσουν την ελευθερία διέλευσης για όλα τα κράτη στην περιοχή αυτή (freedom of passage), ειδικότερα για τη ναυσιπλοΐα, την αλιεία, την τοποθέτηση υποβρυχίων καλωδίων και σωληναγωγών.

- 3) Διεθνής Σύμβαση 1969 (αστική ευθύνη για ρύπανση με πετρέλαιο του (International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage, CLC): η σύμβαση αυτή δημιουργήθηκε ύστερα από το ατύχημα του δεξαμενόπλοιου Torrey Canyon το οποίο προσάραξε στην ανοιχτή θάλασσα της Αγγλίας. Προκειμένου να περιοριστεί η ρύπανση από το εκχυνόμενο πετρέλαιο οι τοπικές λιμενικές αρχές βομβάρδισαν το ναυαγισμένο πλοίο έτσι ώστε να καεί μεγάλο μέρος του φορτίου του. Το ατύχημα του Torrey Canyon με τη γιγαντιαία πετρελαιοκηλίδα που δημιούργησε προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές τόσο στις Αγγλικές όσο και στις Γαλλικές ακτές.

Με τη Σύμβαση αυτή παρέχεται η δυνατότητα στα παράκτια κράτη όταν συμβεί ατύχημα σε πλοίο που βρίσκεται στην ανοιχτή θάλασσα, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ρύπανση πετρελαίου στις ακτές τους, να παίρνουν κάθε αναγκαίο μέτρο προκειμένου να αποτρέψουν ή να περιορίσουν την επικείμενη ρύπανση.

Η CLC αναπτύχθηκε κατά τέτοιον τρόπον ώστε να υιοθετηθούν ομοιόμορφοι διεθνείς κανόνες για τον προσδιορισμό των θεμάτων ευθύνης και για την παροχή επαρκούς αποζημίωσης στην περίπτωση ρύπανσης πετρελαίου από πλοία. Η σύμβαση αυτή ήταν καθοριστικής σημασίας και επέφερε σημαντικές μεταβολές στο δίκαιο όχι μόνο των κρατών που την υιοθέτησαν, αλλά και εκείνων που δεν την υιοθέτησαν (π.χ. ΗΠΑ) παρέχοντας ένα μοντέλο εθνικής νομοθεσίας.

- 4) Διεθνής σύμβαση για την ίδρυση διεθνούς ταμείου για αποζημίωση για βλάβη από ρύπανση πετρελαίου του 1971 (International Convention on the Establishment of an International Fund for Compensation for Oil Pollution Damage, FUND): όταν υπογράφηκε η CLC μεταξύ των συμβαλλόμενων κρατών συμφωνήθηκε να δημιουργηθεί ένα διεθνές ταμείο για τη συμπλήρωση των ποσών που προέβλεπε η CLC. Ο κύριος λόγος ήταν ότι σε περιπτώσεις λοιπών καταστροφικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης δεν θα παρεχόταν η δυνατότητα ικανοποιητικών αποζημιώσεων. Με αυτό το σκεπτικό δημιουργείται η FUND η οποία λειτουργεί συμπληρωματικά προς την CLC και προσφέρει αποζημίωση σε περιπτώσεις όπου οι ζημιές ρύπανσης πετρελαίου ξεπερνούν τα ποσά που αυτή προσφέρει [37].
- 5) Διεθνής σύμβαση σχετικά με την Αστική Ευθύνη στο πεδίο της θαλάσσιας μεταφοράς πυρηνικών υλικών, 1971 (International Convention Relating to Civil Liability in the Field of Maritime Carriage of Nuclear Material).
- 6) Σύμβαση για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από απορρίψεις αποβλήτων και άλλων υλών του, 1972 (Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter).
- 7) Διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία, του 1973 (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL).

2.1 MARPOL-Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία

Η συγκεκριμένη σύμβαση αναλύεται και συζητείται πιο διεξοδικά στο παρόν υποκεφάλαιο καθώς πρόκειται από τις πιο σημαντικές συμβάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η MARPOL αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική Σύμβαση γιατί αποτελεί προϊόν έντονης και προσεκτικής προετοιμασίας προκειμένου να αντικαταστήσει την OILPOL του 1954 (και τα Πρωτόκολλα της). Η τελευταία μετά από πάροδο είκοσι περίπου ετών

από την εμφάνιση της δεν ήταν πια δυνατόν να καλύψει επαρκώς την εξέλιξη που επήλθε στη μεταφορά πετρελαίου και λοιπών επιβλαβών χημικών ουσιών διά θαλάσσης [36].

Η MARPOL στηρίχθηκε σε εννέα μελέτες τεχνικής φύσεως που αναφέρονταν στη ναυπήγηση των δεξαμενόπλοιων, την κατασκευή των δεξαμενών τους, τις μεθόδους φόρτωσης των δεξαμενόπλοιων, τον καθαρισμό των δεξαμενών, τα κατάλοιπα του πετρελαίου, τις επιπτώσεις από ρύπανση πετρελαίου, τη συγκέντρωση απορριμμάτων πάνω στα πλοία, τη διάθεση των παραγόμενων λυμάτων και την πρόκληση ρύπανσης από τοξικές ουσίες άλλες εκτός του πετρελαίου [36].

Τα κυριότερα σημεία της MARPOL είναι τα εξής [36]:

- 1) Η Σύμβαση αφορά σε όλα τα πλωτά μέσα κινούμενα στη θάλασσα (δηλαδή όλα τα πλοία).
- 2) Καλύπτει όλες τις περιπτώσεις της από πρόθεση ή τυχαίας ρύπανσης τόσο από πετρέλαιο όσο και από άλλες τοξικές ουσίες που μεταφέρονται χύμα ή συσκευασμένες.
- 3) Τα πετρελαιοφόρα που θα κατασκευαστούν και θα παραδοθούν μετά την 31/12/1975 εφόσον είναι χωρητικότητας μεγαλύτερης από 70.000 DWT θα πρέπει να διαθέτουν ξεχωριστές δεξαμενές έρματος (Segregated Ballast Tanks), ώστε να μην χρησιμοποιείται θαλασσινό έρμα στις δεξαμενές φορτίου, ενώ δεν επιβάλλεται να ναυπηγούνται τα δεξαμενόπλοια με δύο πυθμένες.
- 4) Οι διατάξεις της OILPOL σχετικά με τα κριτήρια απόρριψης πετρελαίου στη θάλασσα παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες εκτός από εκείνη που όριζε τη μέγιστη επιτρεπόμενη για απόρριψη ποσότητα στο 1/15.000 του φορτίου πετρελαίου των δεξαμενόπλοιων που μειώνεται στο 1/30.000.
- 5) Τα παραπάνω κριτήρια αφορούν τόσο στα "σκούρα" όσο και στα "λευκά" πετρελαιοειδή.
- 6) Απαγορεύεται απολύτως η απόρριψη πετρελαίου μέσα στις ειδικές περιοχές (Μεσόγειο, Μαύρη Θάλασσα, Βαλτική, Ερυθρά Θάλασσα, και Περσικός Κόλπος-Κάλπος Ομάν) ή έξω από αυτές αλλά εντός 50 ναυτικών μιλίων από την κοντινότερη ακτή.
- 7) Όλα τα πλοία που μεταφέρουν πετρέλαιο πρέπει να διαθέτουν σύστημα κατακράτησης και ασφαλούς απομόνωσης του πετρελαίου όπως και σύστημα φόρτωσης "από την κορυφή" για να μπορούν να κάνουν τις

φορτοεκφορτώσεις εύκολα και με ασφάλεια. Τα πλοία πρέπει να διοχετεύουν τα κατάλοιπα τους σε ειδικές εγκαταστάσεις των λιμανιών όπου φορτώνουν. Για τη συμμόρφωση τους στις παραπάνω απαιτήσεις τα δεξαμενόπλοια πρέπει να είναι εφοδιασμένα με μέσα ελέγχου της απόρριψης, διαχωρισμού νερού από το πετρέλαιο ή σύστημα διύλισης με αντλίες, σωληνώσεις κ.λ.π..

- 8) Η Σύμβαση περιέχει ειδικές προδιαγραφές για τον έλεγχο της ρύπανσης από χύδην υγρές επιβλαβείς ουσίες που χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την τοξικότητά τους. Υπολείμματα τέτοιων ουσιών μπορούν να απορρίπτονται στη θάλασσα μόνο εφόσον έχουν υποστεί τον ανάλογο καθαρισμό.
- 9) Η Σύμβαση απαγορεύει την αποχέτευση ή απόρριψη απορριμμάτων και λυμάτων από τα πλοία σε απόσταση μικρότερη των τεσσάρων μιλίων από την ακτή, την επιτρέπει όμως στη ζώνη μεταξύ 4 και 12 μιλίων από την ακτή εφόσον τα λύματα ή απορρίμματα έχουν υποστεί προηγούμενα επεξεργασία αδρανοποίησης.
- 10) Θεσπίζονται αυστηροί περιοδικοί έλεγχοι για όλα τα πλοία καθώς και βιβλίο συμβάντων για τυχόν ρύπανση ενώ βιβλίο πετρελαίου απαιτείται για τα πετρελαιοφόρα για την πλήρη παρακολούθηση των ποσοτήτων που αυτά φορτοεκφορτώνουν.

Η ΔΣ MARPOL 73/78 στο Παράρτημα V έχει προβλέψει για σχετικές εγκαταστάσεις υποδοχής καταλοίπων πλοίων. Κάθε κράτος-μέλος πλέον είναι υποχρεωμένο να παρέχει τέτοιους σταθμούς υποδοχής στα πλοία, μια υποχρέωση η οποία αναλύεται στις εξής βασικές αρχές [36]:

- Η δυναμικότητα και η τοποθεσία του σταθμού πρέπει να χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα παράδοσης επικίνδυνων ουσιών και καταλοίπων σε θέση όπου έχει εκτιμηθεί ότι υπάρχει ή θα υπάρχει ανάγκη στο μέλλον.
- Οι διαδικασίες διάθεσης πρέπει να χαρακτηρίζονται από μεθόδους και τεχνολογική υποδομή που προάγουν την προστασία του περιβάλλοντος και την ασφάλεια των εργαζομένων. Σύγχρονες μέθοδοι διαχείρισης των αποβλήτων θα πρέπει να εφαρμόζονται με σκοπό τη μείωση των ποσοτήτων και τον περιορισμό της μεταφοράς του προβλήματος διαχείρισης από τη θάλασσα στη ξηρά.

- Η λειτουργία του σταθμού πρέπει να υποβαστάζεται σε σταθερές οικονομικές βάσεις που αφορούν στη βιωσιμότητα, ανταγωνιστικότητα, λειτουργικότητα και αποτελεσματική διαχείριση (management) των πόρων που έχουν επενδυθεί στην μονάδα.
- Οι εγκαταστάσεις υποδοχής αποβλήτων πρέπει να αποτελούν μέρος μιας συλλογικής (εθνικής ή περιφερειακής) προσπάθειας προστασίας του περιβάλλοντος με την εφαρμογή αντιρρυπαντικών και καθαρότερων τεχνολογιών.

Παρά τη συμμόρφωση, όμως, των κρατών-μελών, ακόμα αντιμετωπίζονται δυσχέρειες και δυσλειτουργίες σε όλο το σύστημα, με αποτέλεσμα η στόχευση στην προστασία του περιβάλλοντος να μην εξυπηρετείται πλήρως. Μερικά από τα προβλήματα αυτά συνοψίζονται στα παρακάτω [36]:

- Άρνηση μερικών κρατών-μελών να επικυρώσουν την Σύμβαση MARPOL 73/78.
- Καθυστέρηση εφαρμογής και ένταξης στην εθνική νομοθεσία των σχετικών διατάξεων που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις υποδοχής αποβλήτων πλοίων από τις χώρες που έχουν υπογράψει τη Σύμβαση MARPOL 73/78.
- Ελλιπή δεδομένα και στοιχεία στον IMO και στο MPEC για τις προδιαγραφές και δυνατότητες των εθνικών σταθμών υποδοχής αποβλήτων πλοίων.
- Ανακριβή στοιχεία που δυσκολεύουν τις εκτιμήσεις που αφορούν στην ποσοτική και ποιοτική επάρκεια ή μη των σταθμών που λειτουργούν σε εθνικό ή άλλο επίπεδο.

2.2 Ισχύουσα νομοθεσία και κατάσταση

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) "ήταν και παραμένει το καλύτερο δυνατό φόρουμ για συζήτηση και αναθεώρηση της Διεθνούς ναυτικής νομοθεσίας. Τρεις διαδικασίες επιτελούνται στον IMO σχετικά με τα νομικά θέματα πρόληψης της θαλάσσιας ρύπανσης από πετρέλαιο: συζήτηση, υιοθέτηση νέων διεθνών συμβάσεων και προσπάθεια ενοποίησης και ουσιαστικής αναθεώρησης των εθνικών νόμων μέσω των επικυρώσεων των ανάλογων συμβάσεων. Οι Συμβάσεις που προετοιμάστηκαν από τον IMO αποτέλεσαν τη βάση για την αντιμετώπιση των θεμάτων πρόληψης της θαλάσσιας ρύπανσης [38].

Καθοριστικό ρόλο στην εφαρμογή και επικύρωση των συμβάσεων διαδραματίζουν οι μεγάλες ναυτιλιακές εταιρίες, οι οποίες πολλές φορές μπορεί να είναι υπεύθυνες όχι μόνο για την καθυστέρηση εφαρμογής αυτών, αλλά και πολλές φορές και για τη μη εφαρμογή. Ο λόγος μη συμμόρφωσης των εταιριών μπορεί να είναι είτε οικονομικός, λόγω μεγάλου κόστους, ή πολιτικός. Η εξέλιξη και εφαρμογή των συμβάσεων της IMO είναι η ακόλουθη [39]:

1) OILPOL 1954 τέθηκε σε ισχύ το 1958. Η OILPOL θεωρείται 'παλιά' λόγω της σημαντικής μεταβολής (ποιοτικής και ποσοτικής) των συνθηκών μεταφοράς πετρελαιοειδών. Οι τροποποιήσεις του 1971 με σκοπό να προσαρμοστεί στις τρέχουσες (το 1971) συνθήκες δεν υιοθετήθηκαν τελικά.

2) Το πρωτόκολλο MARPOL 1973 δεν τέθηκε σε ισχύ, ενώ το πρωτόκολλο του 1978 τέθηκε σε ισχύ το 1983. Με το πρωτόκολλο του 1978 που εισάγει λιγότερο αυστηρούς κανονισμούς από την αρχική σύμβαση του 1973 τέθηκε σε ισχύ η MÄRPOL η οποία αποτελεί μια πολύ σημαντική σύμβαση για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από πετρέλαιο.

Άλλος φορέας που ασχολείται με το θέμα της πρόληψης της θαλάσσιας ρύπανσης από πλοία είναι ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών. Ο ΟΗΕ με την αυξημένη απαίτηση περιβαλλοντικής προστασίας των κρατών μελών του δραστηριοποιήθηκε προετοιμάζοντας τις διασκέψεις για το δίκαιο της θάλασσας.. Ανέπτυξε επίσης το πρόγραμμα για το περιβάλλον μεγάλο μέρος του οποίου αναφέρεται και συντελεί στην πρόληψη της ρύπανσης [39].

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά μερικές από τις δραστηριότητες του ΟΗΕ όσον αφορά στην πρόληψη ρύπανσης των θαλασσών [38]:

UNCLOS I 1958: προτείνει (όμως δεν υποχρεώνει) μέτρα για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος ιδίως σε περιοχές χωρίς εύκολη προστασία όπως η ανοιχτή θάλασσα. Τα κενά τα οποία παρουσίαζε καλύφθηκαν σε μεγάλο βαθμό από την επόμενη διάσκεψη το 1982.

UNCLOS III 1982: προβαίνει σε υιοθέτηση σημαντικών μεταβολών και νέων τρόπων λειτουργίας των πλοίων, προσπαθώντας να αντιμετωπίσει συνολικά την υπάρχουσα ποικιλία νόμων για την προστασία του περιβάλλοντος. UNEP: ξεκίνησε το 1972 με έμφαση στη μελέτη του προβλήματος της ρύπανσης από πετρέλαιο. Για αυτό το σκοπό ανέπτυξε σημαντικά περιφερειακά προγράμματα και σχέδια δράσης τα οποία εφαρμόστηκαν. Παρά τα προβλήματα χρηματοδότησης παρέχει σήμερα ουσιαστική συνδρομή στην πρόληψη της ρύπανσης [38].

Ακόμα η ΕΟΚ αναφέρεται σαν μια ακόμα πηγή μέτρων προστασίας και αντιμετώπισης της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο έχοντας εκδώσει σχετικές οδηγίες. Η δραστηριοποίηση της ΕΟΚ στο θέμα αυτό είναι πρόσφατη, σίγουρα όμως θα υπάρξει ουσιαστικότερη παρέμβαση της κοινότητας στο θέμα μελλοντικά [38].

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί μετά την ψήφιση στις ΗΠΑ του νόμου για τη ρύπανση από πετρέλαιο του 1990, που επέφερε επαναστατικές αλλαγές στο θέμα των προδιαγραφών για τα πλοία που προσεγγίζουν τα λιμάνια των ΗΠΑ, επήλθαν επίσης ουσιαστικές εξελίξεις στη διεθνή νομοθεσία για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης παγκοσμίως. Έτσι ο νόμος στις ΗΠΑ αποτέλεσε τη βάση ανάπτυξης νέου διεθνούς νομικού πλαισίου για την αντιμετώπιση του θέματος της ρύπανσης της θάλασσας με πετρέλαιο [38].

Τρεις είναι οι κυρίως φορείς που ασχολούνται με το θέμα του ελέγχου της ρύπανσης [39]:

- 1) Ο ΙΜΟ με τη σύμβαση του Λονδίνου του 1990 για την προετοιμασία, αντιμετώπιση και συνεργασία κατά της ρύπανσης από πετρέλαιο καθιερώνει μεθόδους, τεχνικές, διαδικασίες, εκπαίδευση πάνω σε αυτές και διεθνή συνεργασία με σκοπό τον αποτελεσματικό έλεγχο των πετρελαιοκηλίδων όταν συμβούν.
- 2) Το UNEP που μέσα από τα προγράμματα του μελετά τις επιπτώσεις της ρύπανσης πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον και αναπτύσσει μεθόδους καταπολέμησης της ρύπανσης, αλλά και τρόπους αποικοδόμησης των οικοσυστημάτων που προσβλήθηκαν.
- 3) Η ΕΟΚ επιτελεί παρόμοιο έργο με το UNEP, στα όρια όμως των χωρών-μελών της Κοινότητας.

Χαρακτηριστικός είναι ο πίνακας που ακολουθεί. Μια προσπάθεια του ΙΜΟ να διευκρινίσει στο πλοίο πώς θα διαχειρίζεται τα απορρίμματά του.

Πίνακας 2.1. Διαχείριση απορριμμάτων σύμφωνα με τον IMO [39].

Τύπος Απορρίμματος	Πλοία εκτός ειδικών περιοχών	Πλοία εντός ειδικών περιοχών	Πλατφόρμες offshore (απόσταση μεγαλύτερη των 12 ν.μ. από τη στεριά) και όλα τα πλοία σε απόσταση 500 μ. από τις πλατφόρμες
Απορρίμματα τροφών πολτοποιημένα ή αλεσμένα	Επιτρέπεται η απόρριψη σε απόσταση ≥ 3 ν.μ από την πλησιέστερη ακτή και εφόσον αυτό είναι εφικτό	Επιτρέπεται η απόρριψη σε απόσταση ≥ 12 ν.μ από την πλησιέστερη ακτή και εφόσον αυτό είναι εφικτό	Επιτρέπεται η απόρριψη
Απορρίμματα τροφών ούτε πολτοποιημένα ούτε αλεσμένα	Επιτρέπεται η απόρριψη σε απόσταση ≥ 12 ν.μ από την πλησιέστερη ακτή και εφόσον αυτό είναι εφικτό	Απαγορεύεται η απόρριψη	Απαγορεύεται η απόρριψη
Κατάλοιπα φορτίου που δεν χύθηκαν στο νερό πλύσης	Επιτρέπεται η απόρριψη σε απόσταση ≥ 12 ν.μ από την πλησιέστερη ακτή και εφόσον αυτό είναι εφικτό	Απαγορεύεται η απόρριψη	Απαγορεύεται η απόρριψη
Κατάλοιπα φορτίου που χύθηκαν σε νερό πλύσης	Επιτρέπεται η απόρριψη σε απόσταση ≥ 12 ν.μ από την πλησιέστερη ακτή και εφόσον αυτό είναι εφικτό	Επιτρέπεται η απόρριψη σε απόσταση ≥ 12 ν.μ από την πλησιέστερη ακτή και εφόσον αυτό είναι εφικτό*	Απαγορεύεται η απόρριψη
Ουσίες καθαρισμού και επιπρόσθετα που περιέχονται σε δεξαμενές καθαρισμού	Επιτρέπεται η απόρριψη	Επιτρέπεται η απόρριψη σε απόσταση ≥ 12 ν.μ από την πλησιέστερη ακτή και εφόσον αυτό είναι εφικτό*	Απαγορεύεται η απόρριψη
Ουσίες καθαρισμού και επιπρόσθετα στο κατάστρωμα και σε εξωτερικές επιφάνειες Ζώα που μεταφέρονται και έχασαν την ζωή τους κατά την διάρκεια του πλου	Επιτρέπεται η απόρριψη Επιτρέπεται η απόρριψη όσο το δυνατόν πιο μακριά από την πλησιέστερη ακτή και εν πλω	Επιτρέπεται η απόρριψη Απαγορεύεται η απόρριψη	Απαγορεύεται η απόρριψη Απαγορεύεται η απόρριψη
Όλα τα άλλα σκουπίδια όπως πλαστικά, συνθετικά σχοινιά, αλιευτικά εργαλεία, πλαστικά σκουπίδια τσάντες, τέφρα του αποτεφρωτή, μαγειρικό λάδι, χαρτί, κουρέλια, γυαλί, μέταλλο, μπουκάλια, πιάτα Μικτά σκουπίδια	Απαγορεύεται η απόρριψη	Απαγορεύεται η απόρριψη	Απαγορεύεται η απόρριψη
	Όταν τα σκουπίδια έχουν αναμειχθεί ή μολυνθεί από άλλες ουσίες των οποίων η απόρριψη απαγορεύεται στην θάλασσα, ή έχουν διαφορετικές απαιτήσεις απόρριψης, τότε θα ισχύσουν οι πιο αυστηρές απαιτήσεις.		

* Επίσης ισχύει πως: Σύμφωνα με τον κανονισμό 6.1.2 του Παραρτήματος V της MARPOL η απόρριψη θα πρέπει να επιτρέπεται μόνο αν: (α) τόσο το λιμάνι αναχώρησης όσο και ο επόμενος λιμένας προορισμού βρίσκονται σε ειδικό χώρο και το πλοίο δεν θα πλεύσει εκτός της ειδικής περιοχής μεταξύ αυτών των λιμένων και (β) εάν δεν υπάρχουν κατάλληλες εγκαταστάσεις υποδοχής διαθέσιμες στους λιμένες αυτούς.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/59/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου ορίζεται ότι η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορεί να επιτευχθεί με τον περιορισμό της απόρριψης στη θάλασσα αποβλήτων πλοίων και καταλοίπων φορτίου μέσω της βελτίωσης της διαθεσιμότητας και της χρήσης εγκαταστάσεων παραλαβής. Σκοπός της Οδηγίας είναι ο περιορισμός της απόρριψης στη θάλασσα, ιδίως της παράνομης απόρριψης αποβλήτων και καταλοίπων φορτίου πλοίων που χρησιμοποιούν τους λιμένες της Κοινότητας, με τη βελτίωση της διάθεσης και της χρήσης λιμενικών εγκαταστάσεων παραλαβής αποβλήτων πλοίου και καταλοίπων φορτίου, ώστε να ενισχυθεί η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος [38].

Επίσης βάσει της οδηγίας 2000/59/EK οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις θα πρέπει να εφαρμόζονται σε όλα τα πλοία ανεξαρτήτως σημαίας τα οποία καταπλέουν ή λειτουργούν σε λιμένα κράτους μέλους, πλην των πολεμικών πλοίων ή βοηθητικών σκαφών ή κυβερνητικών πλοίων που δεν χρησιμοποιούνται για εμπορικούς σκοπούς. Η οδηγία ισχύει σε όλους τους λιμένες των κρατών-μελών. Θα πρέπει να υπάρχουν επαρκείς εγκαταστάσεις παραλαβής σε όλους τους κοινοτικούς λιμένες, οι οποίες θα καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών χωρίς να προκαλούν καθυστερήσεις [38].

Τα κράτη μέλη θα πρέπει να διαθέτουν σταθερές εγκαταστάσεις παραλαβής ή να ορίζουν φορείς παροχής υπηρεσιών, οι οποίοι θα μεταφέρουν στους λιμένες κινητές μονάδες παραλαβής αποβλήτων όταν απαιτείται. Οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να είναι ικανές να δεχτούν τις ποσότητες και τις κατηγορίες των αποβλήτων που προέρχονται από τα πλοία που συνήθως χρησιμοποιούν το λιμάνι λαμβάνοντας υπόψη τις λειτουργικές ανάγκες των χρηστών, το μέγεθος και τη γεωγραφική θέση του λιμένα και τους τύπους των πλοίων που καταπλέουν. Οι καταγγελίες των χρηστών για ανεπαρκείς λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων θα πρέπει να διαβιβάζονται στον IMO. Επίσης εφαρμόζονται σύγχρονα προγράμματα παραλαβής και διακίνησης των αποβλήτων [39].

Για κάθε λιμένα καταρτίζεται και εφαρμόζεται κατάλληλο πρόγραμμα παραλαβής και διακίνησης κατόπιν συμφωνίας με τους χρήστες του λιμένα. Τα κράτη-μέλη αξιολογούν κάθε πρόγραμμα, παρακολουθούν την εφαρμογή του επανεγκρίνουν το πρόγραμμα τουλάχιστον ανά τριετία ή κατόπιν σημαντικών αλλαγών του λιμένα. Τα πλοία υποχρεούνται να κοινοποιούν τις ανάγκες τους σε

εγκαταστάσεις παραλαβής ενώ η διαχείριση των αποβλήτων των αλιευτικών σκαφών και των σκαφών αναψυχής με άδεια μεταφοράς μέχρι 12 άτομα δεν προϋποθέτει εκ των προτέρων κοινοποίηση. Οι πλοίαρχοι συμπληρώνουν με ακρίβεια ένα έντυπο και κοινοποιούν τα στοιχεία στον φορέα ή στη λιμενική αρχή: 24 ώρες πριν την άφιξη, εάν είναι γνωστός ο λιμένας κατάπλου ή $\frac{3}{4}$ μόλις γίνει γνωστός ο λιμένας κατάπλου, εάν αυτή η πληροφορία είναι διαθέσιμη σε λιγότερες από 24 ώρες πριν την άφιξη $\frac{3}{4}$ κατά την αναχώρηση από τον προηγούμενο λιμένα αν η διάρκεια του ταξιδιού είναι μικρότερη από 24 ώρες [39].

Τα στοιχεία αυτά φυλάσσονται στο πλοίο ως τον επόμενο λιμένα κατάπλου ώστε να δοθούν αν ζητηθούν από τις αρμόδιες αρχές. Στην απαίτηση τα πλοία να παραδίδουν τα απόβλητα πριν τον απόπλου θα πρέπει να υπάρχουν εξαιρέσεις λαμβάνοντας υπόψη την ικανότητα του πλοίου να αποθηκεύσει τα απόβλητά του, και τη δυνατότητα παράδοσης σε άλλο λιμένα χωρίς να υπάρχει κίνδυνος απόρριψης στη θάλασσα. Σε περίπτωση που τα κράτη-μέλη πιστεύουν ότι στον προβλεπόμενο λιμένα παράδοσης δε διατίθενται κατάλληλες εγκαταστάσεις μπορούν να απαιτήσουν από το πλοίο να παραδώσει τα απόβλητα πριν αποπλεύσει από το λιμάνι [39].

Το κόστος των εγκαταστάσεων παραλαβής καλύπτεται από τα πλοία. Το σύστημα των τελών θα πρέπει να ενθαρρύνει την παράδοση των αποβλήτων στους λιμένες αντί της απόρριψης στη θάλασσα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν οριστεί ότι όλα τα πλοία που καταπλέουν σε λιμένα κράτους-μέλους συνεισφέρουν στο κόστος της παραλαβής και διακίνησης των αποβλήτων ανεξάρτητα αν χρησιμοποιούν ή όχι τις εγκαταστάσεις, ώστε να μειωθεί το οικονομικό κίνητρο της απόρριψης στη θάλασσα. Βέβαια οι χρεώσεις θα πρέπει να είναι δίκαιες, να μην εισάγουν διακρίσεις και να καθορίζονται με διαφάνεια. Το τέλος μπορεί να ενσωματώνεται στα λιμενικά τέλη ή να υπάρχει η επιβολή ιδιαίτερου σταθερού τέλους αποβλήτων [39].

Τα τέλη είναι δυνατόν να διαφοροποιούνται βάσει της κατηγορίας, του τύπου και του μεγέθους του πλοίου. Το μέρος του κόστους που δεν καλύπτεται από το τέλος, καλύπτεται βάσει των τύπων και των ποσοτήτων των αποβλήτων που παραδίδονται από το πλοίο. Επίσης επιτρέπεται η μείωση των τελών αν μπορεί να αποδειχθεί ότι το πλοίο παράγει μειωμένες ποσότητες αποβλήτων. Τα σκάφη που παράγουν μικρές ποσότητες αποβλήτων θα πρέπει να συμβάλλουν λιγότερο στην κάλυψη του κόστους. Τα πλοία που εκτελούν προγραμματισμένα δρομολόγια με συχνούς και

τακτικούς ελλιμενισμούς μπορούν να απαλλάσσονται από ορισμένες υποχρεώσεις εφόσον υπάρχουν αποδείξεις ότι υπάρχουν διακανονισμοί που εξασφαλίζουν την παράδοση των αποβλήτων και την καταβολή των τελών. Είναι απαραίτητη η ύπαρξη ειδικών επιθεωρήσεων για τον έλεγχο της συμμόρφωσης με τις υποχρεώσεις και η συχνότητα των επιθεωρήσεων θα πρέπει να είναι επαρκής.

Οι κυρώσεις θα πρέπει να είναι επαρκείς, αναλογικές, αποτρεπτικές και αποτελεσματικές. Η ύπαρξη ενός συστήματος πληροφοριών για τον εντοπισμό των ρυπαινόντων ή ενδεχομένως ρυπαινόντων πλοίων θα συνέβαλλε στην αξιολόγηση του συστήματος πληροφοριών SIRENAC το οποίο επιδιώκει τον έλεγχο των πλοίων από το κράτος του λιμένα. Οι διατυπώσεις για τη χρήση των εγκαταστάσεων θα πρέπει να είναι απλές και να διεκπεραιώνονται με ταχύτητα

2.2.1 Ελληνική νομοθεσία

Σύμφωνα με την απόφαση 3418/07/2002 της ελληνικής κυβέρνησης ορίζεται ότι η παραλαβή πετρελαιοειδών αποβλήτων που παράγονται στα πλοία και πετρελαιοειδών καταλοίπων φορτίου από δεξαμενόπλοια, βυτιοφόρα οχήματα και πλωτές ευκολίες υποδοχής, θα γίνεται σύμφωνα με τα μέτρα ασφαλείας των κανονισμών λιμένων [40].

Επίσης τα διωλιστήρια της χώρας υποχρεούνται να παραλαμβάνουν τα πετρελαιοειδή απόβλητα που παράγονται στα πλοία και τα πετρελαιοειδή κατάλοιπα φορτίου για τα πλοία που εκτελούν εμπορικές πράξεις και καταπλέουν σε εγκαταστάσεις αυτών. Τα πετρελαιοειδή κατάλοιπα ή μίγματα παράγωγα επιχειρήσεων απορρύπανσης, παραλαμβάνονται κατά προτεραιότητα από την πλησιέστερη στην περιοχή του συμβάντος λιμενική εγκατάσταση παραλαβής και εφόσον υπάρχει αδυναμία, παραλαμβάνονται από άλλη κατάλληλη εγκατάσταση που καθορίζεται από την αρμόδια Λιμενική αρχή ή τον αρμόδιο Συντονιστή επιχειρήσεων απορρύπανσης. Πετρελαιοειδή εγκαταλελειμμένων, παροπλισμένων, υπό νομικό περιορισμό πλοίων τα οποία λόγω της κατάστασής τους ρυπαίνουν ή διαπιστώνεται πρόδηλος και επικείμενος κίνδυνος ρύπανσης, απομακρύνονται με εντολή της αρμοδίας Λιμενικής Αρχής με τον πλέον πρόσφορο τρόπο και διατίθενται στην πλησιέστερη λιμενική εγκατάσταση παραλαβής [40].

Οι καταγγελίες ανεπάρκειας των λιμενικών εγκαταστάσεων παραλαβής γνωστοποιούνται στη Γενική Γραμματεία Λιμένων και Λιμενικής Πολιτικής του

Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας. Το τέλος για τα απόβλητα για κάθε λιμένα εγκρίνεται από τη Γενική Γραμματεία Λιμένων και Λιμενικής Πολιτικής σύμφωνα με την εγκύκλιο για την παραλαβή και διακίνηση αποβλήτων που παράγονται στα πλοία σε όλους τους Ελληνικούς λιμένες συμπεριλαμβανομένων όλων των ιδιωτικών λιμενικών εγκαταστάσεων και μαρίνων είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων.

Η εφαρμογή της Κοινοτικής οδηγίας, η προέγκριση του σχεδίου παραλαβής και διακίνησης αποβλήτων, η αξιολόγηση των διαδικασιών και η υποβολή της σχετικής έκθεσης προόδου στην Ε.Ε. θα πρέπει να ελέγχεται από το Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής τη Γενική Γραμματεία Λιμένων και Λιμενικής Πολιτικής και με βάση τα Διεθνή λογιστικά πρότυπα. Επίσης οι προαναφερόμενοι φορείς είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ως προς την ενημέρωση των αρμόδιων οργάνων για τις εξαιρέσεις, την έγκριση των τελών, τη διαβίβαση παραπόνων και καταγγελιών και την ενημέρωση της Αρμόδιας Αρχής του επόμενου λιμένα κατάπλου της Ε.Ε [41].

Στην Ελλάδα στους Φορείς Διαχείρισης των Λιμένων συμπεριλαμβάνονται οι οργανισμοί λιμένων Α.Ε., τα λιμενικά ταμεία, τα Ελληνικά τουριστικά ακίνητα Α.Ε. και ιδιωτικές επιχειρήσεις που διαθέτουν παράκτιες εγκαταστάσεις στις οποίες ελλιμενίζονται τα πλοία. Με βάση την Ελληνική νομοθεσία οι προαναφερόμενοι φορείς υποχρεούνται αρχικά να φέρουν την κατάλληλη υποδομή για τη διάθεση των απόβλητων από τα πλοία. Σε αντίθετη περίπτωση είναι υποχρεωτικό να έχει οριστεί ο κατάλληλος φορέας διαχείρισης των αποβλήτων και παραλαβής αυτών από τα πλοία. Η οποιαδήποτε χρέωση των πλοίων για μη συμμόρφωση στους κανονισμούς ή απαλλαγή τελών αυτών λόγω ορισμένων εξαιρέσεων επίσης έγκειται στις αρμοδιότητες φορέων διαχείρισης των λιμένων.

Ο έλεγχος των υποχρεωτικών εγγράφων των πλοίων που ελλιμενίζουν ως προς τους σωστούς και όλους τους εμπλεκόμενους φορείς πραγματοποιείται από τις αντίστοιχες λιμενικές αρχές. Επίσης από τις λιμενικές αρχές γίνεται ο έλεγχος των πλοίων σχετικά με τα απόβλητα και τα λήμματα πριν τον απόπλου, για παράδειγμα εάν έχουν επαρκή χώρο αποθήκευσης αυτών, κ.ά. Σημαντικός επίσης είναι ο ρόλος των λιμενικών αρχών ως προς τον έλεγχο των πλοίων για την εφαρμογή του ΚΥΑ, τον έλεγχο των αδειών και τις τακτικές επιθεωρήσεις [41]. Ταυτόχρονα είναι υπεύθυνες για την παροχή πληροφοριών στην αρμόδια αρχή του επόμενου λιμένα κατάπλου και για την επιβολή κυρώσεων στην περίπτωση μη συμμόρφωσης με τις παρατηρήσεις που μπορεί να έχουν γίνει [41].

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει συμμόρφωση με τους κανονισμούς υπάρχει κάποια χρέωση. Σε αυτήν περίπτωση εμπλέκονται οι φορείς διαχείρισης οι οποίοι πρέπει να γνωστοποιούν τις χρεώσεις ανά περίπτωση, τις διαδικασίες που πρέπει να λάβουν χώρα στα πλοία που ελλιμενίζονται. Ταυτόχρονα θα πρέπει να γνωστοποιούν τις οποιοσδήποτε καταγγελίες στις αρμόδιες αρχές με όποιες διαδικασίες απαιτούνται (π.χ. συμπλήρωση του εντύπου κοινοποίησης δημιουργία ηλεκτρονικής βάση δεδομένων για την επεξεργασία των πληροφοριών κ.ά.). Τα αντίστοιχα έντυπα συμπληρώνονται από τον πλοίαρχο και τηρούνται αντίγραφα στο αρχείο του πλοίου [41].

Τα σχετικά στοιχεία των πλοίων που ελλιμενίστηκαν με λεπτομέρειες της λιμενικής εγκατάστασης και τις διεργασίες παραλαβής των αποβλήτων μεταβιβάζονται επίσης στη ΓΓΛΠΠ/ΔΛΠ. Εκτός από τις καταγγελίες επιπλέον οποιαδήποτε διαφορετική διατύπωση ή ένσταση σχετικά με το σχέδιο διαχείρισης των αποβλήτων και όσο αφορά στην τελική έγκρισή του καθώς και η εξέταση για τη σωστή εφαρμογή του προγράμματος συμπεριλαμβάνονται στις υποχρεώσεις της αντίστοιχης Περιφέρειας και της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης [41].

Επίσης στις υποχρεώσεις των φορέων διαχείρισης/εκμετάλλευσης συμπεριλαμβάνεται ο έλεγχος των αδειών αν βρίσκονται σε ισχύ, τόσο των χερσαίων όσο και των πλωτών μέσων και το πιο σημαντικό ο έλεγχος αυτών ως προς την πλήρη συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές και τελωνειακές διατάξεις. Για αυτό το λόγο προβαίνουν και στην επίβλεψη των βιβλίων που αφορούν στα απόβλητα εκδίδοντας ταυτόχρονα βεβαίωση παραλαβής. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η βεβαίωση παραλαβής περιλαμβάνει το είδος και την ποσότητα των καταλοίπων, την ημερομηνία παραλαβής, τον αριθμό τελωνειακής άδειας, τον αριθμό της σύμβασης με τον Φορέα Διαχείρισης του λιμένα, τους αριθμούς έγκρισης όλων των αδειών, τα στοιχεία της χερσαίας ή πλωτής εγκατάστασης που θα καταλήξουν τα κατάλοιπα και ο αριθμός άδειας λειτουργίας της ευκολίας [41].

Με βάση τους διεθνείς και εθνικούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς τα μέτρα και οι διεργασίες διαχείρισης των αποβλήτων και των λυμάτων των πλοίων θα πρέπει να εξασφαλίζουν την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας. Χαρακτηριστικό είναι ότι στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που αφορά στα πλοία που ελλιμενίζονται δε συμπεριλαμβάνονται οι αέριες εκπομπές, τα ραδιενεργά απόβλητα [41].

Όσον αφορά στις υποχρεώσεις των πλοίων που ελλιμενίζονται σε Ελληνικό χώρο, είναι απαραίτητο να κατέχουν είτε κατάλληλη δεξαμενή για τη συγκέντρωση και αποθήκευση των αποβλήτων ή κατάλληλα συστήματα πολτοποίησης αυτών. Επίσης για τα λύματα είναι απαραίτητα τα συστήματα επεξεργασίας αυτών με ένα αποτελεσματικό σύστημα απολύμανσης. Τέλος, κάθε πλοίο απαιτείται να φέρει πιστοποιητικό πρόληψης της ρύπανσης από λύματα (ΠΠΡΛ) [41].

Όσον αφορά στον έλεγχο και στη διαχείριση έρματος προερχόμενων από πλοία, επιδιώκεται βάσει του κανονισμού ο περιορισμός της απόρριψης στη θάλασσα και ιδίως η παράνομη απόρριψη νερών έρματος. Επίσης η βελτίωση της διάθεσης και της χρήσης των λιμενικών εγκαταστάσεων παραλαβής με στόχο την ενίσχυση της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος αποτελούν σημαντικούς στόχους.

Οι εγκαταστάσεις υποδοχής του έρματος θα πρέπει να μη δημιουργούν καθυστερήσεις και η λειτουργία τους να μην επιβαρύνει το περιβάλλον. Σε τακτά χρονικά διαστήματα θα πραγματοποιούνται δειγματοληπτικοί έλεγχοι για την αξιολόγηση της τεχνολογίας παραλαβής έρματος και των επιπτώσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα πλοία υποχρεούνται να εφαρμόζουν σύστημα διαχείρισης νερών έρματος και οι φορείς διαχείρισης έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί επιθεωρήσεις. Στην περίπτωση που το πλοίο δε διαθέτει πιστοποιητικό για νερά έρματος ή ο πλοίαρχος δεν είναι εξοικειωμένος με τις διαδικασίες, ελέγχεται η κατάσταση του πλοίου και του εξοπλισμού του, ώστε να μην ενέχει κίνδυνο απελευθέρωσης του έρματος στη θάλασσα.

Εξαιρέση αποτελούν τα πλοία που δε μεταφέρουν έρμα, τα πολεμικά πλοία καθώς και περιπτώσεις όπου υπάρχει αναγκαστική απόρριψη έρματος με σκοπό την ασφάλεια του πλοίου και των επιβαινόντων ή για διάσωση στη θάλασσα. Επίσης εξαιρούνται πλοία που παρουσίασαν ζημιά υπό την προϋπόθεση ότι έχουν λάβει όλα τα μέτρα για την αποφυγή ή ελαχιστοποίηση της οποιασδήποτε μορφής ρύπανσης [41].

Στόχος του Κεφαλαίου 3 είναι να συζητηθούν αναλυτικά το είδος των ρυπαντών που πηγάζουν από τα πλοία και οι επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται κατανοητή η σημαντικότητα της Νομοθεσίας καθώς και των διατάξεων όπως αναλύθηκαν στο παρόν Κεφάλαιο.

3 Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης-Φυσικοχημικοί παράμετροι λυμάτων και ρυπαντές

Οι κυριότερες πηγές των απορριμμάτων που καταλήγουν στη θάλασσα με βάση στοιχεία από την UNEP αναφέρονται παρακάτω [42]:

Χερσαίες Πηγές:

- Μεταφορά απορριμμάτων μέσω των ποταμών
- Μεταφορά των απορριμμάτων από τους χώρους απόρριψής τους, που βρίσκονται πλησίον της θάλασσας
- Απορρίψεις ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων, μεταφορά με τα νερά της βροχής
- Βιομηχανίες
- Τουρισμός

Θαλάσσιες Πηγές:

- Εμπορικά πλοία, επιβατηγά, κρουαζιερόπλοια
- Αλιευτικά σκάφη
- Σκάφη αναψυχής
- Εξέδρες εξόρυξης
- Ερευνητικά σκάφη
- Πολεμικά πλοία
- Ιχθυοκαλλιέργειες

Οι πιο σημαντικές φυσικοχημικές ιδιότητες είναι οι ακόλουθες [43]:

- **Διαλυτότητα:** είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη, σε ορισμένες συνθήκες. Τα ευδιάλυτα μεταφέρονται πιο εύκολα από τα επιφανειακά νερά.
- **Πτητικότητα:** είναι η ικανότητα που έχουν τα μόριά τους να διαφεύγουν από την επιφάνεια του υγρού και να μεταβαίνουν στην αέρια φάση.
- **Προσροφητικότητα:** εκφράζει την ικανότητα προσρόφησης μιας ουσίας από τα σωματίδια του εδάφους.
- **Βαθμός αποσύνθεσης:** είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αποσυντεθεί μια ουσία (παρασιτοκτόνο) σε άλλες ενώσεις.
- **Συντελεστής κατανομής:** περιγράφει τον τρόπο κατανομής ενός ρύπου μεταξύ δύο μέσων, π.χ. στερεού-υγρού, ατμών-υγρού.

- **Πίεση των ατμών:** είναι η πίεση που ασκούν οι ατμοί ενός υγρού, όταν το υγρό βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του και εκφράζεται με το νόμο του Raoult. Η σταθερά Henry (H) συνδέει τη μερική πίεση μιας πτητικής ουσίας σε ισορροπία πάνω από διάλυμα, με τη συγκέντρωσή της (C) στο διάλυμα: $P_{\mu}=H.C$ (νόμος Henry). Από αυτήν προκύπτει ότι η διαλυτότητα αερίου εντός υγρού (g/L) υπό σταθερή θερμοκρασία είναι ανάλογη με την πίεση του αερίου σε ισορροπία με το υγρό.
- **Δείκτης βιοσυγκέντρωσης:** εκφράζει την ποσότητα μιας ουσίας που μπορεί να συσσωρευτεί στους υδρόβιους μηχανισμούς.
- **Τοξικότητα:** είναι η πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, όταν εκτεθούν στους ρύπους. Η έκθεση γίνεται μέσω της αναπνοής, της διατροφής και της επιδερμίδας. Η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρα δόση (LD50), που είναι η δόση (mg/kg σωματικού βάρους) στην οποία επιβιώνει μόνο το 50% των οργανισμών που έρχονται σε επαφή με αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν η έκθεση γίνεται με την αναπνοή, η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρο συγκέντρωση (LC50), που είναι η συγκέντρωση του ρύπου σε ορισμένο όγκο αέρα που εισπνέεται, στην οποία επιβιώνει μόνο το 50% των οργανισμών. Τοξικοί ρύποι στα επιφανειακά νερά είναι: βαρέα μέταλλα (Hg, Cd, Pb, Cr κ.ά), οργανικές ενώσεις (παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, απορρυπαντικά, πολυχλωριωμένα διφαινύλια PCBs, διοξίνες), τοξικά αέρια (Cl₂, NH₃), τοξικά ανιόντα (CN⁻), οξέα και αλκάλια [43].

Οι ρύποι εισάγονται στον οργανισμό μέσω της πεπτικής οδού, με την αναπνοή και μέσω του δέρματος. Συσσωρεύονται κυρίως στο λίπος (τα PCBs), στα οστά (τα Pb και ο F), τα νεφρά (το Cd) και το πλάσμα του αίματος.

Η ρύπανση από απορρίψεις πλοίων έχει διεθνώς τον όρο dumping και δεν πρέπει να συγχέεται με τη ρύπανση από τα απορρίμματα (garbage), που ανήκει στην κατηγορία της λειτουργικής ρύπανσης των εμπορικών πλοίων. Σύμφωνα με τη διεθνή σύμβαση του Λονδίνου (1972) του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) ως “dumping” ορίζεται η εσκεμμένη απόρριψη ουσιών και υλικών απευθείας στη θάλασσα από πλοία και αεροπλάνα, εκτός εάν (α) η απόρριψη προκαλείται από τις συνήθεις λειτουργικές διαδικασίες των πλοίων και αεροπλάνων και (β) η απόρριψη ουσιών στη θάλασσα διεξάγεται για άλλους σκοπούς και δεν έρχεται σε αντίθεση με

τη διεθνή νομοθεσία. Όπως ήδη προαναφέρθηκε, οι εκούσιες απορρίψεις αφορούν σε ένα ιδιαίτερα εκτενές πεδίο ρυπαντικών ουσιών και δραστηριοτήτων, εμπριέχοντας τις λειτουργικές διαδικασίες αλλά και τις απορρίψεις φορτίου (dumping). Πιο αναλυτικά, επιμερίζουμε τις απορριπτόμενες ύλες στις εξής [44]:

- *Πετρελαιοειδή κατάλοιπα προελεύσεως μηχανοστασίου (κοινώς σεντινόνερα):* περιλαμβάνει υπολείμματα καυσίμων, λιπαντικών, σκουριά, υγρά ψύξης κλπ. Αυτό που θα πρέπει να τονιστεί είναι πως η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει ουσίες προερχόμενες από το πετρέλαιο ή εν γένει χημικές ουσίες επιβλαβείς, που ξεπερνούν την δυνατότητα άμυνας του θαλασσίου περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη συνεχή μόλυνση.
- *Κατάλοιπα φορτίου:* τα κατάλοιπα φορτίου, κυρίως πετρελαιοειδή, προέρχονται από τους χώρους αποθήκευσης του φορτίου που διαρρέουν και συγκεντρώνονται στις σεντίνες φορτίου οπότε και αναδύεται ξανά το πρόβλημα της διάθεσής τους.
- *Λύματα του πλοίου:* το πρόβλημα των λυμάτων είναι πιο έντονο στην επιβατηγό ναυτιλία όπου το θαλάσσιο περιβάλλον επιβαρύνεται άμεσα με μεγάλες ποσότητες λυμάτων που δεν διαλύονται έγκαιρα από τη θάλασσα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ρύπανση.
- *Απορρίμματα του πλοίου:* στην περίπτωση αυτή τα επιβατηγά, εκλύουν καθημερινά μεγάλες ποσότητες απορριμμάτων και σε ετήσια βάση, οι ποσότητες αυτές είναι ιδιαίτερες μεγάλες σε βαθμό τέτοιο, έτσι ώστε να επηρεάζουν αισθητά την ισορροπία του οικοσυστήματος.
- *Απορρίψεις φορτίου στη θάλασσα:* πρόκειται για ειδική περίπτωση απόρριψης και αποτελεί μια από τις μείζονες πηγές ρύπανσης του θαλασσίου περιβάλλοντος. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει μια αλληλεπίδραση μεταξύ των οικονομικών, πολιτικών και περιβαλλοντικών συμφερόντων καθιστώντας αρκετά δύσκολη την προσέγγιση μιας συμφωνίας σχετικά με τα μέσα αντιμετώπισης του προβλήματος.
- *Χημικές ουσίες:* το γεγονός ότι οι ποσότητες του οργανικού φορτίου που μεταφέρεται από τα χημικά φορτία μπορεί να αποβούν πολύ πιο καταστροφικές για το θαλάσσιο περιβάλλον από την απόρριψη πετρελαίου.

Σε όρους ποσότητας και εμφανούς παρουσίας, η σημαντικότερη ρύπανση που οφείλεται στη ναυσιπλοΐα είναι τα πετρελαιοειδή. Τα συστατικά του αργού πετρελαίου, που είναι διαλυτά στο νερό, καθώς και τα διυλισμένα προϊόντα του, περιέχουν ενώσεις που είναι τοξικές για τη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα. Οι

επιπτώσεις στα οικοσυστήματα των βραχωδών αλλά και αμμωδών ακτών, όπου το πετρέλαιο δεν αποκολλάται εύκολα, είναι ιδιαίτερα σοβαρές.

Η βασικότερη επίπτωση στο περιβάλλον οφείλεται στους όγκους πίσσας που ρυπαίνουν τις ακτές. Η παρουσία πετρελαίου στο θαλασσίνο νερό συνιστά ένα ιδιαίτερα επίφοβο θέμα, κυρίως για τις παράκτιες περιοχές. Το χειρότερο όμως που μπορεί να συμβεί μακροπρόθεσμα στην τροφική αλυσίδα του ανθρώπου είναι φαινόμενα συσσώρευσης καρκινογόνων αρωματικών υδρογονανθράκων από την κατανάλωση οστρακοειδών και γενικότερα θηρευτών της ανώτερης τροφικής αλυσίδας (π.χ. τόνος, σολομός). Επιπλέον, το πετρέλαιο είναι εκείνο το ρυπογόνο στοιχείο που έλαβε την μεγαλύτερη δημοσιότητα σε διεθνές επίπεδο, διότι συχνά είναι το πιο ορατό και φανερό αφού επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας [45].

Σύμφωνα με στοιχεία που παρήχθησαν από την αμερικανική εθνική ακαδημία επιστημών (US National Academy of Sciences) το 1990, από την συνολική ετήσια ποσότητα των 568.800 τόνων που εισήλθε στη θάλασσα από όλες τις αιτίες ρύπανσης της ναυσιπλοΐας, ένα ποσό 121.000 τόνων οφειλόταν σε ατυχήματα πλοίων, οι 36.000 τόνοι οφείλονταν σε εργασίες φορτοεκφόρτωσης στα λιμάνια, ενώ την σημαντικότερη αιτία ρύπανσης συνιστούν οι συνήθειες λειτουργίας των πλοίων, οι οποίες είναι υπεύθυνες για περισσότερο από το 70% της εκροής πετρελαιοειδών στην θάλασσα [45].

Ως πετρελαιοειδή, σύμφωνα με το Παράρτημα I της Διεθνούς Σύμβασης (ΔΣ) MARPOL 73/78, ορίζονται τα εξής [12]:

- Αργό πετρέλαιο
- Μαζούτ
- Κατάλοιπα και προϊόντα διαλύσεως

Εξαιρούνται τα πετροχημικά και τα ζωικά ή φυτικά έλαια.

Τα πετρελαιοειδή απόβλητα ενός πλοίου αναλύονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια
- Υπολείμματα Καυσίμου
- Κατάλοιπα (sludges)
- Σεντινόνερα
- Ακάθαρτο έρμα (dirty ballast)
- Εκπλύματα Δεξαμενών (oil tank washings)

Συνήθως τα πετρελαιοειδή απόβλητα πλοίων διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες, όταν χρειάζεται να εκτιμήσουμε την επάρκεια των εγκαταστάσεων υποδοχής λιμένα:

- Πετρελαιοειδή απόβλητα μηχανοστασίου πλοίων, που εκλύονται από κάθε είδους πλοίου και περιλαμβάνουν σεντινόερα, υπολείμματα καυσίμου, κατάλοιπα (sludges), καθώς και χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, και
- πετρελαιοειδή απόβλητα δεξαμενοπλοίων, στα οποία περιλαμβάνονται τα κατάλοιπα φορτίου, έκπλυση δεξαμενών φορτίου, ακάθαρτο θαλάσσιο έρμα κλπ.

Σύμφωνα με έκθεση του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών των ΗΠΑ που δημοσιεύθηκε το 2002, οι πηγές πετρελαϊκής ρύπανσης είναι οι εξής:

- Φυσικές Πηγές: φυσικές Εκροές
- Θαλάσσιες Πηγές:
 - Πετρελαιοκηλίδες από ατυχήματα δεξαμενόπλοιων, άλλα εμπορικά πλοία, βυθισμένα ή εγκαταλελειμμένα πλοία, εξέδρες εξόρυξης, αγωγοί μεταφοράς.
 - Ηθελημένες, λειτουργικές απορρίψεις πετρελαίου από όλων των τύπων τα εμπορικά πλοία, εξέδρες εξόρυξης, αγωγούς μεταφοράς.
 - Εκπομπές VOCs (πτητικών οργανικών ενώσεων) και PAHs (πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων) από δεξαμενόπλοια, σκάφη αναψυχής και από εξόρυξη πετρελαίου.
 - Άλλες σχετικές με τη ναυτιλία δραστηριότητες (δεξαμενισμός, διάλυση κλπ).
 - Άλλες δραστηριότητες (απορρίψεις πετρελαιοειδών καταλοίπων κλπ).
- Χερσαίες Πηγές:
 - Απορρίψεις ανεπεξέργαστων ή μερικών επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων.
 - Νερό βροχής.
 - Απορρίψεις σε ποτάμια.
 - Απορρίψεις ανεπεξέργαστων ή μερικώς επεξεργασμένων αποβλήτων από παράκτιες βιομηχανίες.
 - Εκπομπές αέριων υδρογονανθράκων από διυλιστήρια, τερματικούς σταθμούς, καυσαέρια οχημάτων.

3.1 Πηγές ρύπανσης από πλοία

3.1.1 Αέρια ρύπανση

Αξίζει επίσης να σημειωθεί εν συντομία ότι η ναυσιπλοΐα συμβάλλει και στην συνολική ποσότητα ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω της εκπομπής καυσαερίων. Όπως διαπιστώνει εύστοχα η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, η κλασσική αλλά και η ρύπανση του αέρα από αέρια του θερμοκηπίου από τις αέριες εκπομπές των πλοίων είναι σταθερά αυξητική. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι καταναλώνονται όλο και περισσότερα καύσιμα για την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών ταχύτερης μεταφοράς, όλο και περισσότερων αγαθών, σε μεγαλύτερες αποστάσεις [46].

Κατά συνέπεια, η σταθερά αυξανόμενη συμβολή της ναυτιλίας στην περιφερειακή και παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση, συνιστά έναν νέο παράγοντα, τον οποίο το σύγχρονο διεθνές και κοινοτικό περιβαλλοντικό δίκαιο καλείται να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά. Η διεθνής ναυτιλιακή δραστηριότητα συνεισφέρει περίπου το 7% των συνολικών εκπομπών NO_x σε παγκόσμια κλίμακα και 4% των συνολικών αερίων εκπομπών SO_2 [46]

Η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας μάλιστα υπολογίζει ότι, παρά τις υφιστάμενες διεθνείς (στο πλαίσιο του IMO), αλλά και κοινοτικές κανονιστικές προσπάθειες και πολιτικές, η προερχόμενη από το θαλάσσιο χώρο ατμοσφαιρική ρύπανση θα έχει ισοσκελίσει το έτος 2020 την αντίστοιχη χερσαία ρύπανση εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία ελαττώνεται σταδιακά τα τελευταία χρόνια [46].

Η ρύπανση που προέρχεται από τις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές δεν σχετίζεται μόνο με το υδάτινο στοιχείο (απορρίψεις αποβλήτων, εκχύσεις κ.α.), όπως συνέβαινε μέχρι προσφάτως, χωρίς να κατανοείται ότι, όταν αναφερόμαστε σε θαλάσσια ρύπανση, εννοούμε τη ρύπανση ολόκληρου του θαλάσσιου περιβάλλοντος, το υδάτινο μέρος του οποίου είναι άρρηκτα συνδεδεμένο και σε συνεχή αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα, σε μια επιφάνεια που προσεγγίζει τα σχεδόν τετρακόσια εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα [46].

Η ατμοσφαιρική επιβάρυνση προέρχεται κυρίως από εκπομπές χερσαίων δραστηριοτήτων (βιομηχανίες, μεταφορές κ.α.), ωστόσο η ατμοσφαιρική ρύπανση

που προκαλείται από τα πλοία, κατά την εκτέλεση των θαλάσσιων μεταφορών, αλλά και όταν βρίσκονται εντός λιμένων, οι οποίοι σχεδόν παντού βρίσκονται μέσα ή κοντά σε αστικά συγκροτήματα, αναδεικνύεται ως μια σοβαρή συνιστώσα, ιδιαίτερα σε ότι αφορά στις κλιματικές αλλαγές. Χαρακτηριστικό είναι άλλωστε το γεγονός πως το 33% της ρύπανσης των θαλασσών προκαλείται από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις αερίων ρύπων [47].

Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλούν τα πλοία στην ανοικτή θάλασσα και εντός λιμένων, αναδεικνύεται ως μια σοβαρή συνιστώσα. Παρατηρείται ότι από αυτά εκπέμπονται αέριοι ρύποι όπως οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, πτητικές οργανικές ενώσεις και αιωρούμενα σωματίδια τα οποία προκαλούν χημικές αντιδράσεις, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που υπάρχει υψηλή υγρασία. Οι χημικές αντιδράσεις έχουν άμεσες συνέπειες στην υγεία και στα κτήρια καθώς προκαλούνται σημαντικά προβλήματα διάβρωσης. Επίσης στις αέριες εκπομπές προστίθενται και η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα). Οι αέριοι ρυπαντές των καυσαερίων των πλοίων που διαθέτουν μηχανές ντίζελ είναι οι εξής [47]:

Κύριοι αέριοι ρύποι:

- Άζωτο(N_2)
- Οξυγόνο(O_2)
- Υδρατμοί
- Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)

Δευτερεύοντες ρύποι:

- Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)
- Οξείδια του θείου (SO_x)
- Οξείδια του αζώτου (NO_x)
- Υδρογονάνθρακες
- Σωματίδια

3.1.2 Λύματα

Τα λύματα, σύμφωνα με το ΔΠ 400/96, διακλαδίζονται και αυτά με τη σειρά τους σε δύο κατηγορίες, τα λύματα (black water) και τα φαιόχρωμα ύδατα (gray water).

Λύματα (black water)

Τα λύματα αυτά περιλαμβάνουν [3]:

- Ύδατα των αποχετεύσεων των αποχωρητηρίων και των ουρητηρίων
- Ύδατα από τους χώρους του ιατρείου του πλοίου
- Ύδατα από τους χώρους διαβίωσης ζώων
- Απόβλητα που αναμειγνύονται με τα παραπάνω

Φαιόχρωμα λύματα (gray water)

Τα λύματα αυτά περιέχουν απόβλητα από:

- Νιπτήρες
- Πλυντήρια
- Μαγειρεία
- Ντουζιέρες

Τα λύματα που απελευθερώνονται από τα πλοία είναι επικίνδυνα για το θαλάσσιο περιβάλλον καθώς περιέχουν βακτήρια και ιούς, οι οποίοι είναι επιβλαβείς για τους θαλάσσιους οργανισμούς, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται και διάφορα είδη ψαριών, κοράλλια κ.λπ. Είναι επίσης επικίνδυνα και για τους ανθρώπους, καθώς έχει αποδειχθεί επιβάρυνση της ανθρώπινης υγείας από έκθεση σε νερά επιβαρυμένα με αστικά λύματα. Επίσης, οι παθογόνοι αυτοί παράγοντες μπορούν να μεταβιβαστούν, μέσω της τροφικής αλυσίδας, στον άνθρωπο.

Η ποσότητα των χημικών και ρευστοποιημένων αερίων που μεταφέρεται μέσω θαλάσσης είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν των πετρελαιοειδών, είναι ωστόσο πιο επιζήμια για το περιβάλλον, διότι είναι τοξική και διαμέσου της τροφικής αλυσίδας μπορεί να απειλήσει την ανθρώπινη υγεία ή και να οδηγήσει σε υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Οι διαδικασίες που προβλέπονται από Διεθνείς Συμβάσεις (ΔΣ MARPOL 73/78, IMDG Code) και αφορούν στις χημικές ουσίες που μεταφέρονται από τα πλοία, καθορίζονται από την επικινδυνότητα των ουσιών αυτών για το θαλάσσιο περιβάλλον, τη χλωρίδα, την πανίδα και τις χρήσεις των θαλασσών (π.χ. κολύμβηση, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λπ.). Η επικινδυνότητα επίσης υπολογίζεται με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ουσιών και την εξάπλωσή τους στο περιβάλλον καθώς και σε συνδυασμό με τις τοξικές τους ιδιότητες [12].

Οι ουσίες κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες (σύμφωνα με τη MARPOL 73/78) και περιλαμβάνουν μία κατηγορία στην οποία ανήκουν: (α) ουσίες που βιοσυσσωρεύονται και αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για την υδρόβια ζωή ή/και για την ανθρώπινη υγεία, (β) ουσίες που βιοσυσσωρεύονται και είναι μέτρια τοξικές για την

υδρόβια ζωή ή/και για την ανθρώπινη υγεία, (γ) ουσίες που είναι ελαφρά τοξικές για την υδρόβια ζωή ή/και για την ανθρώπινη υγεία και (δ) ουσίες που είναι πρακτικά μη τοξικές για την υδρόβια ζωή [12].

Τα χημικά που μεταφέρονται μέσω θαλάσσης ταξινομούνται με διάφορους τρόπους [48]:

i) Με βάση τους διεθνούς κανονισμούς μεταφοράς:

- Διεθνής κώδικας Χημικών (IBC-CODE)
- Διεθνής κώδικας μεταφοράς αερίων (IGC-CODE)
- Διεθνής κώδικας για θαλάσσια μεταφορά συσκευασμένων επικίνδυνων φορτίων (IMDG-CODE)

ii) Με βάση τους φυσικούς κινδύνους που παρουσιάζουν:

- Εκρηκτικά
- Αέρια (εύφλεκτα, δηλητηριώδη)
- Εύφλεκτα Υγρά
- Εύφλεκτα Στερεά
- Οξειδωτικές Ύλες
- Οργανικά υπεροξειδία
- Μολυσματικές Ύλες
- Δηλητηριώδεις Ύλες
- Ραδιενεργές Ύλες

iii) Με βάση τους κινδύνους που παρουσιάζουν για το θαλάσσιο περιβάλλον:

- Καταστροφή ζωντανών θαλάσσιων πόρων
- Κινδύνους για τη ζωή του ανθρώπου
- Υποβάθμιση των ακτών
- Αλληλεπίδραση με άλλες χρήσεις της θάλασσας

iv) Με βάση τη φυσικοχημική συμπεριφορά τους ως:

- Αέρια
- Πτητικά υγρά
- Επιπλέοντα
- Διαλύτες
- Ιζήματα

ν) Με βάση τις αλληλεπιδράσεις που παρουσιάζουν:

- Δεν αντιδρούν με το νερό
- Αντιδρούν με το νερό
- Αντιδρούν με τον εαυτό τους
- Αντιδρούν με άλλες ουσίες

Γενικά τα πετρελαιοειδή λύματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες [49]:

A. Μικρού μοριακού βάρους, που είναι πτητικές, δηλαδή εξανεμίζεται γρήγορα, και ως εκ τούτου έχουν σχετικά μικρές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον.

B. Μεσαίου μοριακού βάρους που παραμένουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο θαλάσσιο περιβάλλον και είναι κυρίως υπαίτιες για την τοξικότητα του πετρελαίου.

Γ. Μεγάλου μοριακού βάρους (πίσσες) που είναι μεν αδρανείς από χημική άποψη αλλά προκαλούν μηχανικής φύσης παρενέργειες στο οικοσύστημα.

Κάθε χρόνο εξορύσσονται 3 δισεκατομμύρια τόνοι αργού πετρελαίου και το μισό αυτής της ποσότητας μεταφέρεται δια θαλάσσης, με αποτέλεσμα 3 περίπου εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου να χύνονται στην θάλασσα. Από αυτά:

- 7% οφείλεται σε μη ανθρωπογενείς διαρροές
- 5% σε διαρροές από μόνιμες εγκαταστάσεις (δυλιστήρια, πλατφόρμες εξόρυξης κλπ)
- 45% οφείλεται στη διαδικασία της μεταφοράς (τακτικοί χειρισμοί δεξαμενοπλοίων, επισκευές και δεξαμενισμός πλοίων, ατυχήματα, κλπ)
- 43% σε διάφορες αιτίες (αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κλπ)

Από τα παραπάνω μόνο το 15% οφείλεται σε ατυχήματα δεξαμενοπλοίων που είναι και τα πλέον γνωστά στην κοινή γνώμη λόγω των τεράστιων επιπτώσεών τους.

Τέλος, αξίζει να γίνει ξεχωριστή αναφορά σε μια σημαντική πηγή ρύπανσης της θάλασσας, που προέρχεται από επιστρώματα που χρησιμοποιούνται για την προστασία των υφάλων των πλοίων. Η χρήση αντιρρυπαντικών υφαλοχρωμάτων (αποφυγή βιοεπικαθίσεων στα ύφαλα των πλοίων – antifouling paints) και των ειδικών επικαλύψεων που βοηθούν στην μείωση της αντίστασης, κι επομένως προσδίδουν χαμηλότερο συντελεστή τριβής κατά την κίνηση του πλοίου, έχουν προσφέρει σημαντική μείωση των λειτουργικών εξόδων (λόγω οικονομίας στα καύσιμα), μα και υψηλές συγκεντρώσεις TBT (tributyltin) στο θαλάσσιο περιβάλλον [50].

Το TBT είναι μία ουσία η οποία συγκαταλέγεται στις τοξικές χημικές ενώσεις, και στους επίμονους οργανικούς ρυπαντές (Persistent Organic Pollutants) και η οποία επίσης είναι υπεύθυνη για μη αντιστρέψιμες βλάβες στον υδάτινο, έμβιο κόσμο. Είναι γνωστό ότι μεταξύ των δυσχερειών που αντιμετωπίζει το πλοίο κατά τη διάρκεια της ζωής του μέσα στη θάλασσα, συγκαταλέγεται και η συγκέντρωση φυτικών και ζωικών οργανισμών (ανάπτυξη οστράκων, φυκιών-φυκιάδας-γλίτσας, στρειδιών) στις επιφάνειές του που βυθίζονται στο νερό. Αυτό, αποτελεί πρόβλημα διότι συντελεί στην αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου, με ταυτόχρονη άνοδο των καυσαερίων εκπομπών λόγω της αύξησης των τριβών, στη μείωση της ταχύτητας και στην αύξηση του κόστους συντήρησης του πλοίου. Η χρήση ουσιών, που αποδείχθηκαν μεν πολύ αποτελεσματικές ως προς την προστασία των υφάλων των πλοίων αλλά με εκτεταμένες και σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ανέδειξε τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ναυτιλία στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης [50].

Η θαλάσσια βιορύπανση συντελείται στο μέρος της γάστρας του πλοίου που είναι βυθισμένο, στις αποβάθρες, τα λιμενικά έργα και τους οπλισμούς τους, καθώς και σε άλλες επιφάνειες που έρχονται σε συχνή επαφή με το νερό, όπως είναι για παράδειγμα τα ψυκτικά συστήματα και οι σωληνώσεις που μεταφέρουν νερό. Σε στατικές δομές (π.χ. αποβάθρες, πλωτήρες, μόλοι, πλατφόρμες) η βιορύπανση μπορεί να επιταχύνει τη διάβρωση μετάλλων ή άλλων υλικών από το θαλασσινό νερό, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο μηχανικής βλάβης. Η βιορύπανση στα ψυκτικά συστήματα μπορεί να εμποδίσει την ομαλή ροή του αέρα, ελαττώνοντας την ψυκτική ικανότητα και αυξάνοντας το κόστος κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και την κακοσμία του χώρου. Επιπλέον, η εξάπλωση των φυκιών μπορεί να εμποδίσει τα συστήματα φιλτραρίσματος του πόσιμου αλλά και του θαλασσινού νερού, με αποτέλεσμα να καταστεί αναγκαίος ο συχνός καθαρισμός των σωλήνων ύδρευσης για να αποφευχθεί η απόφραξη [51].

Ένα αντικείμενο που βρίσκεται στο θαλασσινό νερό γρήγορα συσσωρεύει στην επιφάνειά του διαλυμένη οργανική ύλη και μόρια, όπως πολυσακχαρίδια και πρωτεΐνες. Αυτή η διαδικασία θεωρείται το πρώτο στάδιο της ρύπανσης, το οποίο ξεκινά στα πρώτα δευτερόλεπτα και σταθεροποιείται σε ώρες, με αποτέλεσμα την απόκτηση πρόσβασης και αποικισμού βακτηρίων και μονοκύτταρων φυκιών σχηματίζοντας μια μικροβιακή μεμβράνη (βιοφίλμ). Το δεύτερο στάδιο της ρύπανσης αναφέρεται στην έκκριση κολλωδών μυκοπολυσακχαριδίων, μερικές φορές σε μεγάλες ποσότητες, και στην παραγωγή άλλων χημικών ουσιών με σημαντικές

συνέπειες για τις επιφάνειες που έχουν προσβληθεί, όπως τραχύτητα και διάβρωση [51].

Οι επιπτώσεις αυτές γίνονται οι αιτίες που παγιδεύονται στη γάστρα του πλοίου περισσότεροι οργανισμοί και σωματίδια, όπως σπόρια φυκιών, θαλάσσιοι μύκητες και πρωτόζωα. Το τρίτο στάδιο θεωρείται η μετάβαση από μια μικροβιακή μεμβράνη (βιοφίλμ) σε μια πιο σύνθετη κοινωνία που τυπικά περιλαμβάνει πολυκύτταρους παραγωγούς (φυτικούς οργανισμούς), πρωτογενείς καταναλωτές (ζωικούς οργανισμούς που τρέφονται με φυτικούς οργανισμούς) και αποδομητές ή αποσυνθέτες (οργανισμούς που αποσυνθέτουν οργανική ύλη). Το τέταρτο και τελικό στάδιο περιλαμβάνει την εγκατάσταση και ανάπτυξη μεγαλύτερων θαλάσσιων ασπόνδυλων (όπως πεταλίδες, στρείδια, βρυόζωα, ασκίδια), καθώς και την ανάπτυξη μακροφυκών [52].

Η ρύπανση αυτή (fouling) είναι ένα φυσικό δυναμικό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα συνεχώς στο θαλάσσιο περιβάλλον και, όπως έχει βρεθεί, σκάφη χωρίς αντιρρυπαντική προστασία των υφάλων τους μπορούν να συλλέξουν 150 kg επικαθήσεων ανά m^2 . Χαρακτηριστικά, έχει υπολογισθεί ότι ένα μεγαλύτερο τάνκερ με επιφάνεια υφάλων επιφανειών μέχρι 40.000 m^2 επιβαρυνθεί με 6000 τόνους επικαθήσεων με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας εξαιτίας της αλλοίωσης των υδροδυναμικών τους χαρακτηριστικών και κατά συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και του κόστους συντήρησης έως και 50% [53].

Τέλος, υπάρχουν πάνω από 4000 θαλάσσια είδη που προκαλούν ρύπανση στα ύφαλα των πλοίων και επομένως σημαντική προσπάθεια έχει επιτευχθεί και συνεχίζεται, για να αναπτυχθούν συστήματα προστασίας των υφάλων με ευρύ φάσμα δραστηριότητας που να αντιμετωπίζουν τέτοια ποικιλομορφία ειδών, ικανών να εποικίσουν τη γάστρα ενός σκάφους.

3.2 Επιπτώσεις λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον

Η ραγδαία αύξηση του μεγέθους και του αριθμού των κρουαζιερόπλοιων τα τελευταία χρόνια έχει σαν αποτέλεσμα την επανεξέταση του ζητήματος. Τα σημερινά κρουαζιερόπλοια, τα μεγαλύτερα εκ των οποίων έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν περισσότερους από 5000 επιβάτες και πλήρωμα, είναι πλωτές πολιτείες οι οποίες εκλύουν σημαντικές ποσότητες λυμάτων [54].

Χαρακτηριστικά, ένα μέσου μεγέθους κρουαζιερόπλοιο μπορεί να παράγει περίπου 100000 λίτρα ακάθαρτων υδάτων ανά ημέρα, όταν ένα μέσου μεγέθους φορτηγό bulk Carrier με αριθμό πληρώματος γύρω στα 25 άτομα παράγει περίπου 300 λίτρα ανά ημέρα [54].

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με τα θαλάσσια λύματα (π.χ. λύματα από πλοία) περιλαμβάνουν την εισαγωγή – σύσταση ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον όπως είναι το άζωτο και ο φωσφόρος. Η υπερβολική τροφή προκαλεί ανεξέλεγκτη αύξηση του πλαγκτόν και φυκιών τα οποία εμποδίζουν το φως να διεισδύσει προς τον πυθμένα επηρεάζοντας την ανάπτυξη της θαλάσσιας χλωρίδας, που αποτελεί τη βάση για το θαλάσσιο οικοσύστημα καθώς είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των ψαριών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών. Η ελάττωση του οξυγόνου από την αποσύνθεση των λυμάτων αφαιρεί το οξυγόνο που απαιτείται από τους θαλάσσιους οργανισμούς για να αναπνεύσουν. Αυτή η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος όχι μόνο επηρεάζει τα παραλιακά νερά αλλά και τα ωκεάνια ύδατα [54].

Τα θαλάσσια λύματα έχει αντίκτυπο επίσης στην ανθρώπινη υγεία. Μια πρόσφατη αναφορά του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization - WHO) εκτιμά ότι ένας στους 20 λουόμενους στις «μη απαγορευμένες παραλίες» θα νοσήσει κολυμπώντας σε τέτοιου είδους νερά. Η μελέτη του Οργανισμού εκτιμά ότι το κολύμπι σε μολυσμένες θάλασσες προξενεί μερικές από τις 250 εκατομμύρια περιπτώσεις γαστρεντερίτιδας και πολλά αναπνευστικά προβλήματα κάθε χρόνο. Μερικοί από αυτούς θα παρουσιάσουν σοβαρό πρόβλημα υγείας το επόμενο τρίμηνο. [55].

Σύμφωνα με μια ερευνητική μελέτη [56] τα θαλασσινά και τα ψάρια εμπλέκονται στο 11 % των περιπτώσεων ασθενειών που εκδηλώνονται στα φαγητά στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, 20 % στην Αυστραλία, και πάνω από 70 % στην Ιαπωνία η οποία έχει μια ιδιαίτερη σθεναρή παράδοση στην κατανάλωση ωμών ψαριών και οστρακόδερμων. Τα παθογόνα βακτηρίδια μπορούν να επιβιώσουν στη θάλασσα για ημέρες και εβδομάδες, ενώ οι ιοί μπορούν να επιβιώσουν στο νερό ή στα ψάρια και στα θαλασσινά – για ολόκληρους μήνες [56].

Η τοξικότητα του πετρελαίου σε θαλάσσιους οργανισμούς έχει μελετηθεί τόσο με εργαστηριακά πειράματα, όσο και με πειράματα πεδίου από τα πολυάριθμα ναυτικά ατυχήματα των τελευταίων δεκαετιών. Το πετρέλαιο που είναι κυρίως μείγμα άκυκλων και κυκλικών υδρογονανθράκων εμπεριέχει επίσης αρκετές αρωματικές

ενώσεις (βενζόλιο, τολουόλιο, ναφθαλένιο) και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, πολλοί από τους οποίους είναι καρκινογόνες ουσίες. Σημαντικό μέρος του πετρελαίου στο περιβάλλον με τον καιρό εξατμίζεται, διασκορπίζεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες σε μικρά συσσωματώματα που καταβυθίζονται στα ιζήματα, ενώ συγχρόνως υπόκεινται σε φωτοχημική διάσπαση και μικροβιακή αποσύνθεση.

Επιπρόσθετα, τα υδατοδιαλυτά συστατικά του αργού πετρελαίου και των διυλισμένων προϊόντων του, περιέχουν μια ποικιλία ενώσεων που είναι τοξικές για ένα ευρύ φάσμα θαλασσίων οργανισμών. Τα αυγά, οι προνύμφες των αυγών και τα νεαρά άτομα είναι γενικά πιο ευαίσθητα στη ρύπανση από πετρελαιοειδή. Έτσι, το πετρέλαιο προκαλεί διαταραχές στη φυσιολογία και τη συμπεριφορά των οργανισμών, καθώς και ανωμαλίες στην ανάπτυξη των ψαριών, οδηγώντας τελικά στον πρόωρο θάνατό τους. Ακόμα και 1 μg/l πετρελαίου στη θάλασσα μπορεί να επιβαρύνει τους πιο ευαίσθητους οργανισμούς.

Ίχνη πετρελαίου στο νερό επιδεινώνουν τη γονιμότητα των θαλάσσιων οργανισμών, τη δυνατότητα προσανατολισμού τους και το ρυθμό αφομοίωσης της τροφής τους. Κάποιες από τις συνέπειες αυτές ενισχύονται από τη χαμηλή αλατότητα και τις υψηλές θερμοκρασίες ενώ υπάρχει συνεργιστική δράση ανάμεσα στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και κάποια μέταλλα. Οι διάφοροι θαλάσσιοι οργανισμοί υφίστανται διάφορες επιπτώσεις από τη δράση του πετρελαίου. Πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων της τάξης των 50 ng/g επιταχύνουν την φωτοσύνθεση καθώς δρουν ως θρεπτικά συστατικά του νερού. Πάνω από τις συγκεντρώσεις αυτές όμως υπάρχει ένας σταδιακός περιορισμός των ρυθμών φωτοσύνθεσης. Σε συγκεντρώσεις της τάξης των 250 ng/g οι διατροφικές συνήθειες και οι λειτουργίες κάποιων οργανισμών μεταβάλλονται. Η τοξικότητα του πετρελαίου ανάλογα με την συγκέντρωση, την οδό έκθεσης και τις φυσικές συνθήκες μπορεί να είναι θανατηφόρος σε πτηνά, υδρόβιους οργανισμούς και μικροοργανισμούς [57].

Τα απορρίμματα στις θάλασσες και στις ακτές, είναι μία από τις πιο καταφανείς εκφράσεις της αρνητικής ανθρώπινης επιρροής στο θαλάσσιο περιβάλλον, με επιπτώσεις αισθητικές, οικονομικές και βιολογικές, καθώς και με κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Η συσσώρευση απορριμμάτων σε μια ακτή, οδηγεί στην αισθητική υποβάθμισή της είτε αναφερόμαστε σε αυτή σαν φυσικό τοπίο, είτε σαν περιοχή που εξυπηρετεί τον άνθρωπο ως τόπος αναψυχής.

Οι οικονομικές επιπτώσεις από τα παράκτια και τα θαλάσσια απορρίμματα γενικότερα, είναι δυνατόν να επηρεάσουν τον τουρισμό, τη βιομηχανία και την αλιεία. Οι οικονομικές επιπτώσεις των παράκτιων απορριμμάτων στον τουρισμό αφορούν στο γεγονός ότι η τουριστική αξία μιας περιοχής σχετίζεται θετικά με την αισθητική της αξία. Έτσι, η αισθητική υποβάθμιση τουριστικών παράκτιων περιοχών λόγω της ύπαρξης απορριμμάτων, έχει ως συνέπεια τη μείωση της τουριστικής δραστηριότητας, λόγω της αποθάρρυνσης των ανθρώπων να επισκεφτούν, για κολύμβηση, ψάρεμα και για οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα συνδέεται με την αναψυχή, ακτές με απορρίμματα. Κατά συνέπεια μειώνονται τα εισοδήματα των παράκτιων τουριστικών επιχειρήσεων, που στηρίζουν πολλές παράκτιες κοινωνίες [58].

Σε πολλές τουριστικές περιοχές ανά τον κόσμο, για την αποφυγή της μείωσης της τουριστικής δραστηριότητας, λόγω της ύπαρξης παράκτιων απορριμμάτων, οι τοπικές αρχές καταφεύγουν σε καθαρισμούς των ακτών, είτε με μηχανικά μέσα είτε με «το χέρι». Το οικονομικό κόστος των καθαρισμών των ακτών καλύπτεται από τις εκάστοτε τοπικές αυτοδιοικήσεις, δηλαδή από τους φορολογούμενους πολίτες. Για παράδειγμα, για τον καθαρισμό των παράκτιων απορριμμάτων της Αγγλίας και της Ουαλίας, οι τοπικές κοινωνίες δαπανούν ποσά που ανέρχονται στο ποσό των 14.000.000 στερλινών ετησίως [58].

Ορισμένες φορές η επίδραση των χημικών ρύπων στους οργανισμούς σχετίζεται με την τοξικότητα της χημικής ουσίας σε ζωικά όργανα του οργανισμού. Σε πολλά πουλιά και άλλα μικρά ζώα για παράδειγμα παρουσιάζεται παράλυση των άκρων. Πειράματα δείχνουν ότι διάφορα χημικά επιδρούν στους θυρεοειδείς αδένες των πτηνών και στην μείωση του πάχους του κελύφους των αυγών τους (κυρίως λόγω διαταραχής της μεταφοράς ασβεστίου). Η δράση των χημικών ρύπων μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά όταν ανιχνευτεί μίγμα χημικών ουσιών στο περιβάλλον. Τότε, μπορούν να υπάρξουν προσθετικές δράσεις, συνεργικές ή ανταγωνιστικές. Το όζον και το διοξείδιο του θείου δρουν συνεργικά στα φυτά, για παράδειγμα.

Οι περισσότερες χημικές ενώσεις, ιδιαίτερα οι οργανικές, είναι υδρόφοβες και κατά συνέπεια συγκεντρώνονται στους λιπαρούς ιστούς των οργανισμών. Στην ουσία διαλύονται εκλεκτικά στο λιπαρό τμήμα και λόγω της αργής μεταφοράς τους μέσω των μεμβρανών απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο μεταβολισμού και απέκκρισης από τον οργανισμό, αυξάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο τα επίπεδα βιοσυσώρευσης χημικών ουσιών σε οργανισμούς οι οποίοι τελικά θα καταναλωθούν από τον άνθρωπο.

Επομένως η βιοσυσσώρευση χημικών ρύπων στους οργανισμούς μπορεί να γίνει και μέσω της τροφικής αλυσίδας. Τις τελευταίες δεκαετίες έγιναν αρκετά πειράματα και μελέτες για την τεκμηρίωση της σχέσης των δύο αυτών παραγόντων. Η θεωρία των τροφικών επιπέδων αποδέχεται ότι οι συγκεντρώσεις αυξάνονται σε κάθε στάδιο της τροφικής αλυσίδας, λόγω της συντήρησης της μάζας το ρύπου σε κάθε επίπεδο, ιδιαίτερα όταν αφορά ρύπους που έχουν μικρή βιοδιασπασιμότητα [59].

Τα επιπλέοντα, αιωρούμενα χρωστικά και αφρίζοντα υλικά προξενούν μείωση της διαφάνειας, αισθητική όχληση αλλά και ρύπανση των επιφανειακών νερών. Όταν αποβάλλονται θερμά απόβλητα σε υδάτινους αποδέκτες ελαττώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου με δυσμενείς επιπτώσεις στο βιόκοσμο τους. Η παρουσία φωσφόρου και αζώτου συμβάλλει στην ανάπτυξη φυκιών και στον ευτροφισμό του αποδέκτη. Η παρουσία αμμωνίας είναι τοξική για τα ψάρια και προκαλεί ζήτηση οξυγόνου με τη μετατροπή του αμμωνιακού σε νιτρικό άζωτο. Παρατηρούνται κυτταρικές αλλοιώσεις στα υδρόβια είδη από μακροχρόνιες δόσεις τοξικών ουσιών και βαρέων μετάλλων καθώς και συσσώρευση ρυπαντών στο σώμα τους, οι οποίοι διαμέσου της τροφικής αλυσίδας, καταλήγουν στον άνθρωπο. Γενικά, η μακρόχρονη διάθεση των αποβλήτων και λυμάτων στα θαλάσσια ύδατα, τα καθιστά ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση [60].

Ο τριβουτυλο-κασσίτερος (TBT) αποτελεί ένα ισχυρό βιοκτόνο που βρίσκεται χρησιμότητα ως πρόσθετο σε υφαλοχρώματα πλοίων ήδη από τη δεκαετία του 1970. Λόγω της τοξικής του δράσης εμποδίζει την ανάπτυξη αλγών, οστράκων και άλλων θαλάσσιων οργανισμών στα ύφαλα των πλοίων. Η ουσία όμως διαφεύγει από τα υφαλοχρώματα και διασπείρεται στο θαλάσσιο περιβάλλον. Έτσι, συσσωρεύεται στα ιζήματα του βυθού, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλη κίνηση πλοίων όπως τα λιμάνια. Η τοξική δράση του TBT γίνεται επίσης εμφανής και κατά μήκος πολυσύχναστων διαδρομών στην ανοιχτή θάλασσα. Βέβαια, το TBT προκαλεί διαταραχές του ενδοκρινικού συστήματος σε οστρακοειδή, φαινόμενο γνωστό ως "imposex", που υποδηλώνει στην πραγματικότητα ότι θηλυκοί οργανισμοί αναπτύσσουν αρσενικά χαρακτηριστικά λόγω της δράσης του TBT στο ορμονικό σύστημα [61].

Η δράση αυτή παρουσιάζεται σε γαστερόποδα, ακόμη και όταν οι συγκεντρώσεις TBT στο νερό είναι εξαιρετικά μικρές (της τάξης του τρισεκατομμυριοστού του γραμμαρίου ανά λίτρο νερού). Η τοξική δράση του TBT έγινε ευρύτερα γνωστή όταν παρατηρήθηκε ελάττωση της συγκομιδή στρειδιών σε ακτές της Γαλλίας. Υγιή

στρείδια που μεταφέρθηκαν σε περιοχές ρυπασμένες με TBT εκδήλωσαν θνησιμότητα της τάξεως 50% σε διάστημα 30 ημερών [61].

Το TBT είναι ιδιαίτερα τοξικό και θανατηφόρο σε μια ποικιλία πλαγκτονικών οργανισμών, όπως επίσης και στις κάμπιες μαλακίων. Η τοξικότητα εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις TBT αντίστοιχες αυτών που παρατηρούνται συχνά σε μαρίνες. Η δράση αυτή του TBT είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές όπου αλιεύονται ή καλλιεργούνται οστρακοειδή. Το TBT γίνεται συχνά αιτία παραμορφώσεων και μειώνει τους ρυθμούς ανάπτυξης των οστρακοειδών, ενώ προκαλεί και καταφανή αύξηση του πάχους του κελύφους τους, μειώνοντας έτσι σημαντικά το μέγεθος του ζώου στο εσωτερικό και καθιστώντας το μη εμπορεύσιμο. Σημαντικές συγκεντρώσεις TBT έχουν ανιχνευτεί και σε ψάρια ιχθυοκαλλιεργειών. Πρέπει να τονιστεί βέβαια, ότι το TBT και οι άλλες οργανικές ενώσεις του κασσιτέρου δεν εξουδετερώνονται με το μαγείρεμα. Υψηλές συγκεντρώσεις TBT έχουν ανιχνευτεί και σε αίμα ανθρώπων που εξετάστηκαν, ενώ εκφράζονται και ανησυχίες ότι το TBT και άλλες συγγενείς του ενώσεις έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν και το ανθρώπινο ενδοκρινικό σύστημα, όπως συμβαίνει και στους θαλάσσιους οργανισμούς [61].

4 Σύγχρονα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων πλοίων

Η άμεση απόρριψη λυμάτων από πλοία απαγορεύεται από το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό, απαγορεύεται παγκοσμίως, ιδιαίτερα η απόρριψη λυμάτων που εμπεριέχουν υπολείμματα πετρελαίου.

Η σύνθεση του πετρελαίου από το νερό των υδροσυλλεκτών είναι ένας σημαντικός ρύπος των λυμάτων των πλοίων και η απόρριψη των υπολειμμάτων πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον γενικότερα απαγορεύεται. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) και οι κανονισμοί (MARPOL 73/78) [62], απαιτούν κάθε υπόλειμμα πετρελαίου ή τα απορρίπτοντα λύματα πρέπει να εμπεριέχουν λιγότερο από 15 ppm υδρογονανθράκων. Στη βιβλιογραφία γενικότερα έχουν αναπτυχθεί διάφορα σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με στόχο τη βελτιωμένη επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων όλων των λυμάτων στα πλοία. Στόχος του παρόντος Κεφαλαίου είναι η Βιβλιογραφική Ανασκόπηση σχετικά με τις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία, ως προς την επεξεργασία λυμάτων.

Μερικά προηγμένα Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων έχουν αναπτυχθεί από τους φορείς εκμετάλλευσης, προκειμένου να πληρούν τα πρότυπα εκκένωσης και κανονισμούς. Οι επεξεργασίες περιλαμβάνουν χημικές και μηχανικές επεξεργασίες, ενεργοποιημένη οξείδωση, διήθηση με αντίστροφη όσμωση, βιο-αντιδραστήρα / διήθηση.

Επίσης για την επεξεργασία των στασινόνερων τα οποία εμπεριέχουν σημαντικές ποσότητες πετρελαίου έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι. Οι πιο κοινοί και πολυχρησιμοποιημένοι είναι: η συσσωμάτωση, πήξη, διήθηση, τεχνολογίες προσρόφησης [63]. Σήμερα εμφανίζονται επίσης σύγχρονες μέθοδοι που βασίζονται σε μεμβράνες αντίστροφη όσμωσης, νανοδιήθησης και υπερδιήθησης οι οποίες θα συζητηθούν στις ακόλουθες υποενότητες.

4.1 Συστήματα μεμβρανών διήθησης

Οι μεμβράνες είναι οι πιο πολύ-χρησιμοποιημένη προηγμένη τεχνολογία, επί του σκάφους για τα εμπορικά επιβατηγά πλοία. Για το 2007, σύμφωνα με το Τμήμα Συντήρησης Περιβάλλοντος στην Αλάσκα, μεταξύ 18 μεγάλων εμπορικών επιβατηγών πλοίων (250 ή περισσότερους επιβάτες) εκκένωσαν γκρίζο νερό στην

Αλάσκα, όλα ήταν εξοπλισμένοι με μεμβράνες. Στην επόμενη υποενότητα αναφέρονται και αναλύονται συστήματα μεμβρανών που έχουν διερευνηθεί στη βιβλιογραφία.

Το 1978 από τους Katayama et al. [64] προτείνεται ευρεσιτεχνία όπου η μέθοδος επεξεργασίας των λυμάτων περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια: i) τα λύματα διέρχονται μέσα από ένα χονδροειδές πλέγμα, ένα είδος φίλτρου, ii) στη συνέχεια μέσα από τη σύνθλιψη διαχωρίζεται το νερό από τα επιπλέοντα αιωρούμενα σωματίδια καθώς τροφοδοτείται αέρας; τα αιωρούμενα σωματίδια στερεά στα λύματα μειώνονται κάτω από 1000ppm και iii) το προκύπτον νερό στη συνέχεια οδηγείται σε ημι-περατή μεμβράνη.

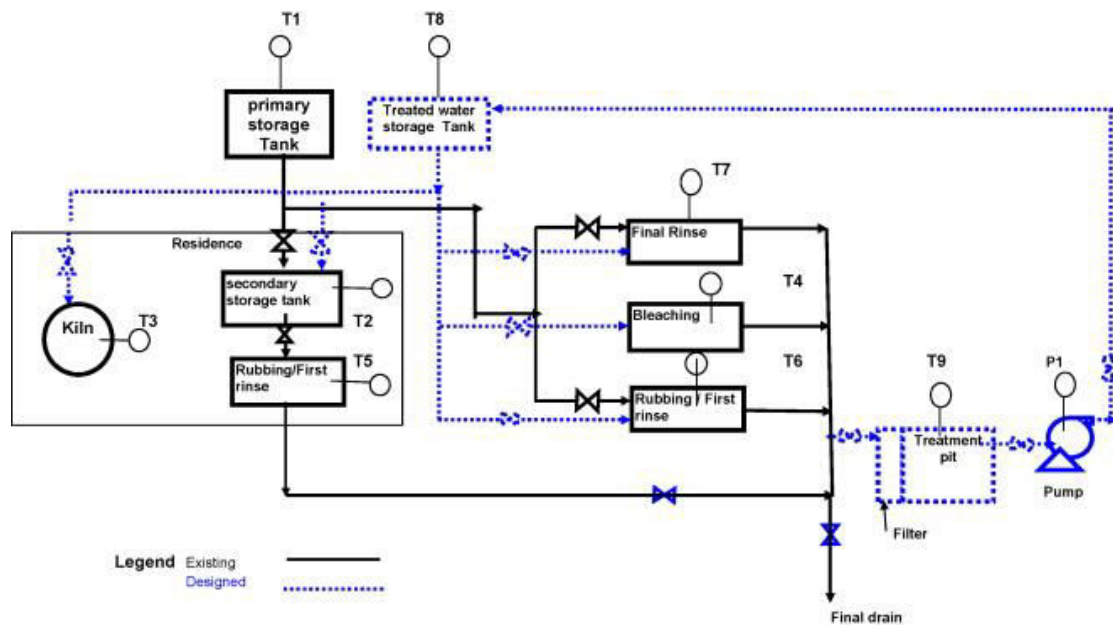
Το 2001 οι Tsuboi et al. [65] καταχώρησαν ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σχετικά με ένα ολοκληρωμένο σύστημα εκκενώσεως για λιπαρά και μη λιπαρά υγρών αποβλήτων που παράγονται στα πλοία. Το σύστημα συνδυάζεται με μεμβράνες υπερδιήθησης και θερμικής καύσης.

Οι Nemser και Cragg [66] εφήρμοσαν μια μεμβράνη επικαλυμμένη με διοξόλες χαμηλής ενεργειακή επιφάνεια, η οποία θα επιτρέψει τη μείωση της ρύπανσης. Οι συγγραφείς αναφέρουν τη χρησιμότητα εφαρμογής των μικρο και υπερδιήθησης μεμβρανών για την επεξεργασία απόνερων-λυμάτων επί του πλοίου.

Ένα άλλο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 2001 προτείνει τη χρήση κινητού δοχείου επεξεργασίας των λυμάτων των πλοίων [67]. Η επιτόπια κατεργασία πολλαπλών σταδίων των υδάτων περιλαμβάνει ένα στάδιο προ-επεξεργασίας που συνίσταται στη συλλογή, εξισορρόπηση, καθώς και στην αφαίρεση των στερεών που ακολουθείται από ένα δεύτερο στάδιο το οποίο περιλαμβάνει ένα σύστημα μεμβράνης υπερδιήθησης ή μικροδιήθησης της ροής. Το σύστημα είναι κατά προτίμηση εφοδιασμένο είτε με πολυμερή χαμηλής πίεσεως ή με μεμβράνης κοίλων ινών και λειτουργεί υπό κενό. Μερικοί βοηθητικοί παλμοί ή περιοδική τυρβώδη ροή εφαρμόζεται επί του σκάφους για να καθαρίσει η μεμβράνη.

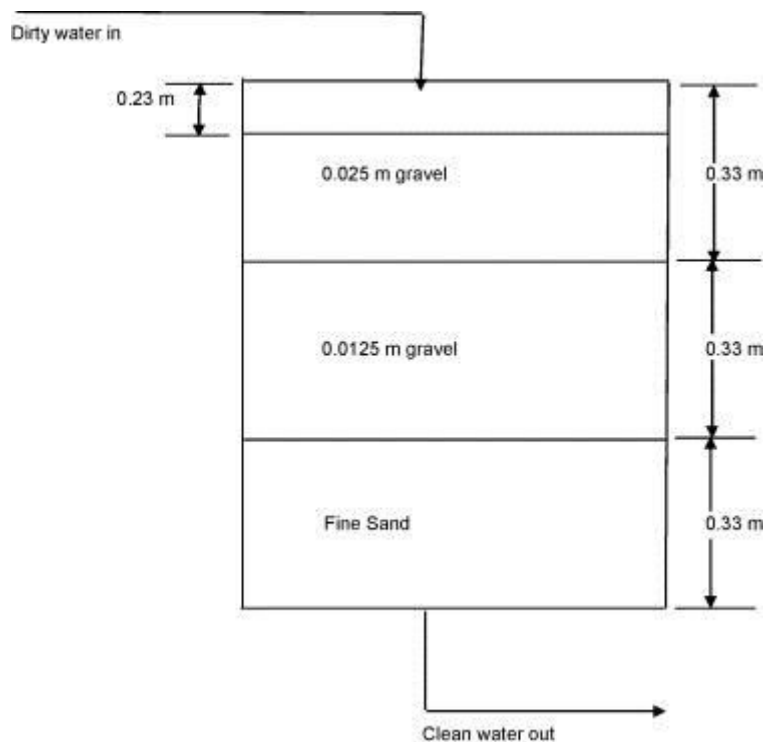
Το 2009 κατοχυρώνεται ευρεσιτεχνία από τους Markle και Jones [68] η οποία επιτρέπει την επεξεργασία των γκρι και μαύρων νερών σε διαφορετικές μονάδες. Η ροή αφού διέλθει μέσα από ειδικά φίλτρα ανίχνευσης και διαχωρισμού πολυαιθυλενίου, τα γκρι νερά συνεχίζουν σε συστήματα μεμβράνης διήθησης και προηγμένης ζώνης οξειδωσης. Το επεξεργασμένο γκρι νερό θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί σε διάφορα συστήματα τεχνικά όπου κάνουν χρήση νερού.

Γενικότερα, η επεξεργασία των γκρίζων νερών έχει απασχολήσει κατά πολύ πολλές ερευνητικές ομάδες. Για παράδειγμα, έχουν προταθεί πορώδης μεμβράνες με κύκλωμα ανακύκλωσης, όπως αντικατοπτρίζεται στην Εικ. 4.1 [69].



Εικόνα 4.1. Διάγραμμα ροής γραμμής πλυντηρίων ρούχων επί του πλοίου, με χρήση πορώδων μεμβρανών και ανακύκλωση [69].

Πρόκειται για ένα πραγματικό πλυντήριο ρούχων το οποίο τροποποιήθηκε για τις ανάγκες της μελέτης. Όπως φαίνεται με μαύρες γραμμές απεικονίζεται το ήδη υπάρχον τμήμα και με μπλε οι παρεμβάσεις. Το νερό από το πλυντήριο αποθηκεύεται στη δεξαμενή (T1), η οποία εξυπηρετεί τις καθημερινές ανάγκες απόρριψης νερού και έχει όγκο 3.785 m^3 και είναι τοποθετημένη σε ύψος 5 m από το έδαφος. Από αυτή τη δεξαμενή η γραμμή πλυντηρίων τροφοδοτείται νερό. Η T2 είναι μια δεύτερη δεξαμενή η οποία για ευκολία είναι τοποθετημένη στο έδαφος και έχει χωρητικότητα 0.36 m^3 . Το T3 ζεσταίνει το νερό και χρησιμοποιείται ως καμίνι. Το T4 χρησιμοποιείται για τη λεύκανση των ρούχων, ενώ το T5 και T6 για τις πρώτες πλύσεις και το T7 για την τελευταία πλύση. Από όλη τη διαδικασία απορρέει 1.8 m^3 νερού το οποίο χάνεται και αυξάνει το κόστος πλύσης. Με βάση λοιπόν τη λογική επαναχρησιμοποίησης του νερού και μείωσης των λυμάτων του πλοίου προτάθηκε η χρήση πορώδων φίλτρων με την ακόλουθη εσωτερική δομή Εικ. 4.2.



Εικόνα 4.2. Χονί με φυσικά πορώδη φίλτρα [69].

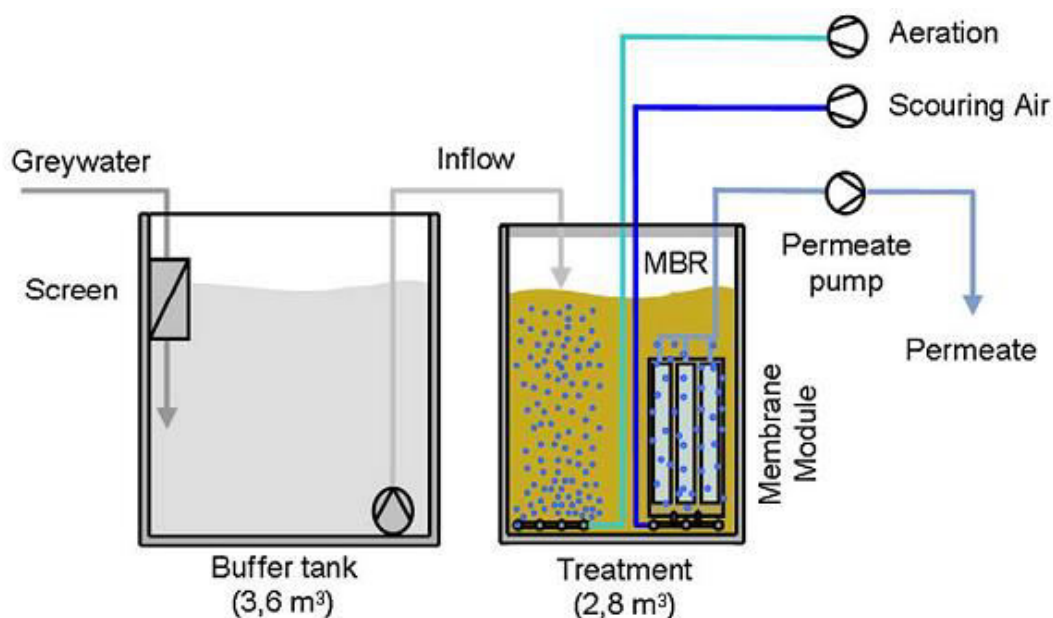
Ωστόσο με βάση τα αποτελέσματα δεν υπήρχε θεαματική βελτίωση, καθώς η μείωση κάποιων παραμέτρων δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1. Χημικοί και φυσικοί παράμετροι πριν και μετά την επεξεργασία [69].

Παράμετρος	Λύματα	Νερό διήθησης	Νερό βρύσης
pH	8.02	7.71	7.50
Θερμοκρασία	30.0	28.0	30.0
TSS (ppm)	380	40.0	3.5
TDS (ppm)	540	380	250
BOD (ppm)	42.0	40.0	3.0
COD (ppm)	310	310	55.0
Θολότητα (NTU)	10.27	2.40	0.00
ΤH (ppm)	240	150	262
Υπολείμματα (ppm)	σιδήρου 0.40	6.0	0.00

Ένα σύγχρονο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων προτεινόμενο στη βιβλιογραφία είναι αυτό όπου χρησιμοποιεί φορητό βιο-φιλμ σε έναν αντιδραστήρα φορητής καταλυτικής κλίνης [70]. Το φορητό βιοφιλμ, πολλές φορές μπορεί να συνδυαστεί με μια μονάδα διήθησης μεμβράνης [71].

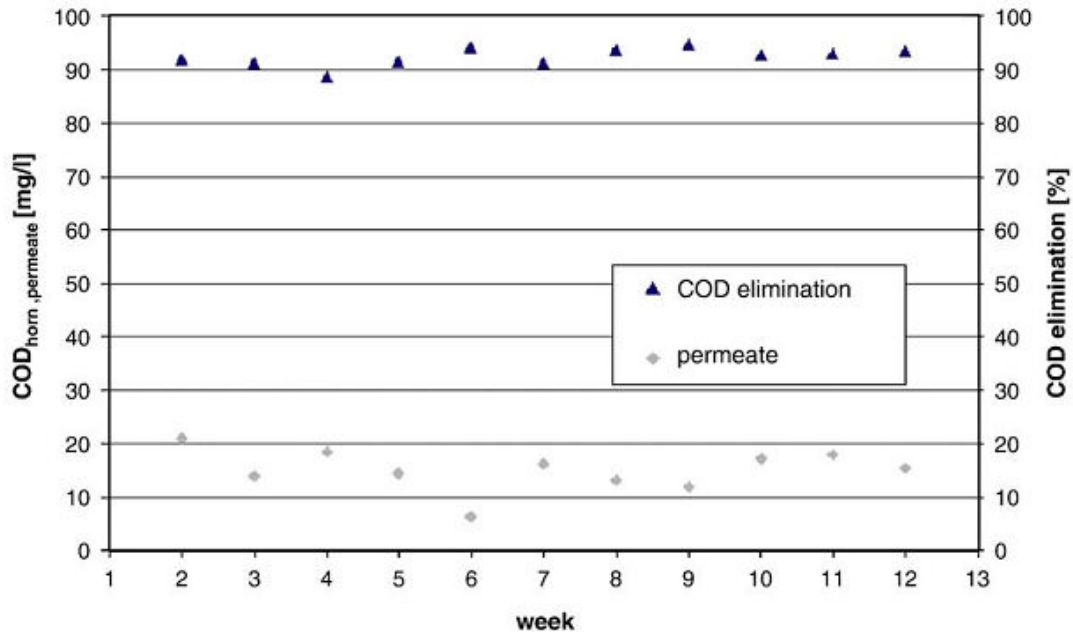
Οι μικροπορώδη μεμβράνες όμως λόγω της μη τόσο καλής αποδοτικότητας τους παρουσίασαν σημεία αμφισβήτησης από πολλούς. Η ποιότητα του επεξεργασμένου νερού όπως αναλύθηκε και στον Πίνακα παραπάνω φαίνεται ότι δεν είναι και πολύ ικανοποιητική για να επαναχρησιμοποιηθεί για νερό ντους. Έτσι για τη βελτίωση των γκρι επεξεργασμένων νερών προτείνεται η προσθήκη βιολογικής επεξεργασίας στις πορώδη μεμβράνες (Εικ. 4.3) [72].



Εικόνα 4.3. Σύστημα επεξεργασίας γκρι νερών με ενσωμάτωση βιολογικής επεξεργασίας στις πορώδης μεμβράνες[73].

Η προσθήκη βιολογικής επεξεργασίας όπως δίνεται και στην Εικ. 4.4, επέφερε πολύ μεγάλο αποτέλεσμα στη μείωση του COD. Η μείωση του COD έγινε σε βαθμό >90%, ενώ το επιτρεπόμενο COD που διαπερνούσε τη μεμβράνη ήταν κάτω από 22 mgL⁻¹.

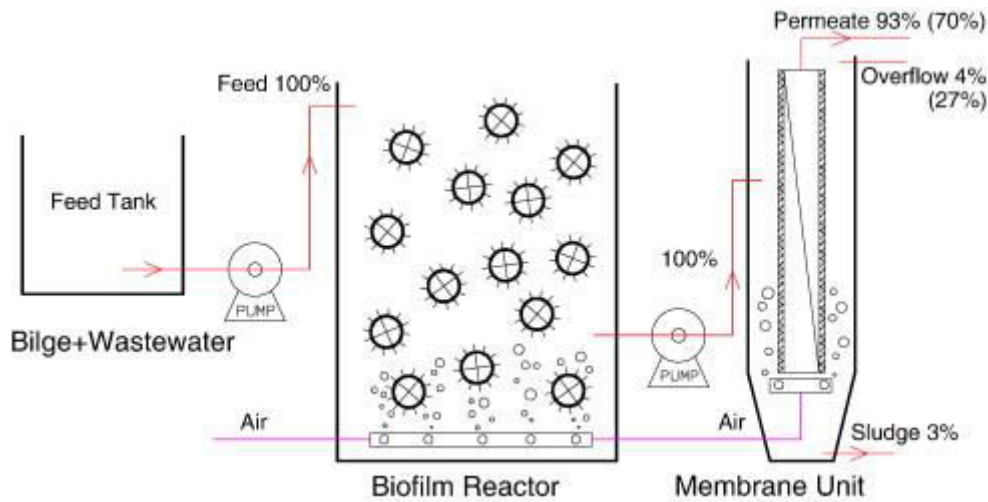
Σήμερα, το πλοίο Holland America Veendam έχει εξοπλιστεί με ένα αερόβιο επεξεργαστή για την αντιμετώπιση των γκρίζων νερών (διαμονή, πλυντήριο, πολτοποιητή τροφίμων και μαγειρείων λυμάτων) που αναμειγνύονται με τα λύματα. Το σύστημα έχει μια ημερήσια δυναμικότητα επεξεργασίας ίση με 700 m³[74].



Εικόνα 4.4. Μείωση COD με τη χρήση ενσωματωμένου βιολογικού επεξεργαστή σε μικροπορώδη μεμβράνες [73].

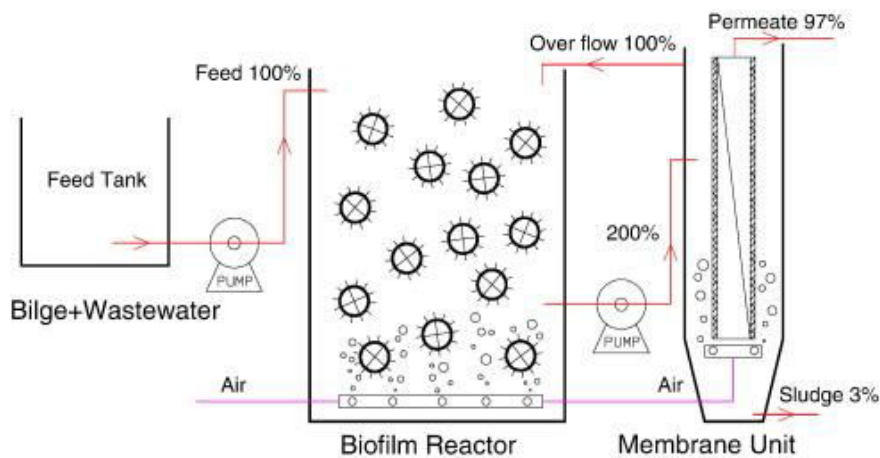
Στο πλοίο Queen Mary II πλοίο, τα γκρίζα νερά υπόκεινται σε επεξεργασία από ένα βιοαντιδραστήρα εξωτερικής μεμβράνης εξοπλισμένο με μονάδες υπερδιήθησης Pleiade®, όπως επίσης και το πλοίο Island Princess [74].

Στην Εικ. 4.5 αντικατοπτρίζεται ένα πρόσφατο καινοτόμο σύστημα επεξεργασίας με φορητό βιοφιλμ. Αρχικά τα λύματα τροφοδοτούνται στον αντιδραστήρα ο οποίος εμπεριέχει το φορητό βιοφιλμ που αποτελεί ουσιαστικά τη φορητή καταλυτική κλίνη και στη συνέχεια αφού έχουν επεξεργαστεί εν μέρει τροφοδοτούνται σε μονάδα με μεμβράνη διήθησης όπου πραγματοποιείται σχεδόν 100% επεξεργασία των λυμάτων. Και στον αντιδραστήρα και στη μονάδα με τη μεμβράνη τροφοδοτείται αέρας στον πάτο των μονάδων για να βοηθήσει την επεξεργασία. Επίσης όπως παρατηρείται το 4% των επεξεργασμένων λυμάτων χάνεται ενώ το 3% από την τροφοδοσία καταλήγει με τη μορφή λάσπης.



Εικόνα 4.5. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με φορητό βιοφίλμ σε αντιδραστήρα φορητής καταλυτικής κλίνης με χρήση μονάδας διήθησης μεμβράνης [71].

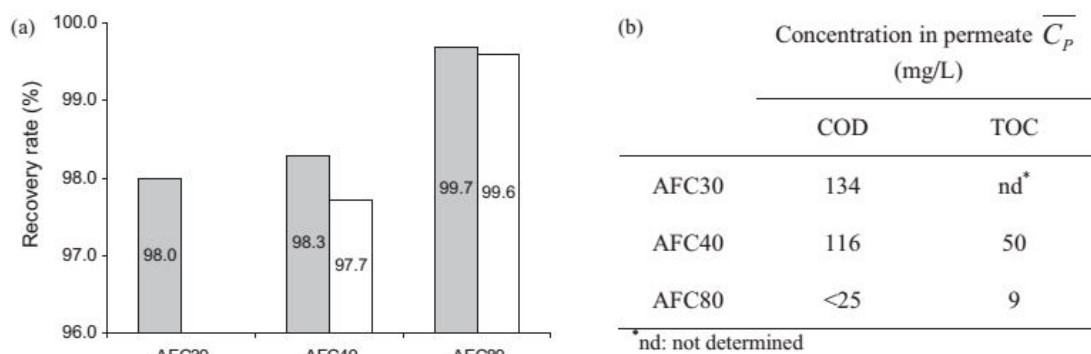
Στην Εικ. 4.6 αντικατοπτρίζεται το ίδιο σύστημα σε πιο εξελιγμένη μορφή. Στη μονάδα μεμβράνης διήθησης όταν γίνεται υπερχειλίση το ποσό των λυμάτων που χάνεται επιστρέφει στον αντιδραστήρα φορητής κλίνης με αποτέλεσμα να χάνεται μόνο το 3% των λυμάτων σε μορφή λάσπης.



Εικόνα 4.6. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με φορητό βιοφίλμ σε αντιδραστήρα φορητής καταλυτικής κλίνης με χρήση μονάδας διήθησης μεμβράνης και με σύστημα ανακύκλωσης [71].

Όπως προαναφέρθηκε τα γκρι νερά τα οποία προέρχονται από ντους, πλυντήρια, ύστερα από την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να διατεθούν στη θάλασσα και αν οι κανονισμοί της θάλασσας στην οποία βρίσκονται το επιτρέπουν.

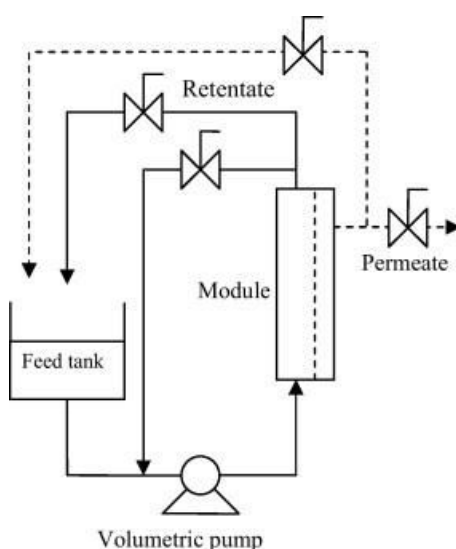
Για καλύτερα αποτελέσματα με στόχο την παραγωγή καθαρότερου επεξεργασμένου νερού έγινε εκμετάλλευση της νανοτεχνολογίας και αναπτύχθηκαν νανοδομημένες μεμβράνες. Αυτές σε συνδυασμό με την αντίστροφη ώσμωση επέφεραν τα επιθυμητά αποτελέσματα.



Εικόνα 4.7. Αποτελέσματα διήθησης με ποικίλες νάνο-μεμβράνες (AFC) σε γκρι νερά πλυντηρίων ρούχων επί του πλοίου, COD (γκρι μπάρα), TOC (λευκή μπάρα) [75].

Σε σύγκριση με τις μικροπορώδεις μεμβράνες οι νανο-μεμβράνες παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό ανάκτησης. Στον Πίνακα δίπλα δίνονται οι αρχικές τιμές των παραμέτρων COD και TOC.

Ένα πιλοτικό σύστημα επεξεργασίας με χρήση νάνο-μεμβρανών απεικονίζεται στην Εικ. 4.8.



Εικόνα 4.8. Πιλοτικό σύστημα επεξεργασίας γκριζών νερών με χρήση νάνο-μεμβρανών.

4.2 Ηλεκτροχημικά συστήματα επεξεργασίας

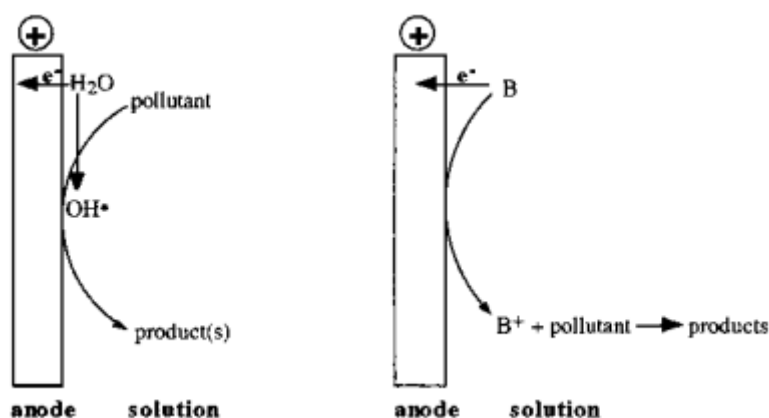
Όπως προαναφέρθηκε τα σεντινόνερα, είναι το χαμηλότερο εσωτερικό μέρος του κύτους του πλοίου κάτω από το μηχανοστάσιο και τους λέβητες [13]. Τα σεντινόνερα είναι δύσκολο να υποστούν επεξεργασία καθώς περιέχουν θαλασσινό νερό, καύσιμα, λάδια και λίπη, τα απορρυπαντικά και επιφανειοδραστικές ουσίες. Επιπλέον, είναι πιο δύσκολο να επεξεργαστούν τα σεντινόνερα σε σύγκριση με το διαχωρισμό των συμβατικών γαλακτωμάτων ελαίου/νερού λόγω της μεταβλητής φύσης και σύνθεσης τους. Τυπικά τα ύδατα των υδροσυλλεκτών περιέχουν λάδι στις ελεύθερες, γαλακτωματοποιημένες και διαλυτές φάσεις.

Στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί διάφορες φυσικοχημικοί μέθοδοι για την επεξεργασία των υδάτων των υδροσυλλεκτών. Ωστόσο, η παρουσία των απορρυπαντικών, επιφανειοδραστικών ή/και υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών προκαλεί χημική γαλακτωματοποίηση του ελαίου, και η ανεπαρκής απομάκρυνση του πετρελαίου θα μπορούσε να αναμένεται με τη βαρύτητα ή τα συστήματα συσσωμάτωσης [76, 77]. Από την άλλη πλευρά, η επεξεργασία με στοιχεία συσσωμάτωσης παρέχει λύματα λιγότερο από 20 mg / L του πετρελαίου σε περίπτωση απουσίας απορρυπαντικών.

Οι Carlan et al. [76] ανέφεραν ότι τα γαλακτωματοποιημένα σταγονίδια ελαίου κάτω από 20 μm σε διάμετρο δεν μπορούσαν να διαχωριστούν με συμβατικά συστήματα ελαίου / νερού και ο χρόνος επεξεργασίας είναι εξαιρετικά αργός. Επίσης ανέφεραν ότι οι δοκιμές απόδοσης των διαχωριστών παράλληλων πλακών ελαίου / νερού και συσσωμάτωσης διαχωριστές στεφάνης σε πλοία MSC είχαν συχνά υπερβεί τα 15 mg / L των συγκεντρώσεων πετρελαίου. Οι Woytowich et al. [78] ανέφεραν επίσης ότι το διαλυμένο πετρέλαιο δεν μπορεί να αφαιρεθεί με φυσικές μεθόδους διαχωρισμού.

Η μείωση των οργανικών ρύπων στα λύματα θα μπορούσε να επιτευχθεί με τους έμμεσους και άμεσους ηλεκτροχημικούς μηχανισμούς [79]. Μια μονάδα ηλεκτροχημικής επεξεργασίας απεικονίζεται στην Εικ. 4.9. Στην άμεση οξειδωση, οι οργανικοί ρύποι οξειδώνονται μετά την προσρόφηση στην επιφάνεια της ανόδου με τη συμμετοχή του ηλεκτρονίου, το οποίο είναι θεωρητικά σε χαμηλά δυναμικά πριν την παραγωγή οξυγόνου. Η άμεση ηλεκτροχημική οξειδωση εξαρτάται από την ηλεκτροκαταλυτική δραστηριότητα του ανοδικού υλικού. Εν τούτοις, οι αντιδράσεις

οξειδωσης σε αδρανή ανόδους είναι αργή, λόγω των αργού βήματος της κινητικής της αντίδρασης.

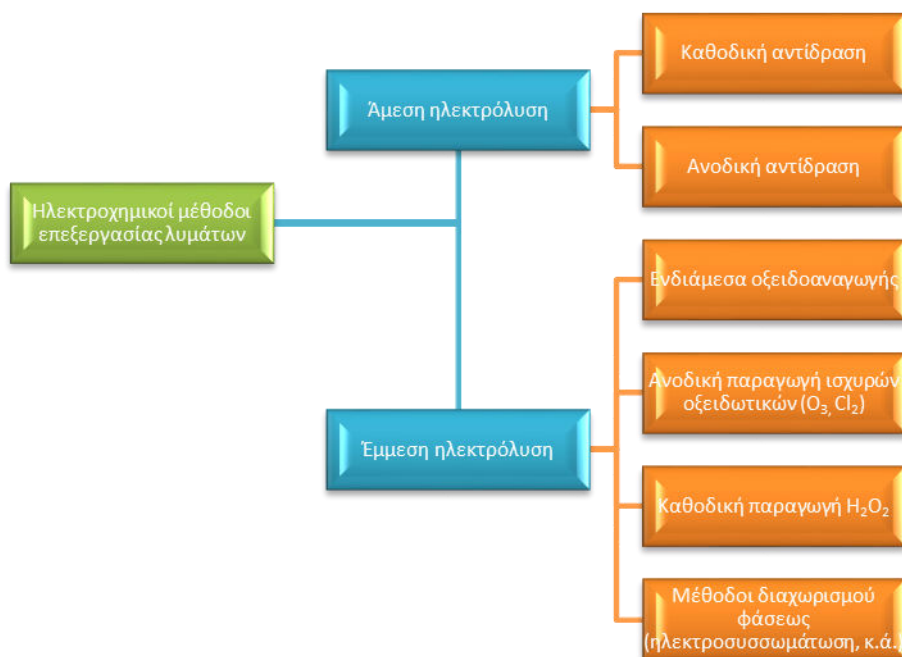


Εικόνα 4.9. Παραδείγματα συστημάτων άμεσης και έμμεσης (από αριστερά στα δεξιά) ηλεκτροχημικής επεξεργασίας [80].

Το κύριο πρόβλημα της ηλεκτροχημικής οξειδωσης σε ένα σταθερό δυναμικό ανόδου πριν την έκλυση οξυγόνου είναι η μείωση στην καταλυτική δράση του ηλεκτροδίου. Η αξιοποίηση της έμμεσης οξειδωσης εμποδίζει την ρύπανση του ηλεκτροδίου και αποφεύγει την άμεση ανταλλαγή ηλεκτρονίων μεταξύ των οργανικών ρύπων και την επιφάνεια της ανόδου [80].

Στην έμμεση ηλεκτρόλυση, οι οργανικοί ρύποι οξειδώνονται με τη μεσολάβηση των ηλεκτροχημικών αντιδραστηρίων οξειδοαναγωγής που δημιουργούνται. Το ενεργό χλώριο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο στο νερό και στην επεξεργασία λυμάτων μέσα από τα ανοδικά δημιουργούμενα ισχυρά χημικά οξειδωτικά. Ως εκ τούτου, οι περισσότερες ηλεκτροχημικές μέθοδοι βασίζονται στην έμμεση ηλεκτρόλυση κατά την οποία οι οργανικοί ρύποι μέσα στο διάλυμα απομακρύνονται με δραστικά είδη που παράγονται με τη βοήθεια μιας αναστρέψιμης ή μη αναστρέψιμης διαδικασίας, και το οξειδοαναγωγικό αντιδραστήριο μπορεί να ηλεκτροπαραχθεί είτε από την ανοδική ή την καθοδική διαδικασία [80].

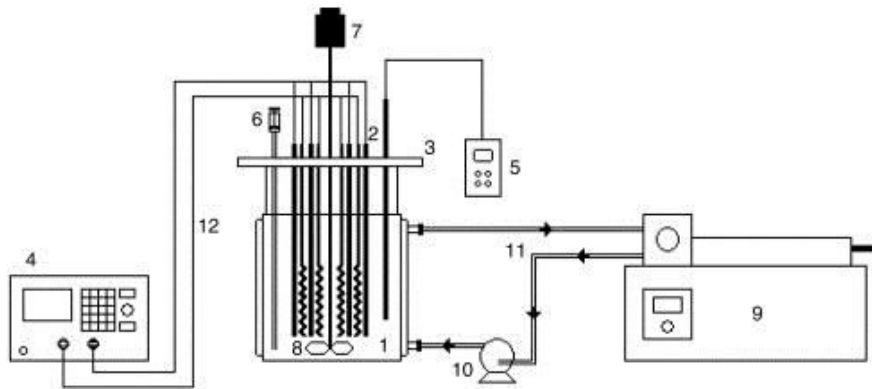
Στην Εικ. 4.10 δίνεται ένα γενικό διάγραμμα κατηγοριοποίησης των ηλεκτροχημικών μεθόδων επεξεργασίας των λυμάτων. Στην παρούσα ωστόσο εργασία θα αναφερθούν αυτές που έχουν κατασκευασθεί και μελετηθεί από την ερευνητική κοινότητα.



Εικόνα 4.10. Κατηγοριοποίηση των ηλεκτροχημικών μεθόδων επεξεργασίας λυμάτων [80].

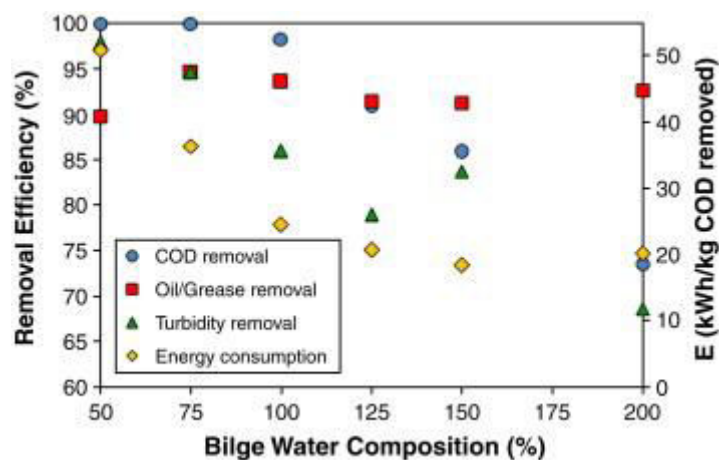
Οι Bahadir et al. [81] αναφέρουν την κατασκευή μιας μονάδας ηλεκτροχημικής επεξεργασίας η οποία θα λειτουργεί επί του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα η ερευνητική ομάδα τους απέδειξε ότι ο χρόνος παραμονής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Με βάση τα αποτελέσματα τους το χημικό οργανικό φορτίο αφαιρέθηκε μέχρι και 90%. Γενικότερα για τις ηλεκτροχημικές μεθόδους έχουν μελετηθεί ποικίλα ηλεκτρόδια.

Πιο αναλυτικά ηλεκτρόδιο Pt/Ir μελετήθηκε από την προαναφερόμενη ερευνητική ομάδα για τη δημιουργία μιας μονάδας επί του πλοίου (Εικ. 4.11) [82].



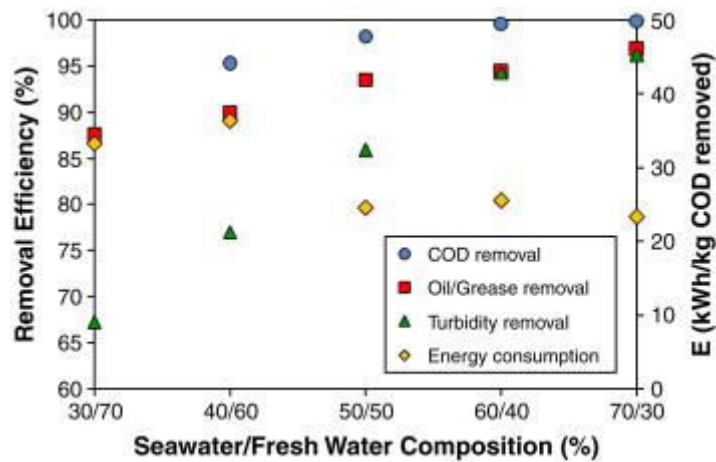
Εικόνα 4.11. Ηλεκτροχημικό αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης. 1. Δοχείο αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης, 2. Pt/Ir ηλεκτρόδιο ανόδου και Fe ηλεκτρόδιο καθόδου, 3. Βάση για τα ηλεκτρόδια, 4. DC πηγή ισχύος, 5. ψηφιακό θερμομέτρο, 6. Κελί δειγματοληψίας, 7. Μοτέρ κίνησης, 8. Γυάλινο δοχείο ανάμειξης, 9. Δοχείο θέρμανσης/ψύξης, 10. Αντλία θέρμανσης/ψύξης, 11. Τροφοδοσία θέρμανσης/ψύξης, 12. Τροφοδοσία ρεύματος [82].

Η παραπάνω ερευνητική ομάδα απέδειξε ότι η σύνθεση των λυμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία επεξεργασίας τους.



Εικόνα 4.12. Επίδραση σύνθεσης λυμάτων στην επεξεργασίας τους [82].

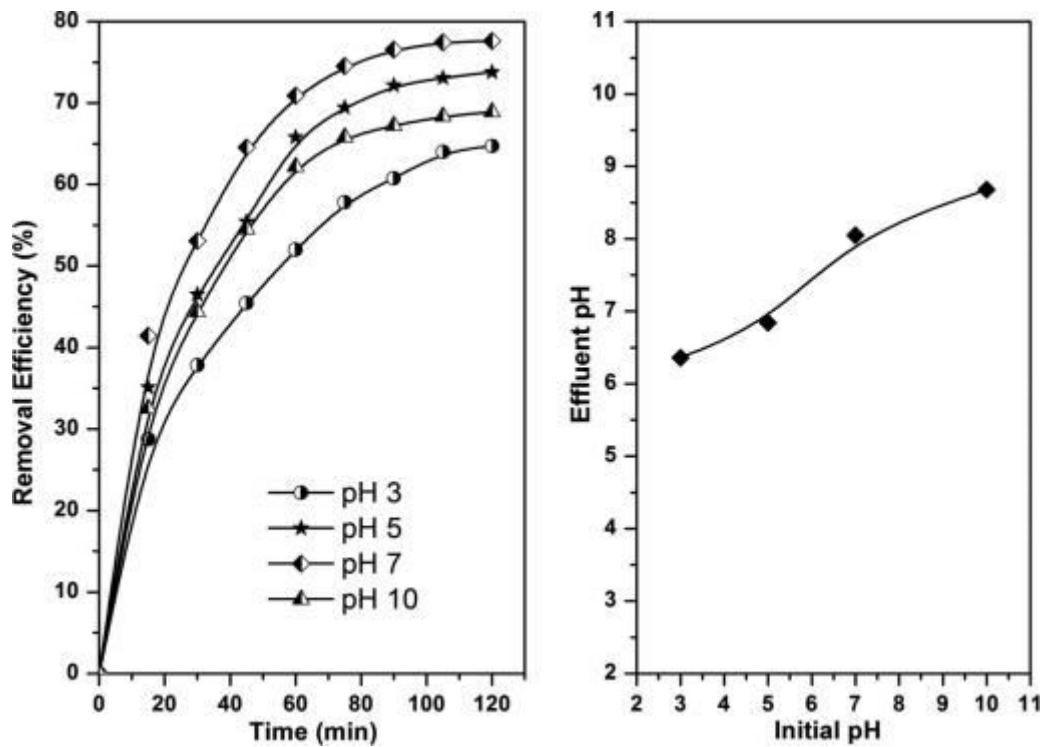
Ενώ αρχικά παρατηρείται μείωση της απόδοσης της επεξεργασίας με την αύξηση του ποσοστού των λυμάτων μετά από κάποιο ποσοστό (150%) παρατηρείται αύξηση της απόδοσης της επεξεργασίας. Επίσης μεγάλο ρόλο παίζει και το ποσοστό του θαλασσινού νερού στην επεξεργασία, όπως αντικατοπτρίζεται στην Εικ. 4.13.



Εικόνα 4.13. Επίδραση του λόγου θαλασσινό νερό/φρέσκο νερό στην επεξεργασία.

Σε ποσοστό 70/30, θαλασσινό νερό προς φρέσκο νερό η απόδοση της επεξεργασίας ανέρχεται σε ποσοστό 95% καθώς και η κατανάλωση ενέργειας.

Η δυνατότητα εφαρμογής της ηλεκτροχημείας και στη διαδικασία της κροκίδωσης για τον καθαρισμό των σεντινόνερων έχει επίσης εξεταστεί και χρησιμοποιείται. Η τεχνολογία της ηλεκτροκροκίδωσης είναι περισσότερο ευέλικτη, συμπαγής και αρκετά λιγότερο ακριβή, υπόσχεται βελτίωση της επεξεργασίας των της σεντίνας. Η τεχνολογία της ηλεκτροκροκίδωσης είναι μια οικονομική και αξιόπιστη τεχνολογία, μια τεχνική λύση σε πολλά προβλήματα της ρύπανσης του περιβάλλοντος και η χρήση της έχει ευρέως αυξηθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Η αγωγιμότητα των υδροσυλλεκτών του νερού είναι υψηλή λόγω της υψηλής συγκέντρωσης χλωριούχου και αυτό το καθιστά κατάλληλο για την επεξεργασία του από την τεχνολογία ηλεκτροκροκίδωσης και απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και λιγότερη χρήση χημικών. Αυξημένη ένταση ρεύματος σε συνδυασμό με την μείωση του κόστους και της ενεργειακής τάσης επιτυγχάνεται λόγω της υψηλής αγωγιμότητας [83].



Εικόνα 4.14. Επίδραση του pH στη διαδικασία της ηλεκτροκροκίδωσης [84].

Στην Εικ. 4.14 αντικατοπτρίζεται η επίδραση του pH και η παραμονή των λυμάτων στο σύστημα επεξεργασίας στο ποσοστό καθαρισμού των λυμάτων. Όπως παρατηρείται σε όλες τις περιπτώσεις τα λύματα επεξεργάζονται πάνω από 60%. Επίσης όπως παρατηρείται μετά την επεξεργασία των λυμάτων το pH αυξήθηκε από την τιμή 3 στην τιμή 8. Στον Πίνακα 4.2 γίνεται σύγκριση της χημικής κροκίδωσης με την ηλεκτροκροκίδωση. Η ηλεκτροκροκίδωση έχει μέχρι και διπλάσια απόδοση στην απομάκρυνση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου.

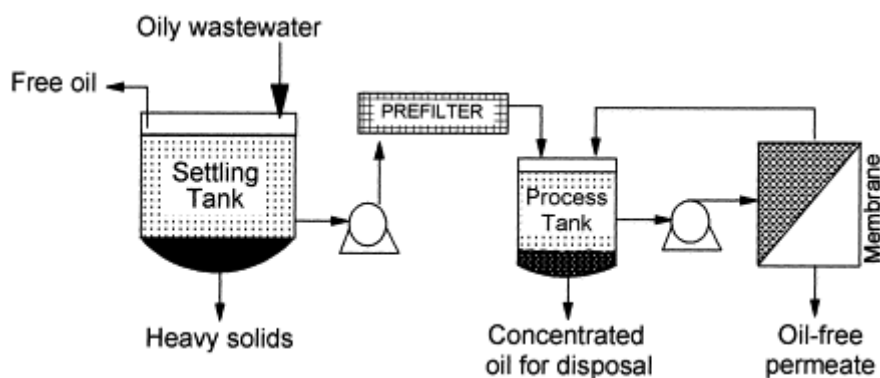
Πίνακας 4.2. Σύγκριση χημικής κροκίδωσης και ηλεκτροκροκίδωσης [84].

pH	Ποσότητα διαλυμένου Al (g/L)	Χημική κροκίδωση				Ηλεκτροκροκίδωση		
		Δόση αλουμινίου (g/L)	Τελικό pH	Αρχ. συγκ.θειού χων. (mg/L)	Τελική συγκ. θειούχων (mg/L)	CODS αφαίρεση (%)	Τελικό pH	COD's αφαίρεση (%)
3	0.0875	1.02	2.87	293.76	136.08	18.545	6.36	64.727
5	0.1413	1.648	3.62	474.62	287.45	51.273	6.84	73.818
7	0.1614	1.88	4.01	541.44	323.44	59.272	8.05	77.636
10	0.1012	1.176	7.32	338.69	189.82	33.818	8.65	68.909

Εκτός από τις ηλεκτροχημικές μεθόδους η επεξεργασία των νερών των υδροσυλλεκτών έχει διερευνηθεί με ποικίλες μεθόδους, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

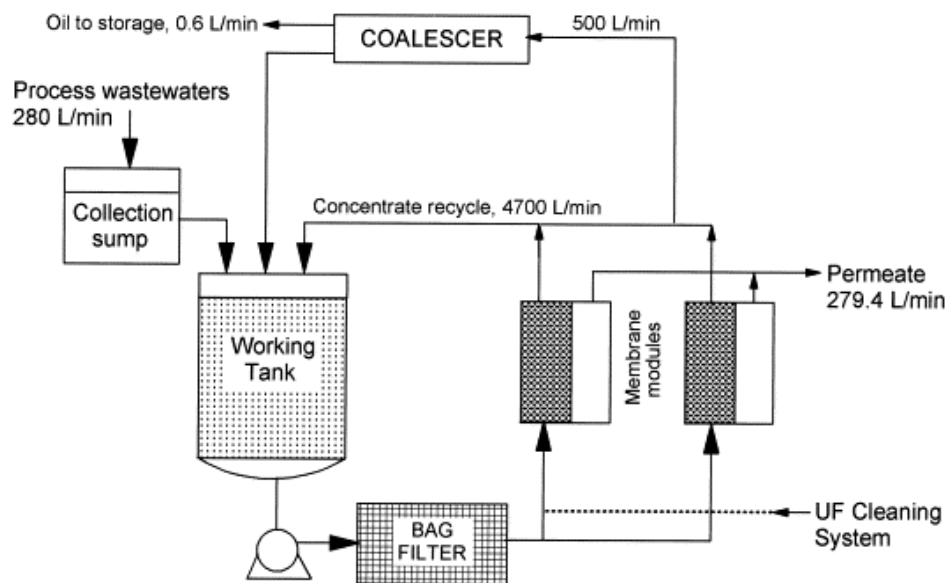
4.3 Τροποποιημένα συστήματα μεμβρανών

Η χρήση μεμβρανών είναι μια από τις κλασικές τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των απόβρωτων, όπως προαναφέρθηκε. Στην Εικ. 4.15 αντικατοπτρίζεται ένα κοινό σύστημα επεξεργασίας.



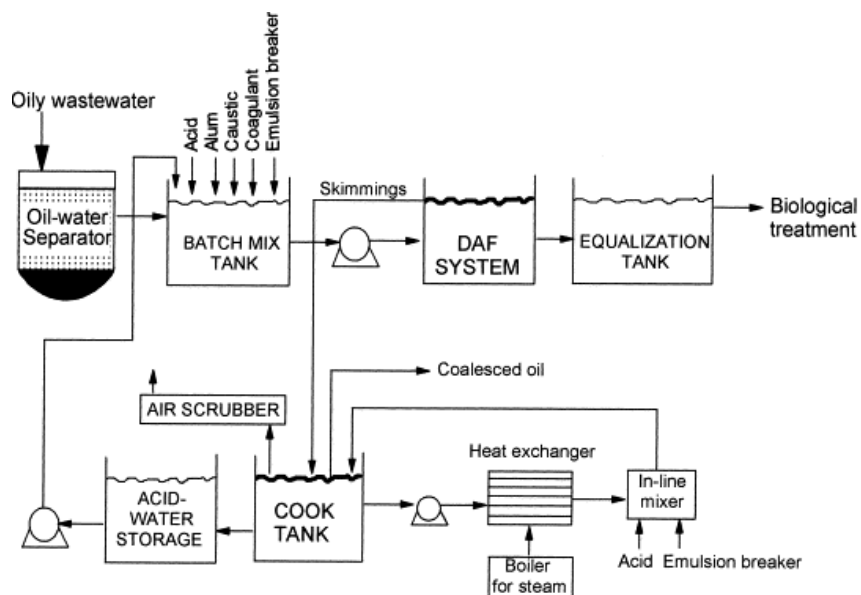
Εικόνα 4.15. Κοινό σύστημα μεμβράνης επεξεργασίας στασινόνερων [85].

Το πρόβλημα του παραπάνω συστήματος ήταν ότι δεν είχε ειδική επεξεργασία για τα λιπαρά οξέα. Έτσι προτάθηκε μια βελτίωση αυτού, όπως δίνεται στην Εικ. 4.16.



Εικόνα 4.16. Σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης για στασιμόνερα που εμπεριέχουν λιπαρά οξέα [85].

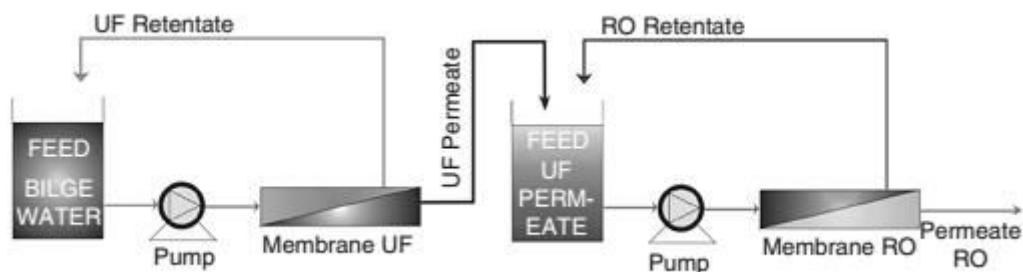
Στην Εικ. 4.17 αντικατοπτρίζεται ένα σύστημα για στασιμόνερα που εμπεριέχουν και χημικά και χρήζουν επεξεργασίας πριν την απόρριψή τους στη θάλασσα. Ωστόσο τέτοια συστήματα φυσικά κυρίως τις διαχωρίζουν τις φάσεις χωρίς να καθαρίζουν τα λύματα.



Εικόνα 4.17. Σύστημα επεξεργασίας στασιμόνερων με περιεχόμενο χημικών ουσιών [85].

Επί του σκάφους αποθήκευση των νερών των υδροσυλλεκτών δεν είναι πάντα εφικτό, απαιτείται αποκατάσταση και διαφορετικά είδη επεξεργασίας έχουν προταθεί. Από αυτά, οι φυσικές διαδικασίες είναι σήμερα οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές. Το πετρέλαιο-εντός-των υδροσυλλεκτών με τα οποία τα σκάφη πρέπει να είναι εξοπλισμένα κάνει την αποκατάσταση μιας τεράστιας ποσότητας λυμάτων αδύνατη. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν κάποια τεχνικά προβλήματα για αυτό το είδος των αντιδραστήρων και, με την παρουσία κάποιων σωματιδίων ή σε συνδυασμό με έναν αποτυχημένο ανιχνευτή, η απόρριψη στη θάλασσα μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και όταν το περιεχόμενο πετρελαίου είναι υψηλότερο από 15 ppm. Άλλα προβλήματα είναι (i) το εξαιρετικά μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη διαδικασία διαχωρισμού η οποία μπορεί να ευνοήσει την αμετάκλητη διάλυση των οργανικών υλικών και (ii) η παρουσία απορρυπαντικών τα οποία προάγουν τον σχηματισμό γαλακτώματος.

Προς τη βελτίωση λοιπόν της τεχνικής της υπερδιήθησης έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές. Μια από αυτές είναι ο συνδυασμός υπερδιήθησης με αντίστροφη ώσμωση (Εικ.4.18) [15].

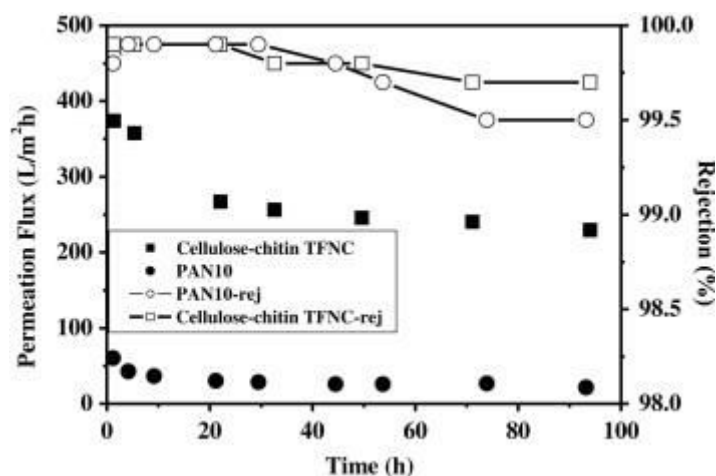


Εικόνα 4.18. Διάγραμμα ροής συστήματος επεξεργασίας υπερδιήθησης με αντίστροφη ώσμωση στασιόνερων [15].

Με αυτό το σύστημα παρατηρήθηκε μείωση του περιεχομένου του πετρελαίου κάτω από τα 10 ppm και μείωση της θολότητας και των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από 99.7%. Η αντίστροφη ώσμωση αποτελεί το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας των απόνερων. Επίσης σύμφωνα με τους ερευνητές τα αποτελέσματα υπακούουν και στους κανονισμούς της MARPOL.

Σήμερα ωστόσο η τεχνολογία των μεμβρανών έχει εξελιχθεί και προτείνουν μεμβράνες οι οποίες είναι κατασκευασμένες από νανοϋλικά. Οι Ma et al. [86] παρασκευάζουν και μελετούν μεμβράνη φτιαγμένη από λεπτές νανο-ίνες. Από την

Εικ. 4.19 είναι εμφανές ότι η καθαρότητα φτάνει το 99.5% για δυο συγκεκριμένα είδη μεμβράνης.



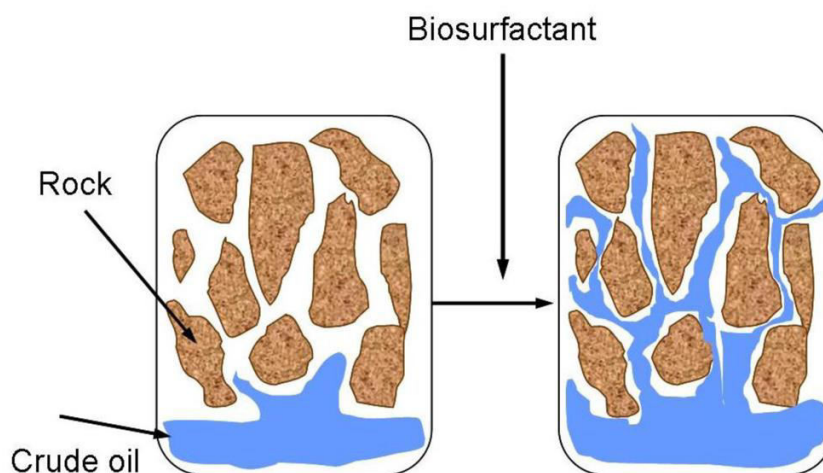
Εικόνα 4.19. Αποτελέσματα υπερδιήθησης γαλακτώματος με χρήση TFNC (thin-film nanofibrous composite) μεμβρανών που εμπεριέχουν προστατευτικό στρώμα σελουλόζης. Πάχος προστατευτικού στρώματος $0.5\pm 0.1\mu\text{m}$, εφαρμοζόμενη πίεση 30psi και θερμοκρασία $35\pm 2^\circ\text{C}$.

4.4 Συστήματα βιολογικών διεργασιών

Για να αντιμετωπιστεί το προαναφερόμενο πρόβλημα με τα συστήματα επεξεργασίας με φυσικό τρόπο, βιολογικές διεργασίες έχουν προταθεί ως μέθοδος επεξεργασίας για την απομάκρυνση υδρογονανθράκων από αυτό το είδος της εκροής. Ένα πιλοτικό βιοαντιδραστήρα που περιέχει μικροοργανισμούς δοκιμάστηκε επί του Capela Lobos MARAD μηχανοκίνητου σκάφους σε συνδυασμό με μια φυσική διαδικασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πάνω από 300 m^3 θα μπορούσαν να αντιμετωπίζονται κάθε μήνα με αυτόν τον τρόπο [87].

Πιο πρόσφατα, η παρουσία ορισμένων ειδών *Pseudomonas* στο πετρέλαιο υδροσυλλεκτών επισημάνθηκε επίσης και η βιοαποικοδόμηση του πετρελαίου μελετήθηκε με τη χρήση αυτών των οργανισμών. Αυτά τα βακτηρίδια είναι σε θέση να αποδομούν το 70% των εξανίων των εκχυλίσμων οργανικών ουσιών και το 90% των αρωματικών ενώσεων. Η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας μπορεί επίσης να βελτιωθεί με τη χρήση κυκλοδεξτρινών ως μόρια φορείς για την αύξηση της διαλυτότητας σε νερό των χαμηλών υδατοδιαλυτών υδρογονανθράκων. Για παράδειγμα μετά από 120 ώρες επεξεργασίας μόνο το 15% του δεκαεξανίου απέμεινε μη διεσπαρμένο, έναντι του 43% όταν δε χρησιμοποιούνται κυκλοδεξτρίνες [88].

Επίσης οι βιολογικοί απογαλακτωματοποιητές, όπως οι λεγόμενοι Alasan έχει βρεθεί να ενισχύουν σε μεγάλο βαθμό τη διαλυτοποίηση και βιοδιάσπαση πολυαρωματικών υδρογονανθράκων [89]. Στη βιβλιογραφία αρκετές ερευνητικές ομάδες έχουν μελετήσει το Alasan και άλλα παρόμοια στοιχεία [90, 91]. Στην Εικ.4.20 αντικατοπτρίζεται ο τρόπος με τον οποίο δρά ένας βιολογικός επεξεργαστής.

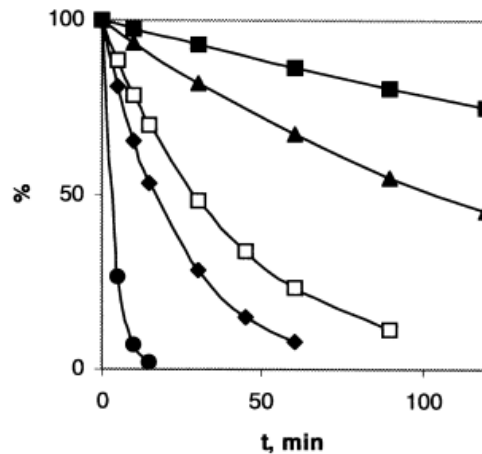


Εικόνα 4.20. Τρόπος δράσης ενός βιολογικού ‘επεξεργαστή’ [89].

4.5 Συστήματα φωτοκαταλυτικής μετατροπής

Η φωτοκατάλυση είναι μια προηγμένη διεργασία οξείδωσης με την οποία κάθε μολυσμένο δείγμα από οργανικό υπόστρωμα μπορεί να αποκαθίσταται μέχρι την ανοργανοποίησή του, με τη χρήση ενός ημιαγωγού (π.χ. TiO_2) και μία πηγή φωτονίων όπως μια λάμπα UV ή ηλιακό φως [92].

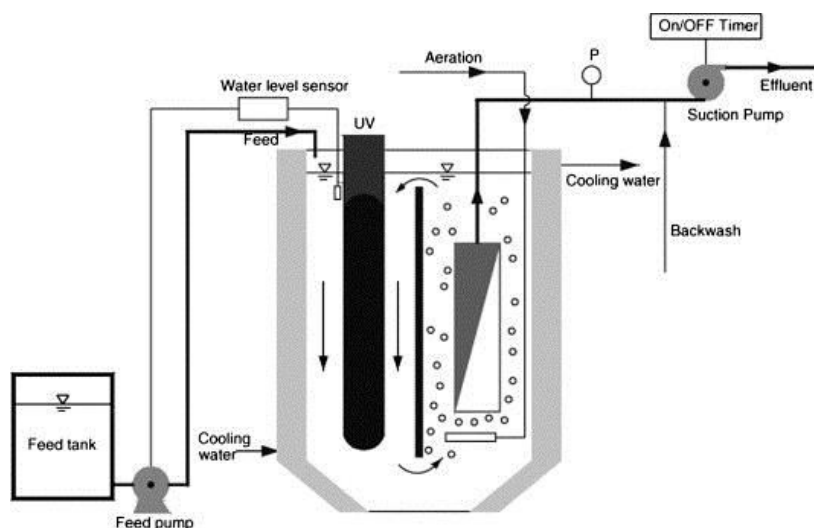
Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αναφορές σχετικά με επιτυχημένη απομάκρυνση υδρογονανθράκων από το νερό με τη διαδικασία της φωτοκατάλυσης. Για παράδειγμα οι Sturini et al. [93] χρησιμοποιώντας οξείδια του τιτανίου μπόρεσαν να μειώσουν σε μεγάλο βαθμό το οργανικό φορτίο, όπως δίνεται στην Εικ. 4.21.



Εικόνα 4.21. Φωτοκαταλυτική διάσπαση $C_{12}H_{26}$ 1(■), $C_{10}H_{21}CH=CH_2$ 2(▲), $C_{12}H_{25}SH$ 3(□), $C_{12}H_{25}OH$ 4(◆), $C_{11}H_{23}CHO_5$ (●).

Η χρήση των φωτο-αντιδραστήρων με τη βοήθεια παραβολικού φως εκτροπείς στις μέρες μας έχει γίνει δυσμενής, λόγω της ανάγκης ειδικών ρυθμίσεων και το υψηλό κόστος λειτουργίας. Αυτός ο τύπος αντιδραστήρα πρέπει να σχεδιαστεί ειδικά για να διασφαλιστεί ο μέγιστος φωτιζόμενος όγκος αντιδραστήρα με ελάχιστη απαίτηση πίεση για καλή ανάμιξη του καταλύτη και καλή διασπορά του. Μέχρι πρόσφατα, ο αντιδραστήρας φωτοκαταλυτικής λάσπης ήταν ακόμα η προτιμώμενη διαμόρφωση λόγω της υψηλής συνολικής επιφάνειας φωτοκατάλυσης ανά μονάδα όγκου και την ευκολία επανενεργοποίησης των φωτοκαταλυτών. Τα σωματίδια φωτοκαταλύτη μπορούν να διαχωριστούν με δεξαμενές καθίζησης ή σύστημα φιλτραρίσματος εξωτερικής εγκάρσιας ροής για να επιτρέπεται η συνεχής λειτουργία του αντιδραστήρα υδαρούς πολτού. Μία τεχνικά υποσχόμενη λύση για την επίλυση του κατάντη διαχωρισμού των σωματιδίων φωτοκαταλύτη μετά την επεξεργασία γίνεται μέσω της εφαρμογής υβριδικών διεργασιών φωτοκατάλυσης-μεμβράνης. Η εφαρμογή ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος εμποδίζει τη χρήση συσσωματοποιητή, κροκίδωσης ή καθίζησης προς διαχωρισμό των σωματιδίων καταλύτη από το επεξεργασμένο ρεύμα νερού. Άλλα οφέλη είναι η περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας και το μέγεθος της εγκατάστασης και ο χώρος που απαιτείται.

Τα υβριδικά συστήματα αντιδραστήρα φωτοκαταλυτικής μεμβράνης είναι γενικά γνωστά ως "αντιδραστήρες φωτοκαταλυτικής μεμβράνης" και είναι η τελευταία τάση στα φωτοκαταλυτικά συστήματα. Αυτό οφείλεται στη φύση του υβριδικού συστήματος, όπου η μονάδα διήθησης μεμβράνης μπορεί να διαμορφωθεί με διαφορετική προσδιορισμού θέσης μέσα στο φωτοκαταλυτικό αντιδραστήρα.

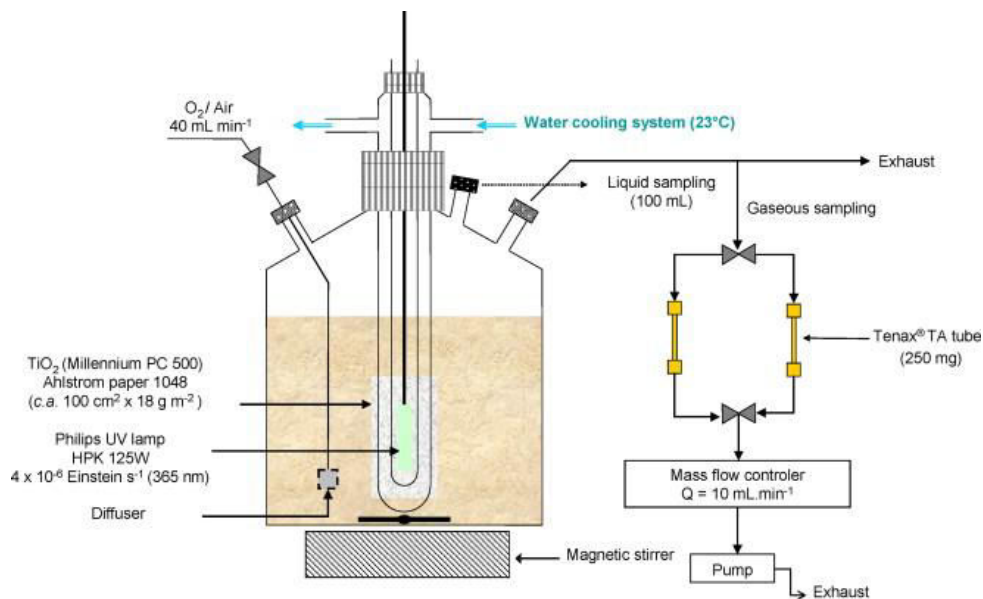


Εικόνα 4.22. Φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας δυο ζωνών [94].

Στην Εικ. 4.22 απεικονίζεται ένας φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας δυο ζωνών. Η μια η ζώνη η οποία εμπεριέχει το ηλεκτρόδιο και φωτοκαταλύτη σαν αιώρημα και η άλλη ζώνη της UV-TiO₂ μεμβράνης. Έτσι ο φωτοκαταλύτης μπορεί να τοποθετηθεί επάνω στη μεμβράνη ή σαν αιώρημα μέσα στο νερό της αντίδρασης.

Οι αντιδραστήρες φωτοκαταλυτικής μεμβράνης επιτρέπουν τη συνεχή λειτουργία του αντιδραστήρα υδαρούς πολτού τύπου χωρίς καμία απώλεια σωματιδίων φωτοκαταλύτη, καθώς και τον έλεγχο του χρόνου παραμονής του νερού, ανεξάρτητα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο επεξεργασμένο νερό να επιτύχει ένα προκαθορισμένο επίπεδο καθαρισμού προτού διηθηθεί μέσω του υβριδικού συστήματος της μεμβράνης. Στους αντιδραστήρες φωτοκαταλυτικής μεμβράνης με ακινητοποιημένο το σύστημα των μεμβρανών, η μονάδα μεμβράνης λειτουργεί ως υποστήριξη για τα σωματίδια φωτοκαταλύτη και ως εμπόδιο έναντι των διαφορετικών οργανικών μορίων στο νερό της αντιδράσεως. Ομοίως, η μεμβράνη ενεργεί επίσης ως ένα φυσικό φράγμα ενάντια στα σωματίδια φωτοκαταλύτη και τα οργανικά μόρια και οι ενδιάμεσες ενώσεις αποικοδομούνται στον πολτό της μεμβράνης. Σε συστήματα ακινητοποιημένης μεμβράνης η αντίδραση λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια της μεμβράνης ή στους πόρους της [95].

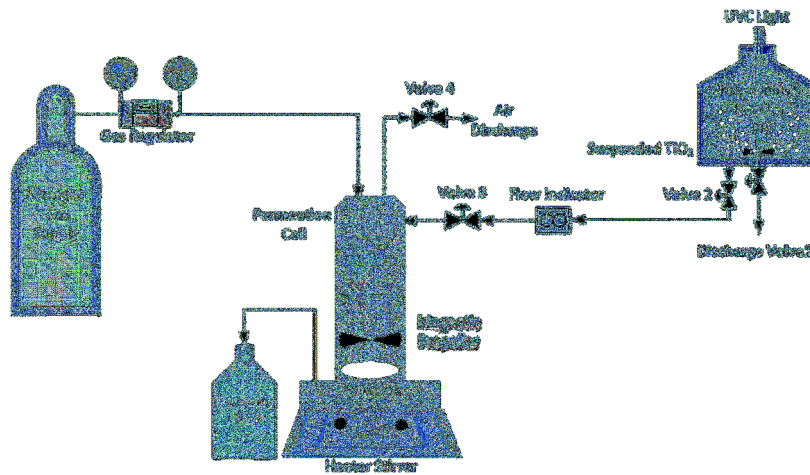
Ένα σύστημα συνδυασμού αέρα απογύμνωσης και φωτοκατάλυσης απεικονίζεται στην Εικ. 4.23.



Εικόνα 4.23. Σύστημα φωτοκαταλυτικού αντιδραστήρα σε συνδυασμό με αέρα απογύμνωσης [96].

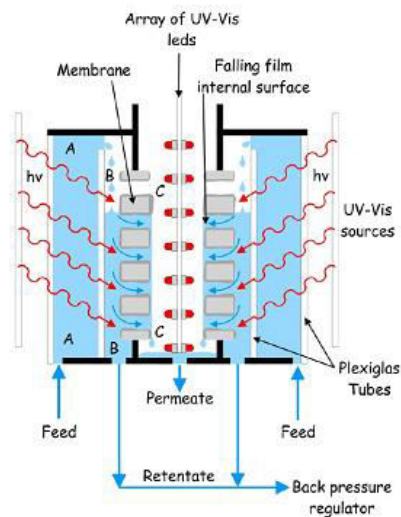
Δεδομένου ότι ο αερισμός παίζει ποικίλους ρόλους κατά τη διάρκεια της φωτοκαταλυτικής επεξεργασίας, ένα συνεργιστικό αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο, και προκειμένου να αξιολογηθεί καλύτερα η αποτελεσματικότητα της συνδυασμένης διαδικασίας, η συμπεριφορά και των δύο υδατικής και αέριας φάσης αξιολογήθηκαν [96]. Το μειονέκτημα αυτής της διεργασίας ήταν ότι όταν $Nc > 15$, τα *n*-αλκάνια απομακρύνονται με πολύ αργό ρυθμό με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται το όριο < 15 ppm που επιβάλλει ο κανονισμός MARPOL.

Οι Moslehyani et al. [97] παρασκεύασαν νάνο-μεμβράνες (νανοσωλήνες) και τις συνδύασαν με απλές μεμβράνες φθοριούχου πολυβινυλιδενίου με στόχο την πλήρη διήθηση των ρύπων. Με βάση τα αποτελέσματά τους ο καθαρισμός των υδρογονανθράκων έφτασε το 99%.



Εικόνα 4.24. Σύστημα φωτοκαταλυτικού αντιδραστήρα με συνδυασμό απλής μεμβράνης και νάνο-μεμβράνης [97].

Ένα άλλο τροποποιημένο φωτοκαταλυτικό σύστημα προτάθηκε από τους Romanos et al. [98], το οποίο συνδυάζει το φωτοκαταλυτικό αντιδραστήρα με την υπερδιήθηση (Εικ. 4.25). Το σύστημα αποτελείται από μια σειρά από λάμπες led, αλλά δέχεται και εξωτερικά ακτινοβολία. Επίσης υπάρχουν μικρά συστήματα μεμβρανών τα οποία είναι τοποθετημένα στη σειρά σε μικρή απόσταση το ένα από το άλλο.



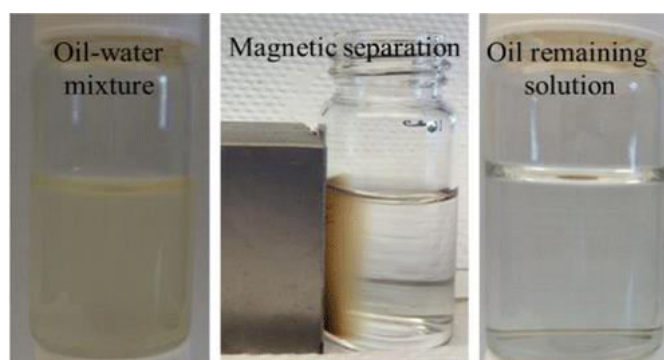
Εικόνα 4.25. Τροποποιημένος φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας με σύστημα υπερδιήθησης [98].

4.6 Καινοτόμα συστήματα μαγνητικών νανοσωματιδίων

Η νανοτεχνολογία προσφέρει μια νέα διαδρομή στη δυνητική αποκατάσταση της πετρελαϊκής ρύπανσης. Στη βιβλιογραφία μια εύκολη και χαμηλού κόστους μέθοδος η υδροθερμική μέθοδος αναπτύχθηκε για τη σύνθεση με πολυβινυλοπυρρολιδόνη επικαλυμμένα νανοσωματιδίων μαγνητίτη για το διαχωρισμό MC252 πετρελαίου από μίγμα ελαίου-νερού υπό περιβαλλοντικά σχετικές προϋποθέσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν απομάκρυνση ελαίου 100% από μίγμα ελαίου-νερού στο νερό (Εικ. 4.26).

Με βάση τα δεδομένα της αέριας χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας, περίπου το 100% της κατώτερης μάζας αλκανίων μοριακού (C9-C21) απομακρύνθηκαν μέσα σε 10 λεπτά με μαγνητικό διαχωρισμό λόγω των μαγνητικών ιδιοτήτων των νανοσωματιδίων και αυξάνοντας τον χρόνο διαχωρισμού για 40 λεπτά, περισσότερο από το 67% των C22-25 αλκανίων είχαν αφαιρεθεί. Επιπλέον, τα νανοσωματίδια απομάκρυναν σχεδόν 100% του ελαίου από συνθετικά διαλύματα θαλασσινού νερού υπό την παρουσία και απουσία φουλβικού οξέος.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτά τα νανοσωματίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του πετρελαίου πάνω από ένα μικρό χρονικό διάστημα με υψηλή απόδοση και υπό περιβαλλοντικά σχετικές συνθήκες.



Εικόνα 4.26. Απομάκρυνση ελαίου με τη βοήθεια μαγνητικών νανοσωματιδίων [99].

Ωστόσο στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν πολλές εργασίες που να εξετάζουν την επεξεργασία λυμάτων από πλοία με τη χρήση της μαγνητικής ιδιότητας των νανοσωματιδίων καθώς πρόκειται για ένα καινούργιο πεδίο εφαρμογής. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι όλα τα προαναφερόμενα συστήματα βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο ακόμα. Στην επόμενη υποενότητα γίνεται αναφορά στα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στα κρουαζιερόπλοια.

5 Συστήματα προστασίας περιβάλλοντος στα κρουαζιερόπλοια σήμερα

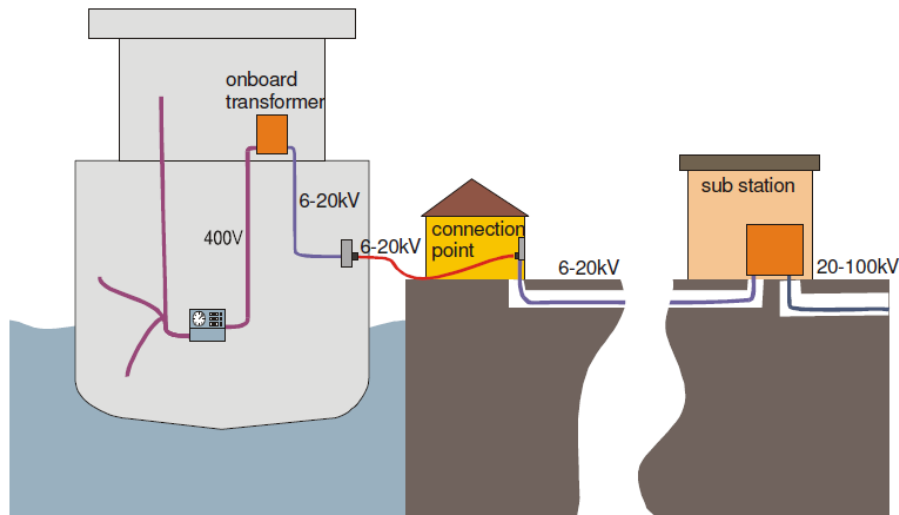
Ήδη από το 2006 μεγάλες εταιρίες ναυλώσεων κρουαζιερόπλοιων τείνουν όχι μόνο να υιοθετούν καινοτόμες τεχνολογίες για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και να εκπαιδεύουν κατάλληλα το προσωπικό τους.

Για παράδειγμα η Princess Cruises έχει επιτύχει να πάρει πιστοποίηση από το πρότυπο του Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης κατά ISO 14001. Αυτό το εθελοντικό πρόγραμμα ορίζει σαφείς περιβαλλοντικούς στόχους και θεσπίζει αυστηρές γραμμές ευθύνης και λογοδοσίας για την τήρηση πολιτικών και διαδικασιών. Έτσι παρέχουν στο προσωπικό του πλοίου με τον εξοπλισμό, την τεχνογνωσία και την εκπαίδευση που απαιτείται για την επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων με κάθε πλοίο να έχει το δικό του αξιωματικό περιβάλλοντος [100].

5.1 Μείωση αερίων ρύπων

Με στόχο τη μείωση των αερίων εκπομπών από τα πλοία που προσδένουν σε λιμάνια, ιδιαίτερα σε περιοχές με ιδιαίτερη περιβαλλοντική σημασία, έχουν εγκατασταθεί στα λιμάνια συστήματα shore power. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στα κρουαζιερόπλοια να απενεργοποιήσουν τους κινητήρες και να συνδεθούν με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο λιμάνι. Η Αλάσκα ήταν η πρώτη πόλη η οποία εγκατέστησε αυτό το σύστημα και στη συνέχεια ακολούθησαν το Σιάτλ, η Ουάσιγκτον, το Βανκούβερ, η Βρετανική Κολούμπια, το Σαν Φρανσίσκο, το Λος Άντζελες, κ.ά. [100].

Πιο αναλυτικά με βάση αυτήν την τεχνολογία τα κρουαζιερόπλοια συνδέονται σε ένα ηλεκτρικό πίνακα που έχει προσαρμοστεί έτσι ώστε να γίνεται αυτόματη σύνδεση του ηλεκτρικού δικτύου του πλοίου με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο του λιμανιού στο οποίο προσδένονται. Η σύνδεση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα εξελιγμένο σύστημα καλωδίων, διακοπών και κυκλωμάτων ελέγχου (Εικ.5.1.) [100].



Εικόνα 5.1. Σύστημα shore power [101].

Με βάση τις πόλεις που έχουν εγκαταστήσει shore power σύστημα όχι μόνο παρατηρείται μείωση των αερίων ρύπων, αλλά και μείωση της ηχορύπανσης.

5.2 Επεξεργασία λυμάτων

Το πόσιμο νερό είναι ζωτικής σημασίας για χειρισμούς επί του πλοίου. Αυτό επιτρέπει στους επιβάτες να κάνουν μπάνιο και αυτό είναι που χρησιμοποιείται για την παρασκευή τροφίμων, την απολύμανση των εργαλείων κουζίνας και των επιφανειών, το πλύσιμο των κλινοσκεπασμάτων και ρούχων καθώς και στις καμπίνες γενικότερα και στους κοινόχρηστους χώρους [101].

Το φρέσκο νερό στα κρουαζιερόπλοια προέρχεται σήμερα συνήθως από δύο διαφορετικές πηγές [101]:

- 1) παραγόμενο από το θαλασσινό νερό που είτε εξατμίζεται και επανασυμπυκνώνεται ή παράγεται από σύστημα αντίστροφης όσμωσης και επεξεργάζεται με μέταλλα και χλώριο
- 2) νερό, το οποίο αγοράστηκε από λιμάνια και αποθηκεύεται σε καθορισμένες δεξαμενές συγκράτησης πόσιμου νερού. Η αγορά νερού κοστίζει λιγότερο από ότι η επεξεργασία εν πλω.

Όπως προαναφέρθηκε το νερό το οποίο προέρχεται από τα κρουαζιερόπλοια χωρίζεται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: 1) γκρίζο νερό, 2) μαύρο νερό και 3) νερό της σεντίνας. Η πρώτη κατηγορία προέρχεται από τα ντουζ, η δεύτερη από την τουαλέτα. Οι δυο πρώτες κατηγορίες κανονικά αποφορτίζονται οργανικά εν πλω και στη

συνέχεια απορρίπτονται στη θάλασσα με βάση τους διεθνείς και τοπικούς κανονισμούς.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας εν πλω απολυμαίνουν το μαύρο νερό. Μετά την επεξεργασία, τα λύματα απορρίπτονται στη θάλασσα τουλάχιστον 12 μίλια από την ακτή, η οποία υπερβαίνει την απόσταση που απαιτείται από το νόμο. Μέχρι το 2020, μια εταιρία μόνο αναφέρει ότι θα έχει προηγμένα συστήματα επεξεργασίας νερού που χρησιμοποιούν διήθηση με μεμβράνη και υπεριώδες φως για να επιτυγχάνεται το υψηλότερο επίπεδο της επεξεργασίας των λυμάτων που είναι τεχνολογικά εφικτό [101].

Στη συνέχεια το γκρίζο νερό μπορεί να αναμιχθεί με το μαύρο νερό και η επεξεργασία να γίνει μέσω της προηγμένης μονάδας επεξεργασίας λυμάτων. Εναλλακτικά, το γκρίζο νερό μπορεί να διατηρείται επί του σκάφους έως ότου το πλοίο είναι σε εξέλιξη και εκτός του λιμένα, και στη συνέχεια να απορρίπτεται στη θάλασσα σε πλήρη συμμόρφωση με όλους τους νόμους και τους κανονισμούς.

Τέλος τα σεντινόνερα, όπως έχει προαναφερθεί, είναι τα λύματα που συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του πλοίου, στους υδροσυλλέκτες. Το νερό αυτό περιέχει έλαια που απελευθερώνονται από τον εξοπλισμό στο μηχανοστάσιο μαζί με ίχνη πετρελαίου, με τελικό αποδέκτη το θαλάσσιο περιβάλλον [101].

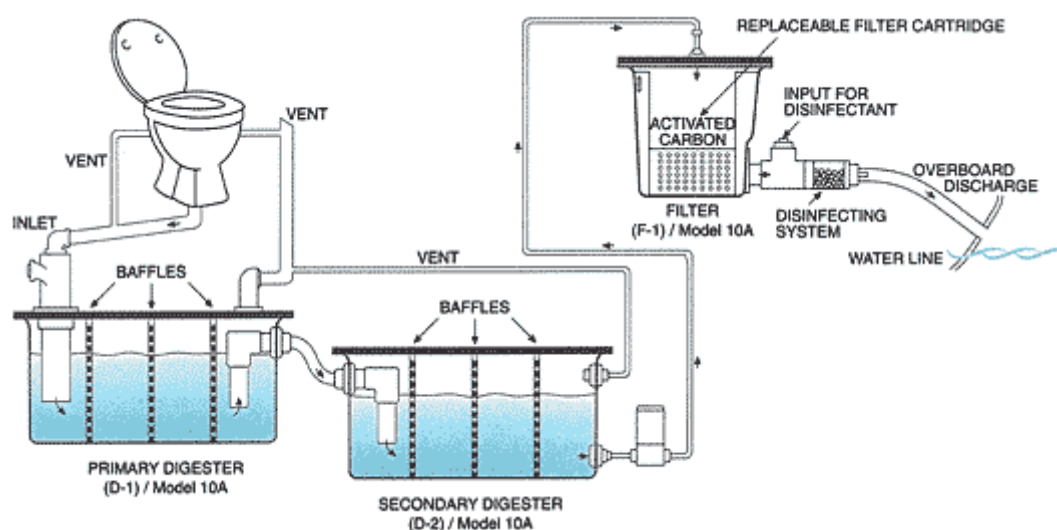
Σήμερα πολλά κρουαζιερόπλοια έχουν λάβει μέτρα, όπως τη μείωση της ποσότητας του νερού στο υδροσυλλέκτες στο χαμηλότερο πρακτικό επίπεδο, παρέχοντας επαρκή χωρητικότητα στη δεξαμενή συγκράτησης για το νερό της σεντίνας και αποφόρτισης της σεντίνας από οργανικά φορτία, εξαλείφοντας το πετρέλαιο που διαρρέει από τα μηχανήματα, εφόσον είναι πρακτικά δυνατόν [101].

Με στόχο την επεξεργασία των σεντινόνερων έγινε η αντικατάσταση του παλαιού εξοπλισμού με καινοτόμους διαχωριστές ελαιωδών-ύδατος και επεξεργασία του νερού των υδροσυλλεκτών μέχρι η περιεκτικότητα σε πετρέλαιο να μειώνεται κάτω από 15 μέρη ανά εκατομμύριο. Τα επεξεργασμένα σεντινόνερα από τους υδροσυλλέκτες απελευθερώνονται στη θάλασσα, σύμφωνα με όλους τους διεθνείς, περιφερειακούς και εθνικές νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις [101].

Με βάση την αναφορά που συστάθηκε το 2007 από το τμήμα προστασίας φυσικών πόρων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, όλα τα κρουαζιερόπλοια διαθέτουν συστήματα επεξεργασίας λυμάτων επί του σκάφους για τα γκρι και μαύρα λύματα [102].

Υπάρχουν κυρίως δύο τύποι συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων επί των κρουαζιερόπλοιων [102]:

1) Θαλάσσια συσκευή υγιεινής (Marine Sanitation Device, MSD). Τα MSD είναι μια παλαιότερη τεχνολογία που σταδιακά τείνει να καταργείται η χρήσης της εντός της βιομηχανίας της κρουαζιέρας. Αυτά αποτελούνται από ένα σύστημα επεξεργασίας δύο σταδίων αυτό της βιοαντίδρασης και την απολύμανση των λυμάτων με χλώριο πριν από την απόρριψη τους στη θάλασσα.



Εικόνα 5.2. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων MSD, εν πλώ [103].

Η απολύμανση με χλώριο η οποία χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στην πλειοψηφία των πλοίων όχι μόνο είναι επικίνδυνη για το ίδιο το προσωπικό, αλλά και για το περιβάλλον της θάλασσας. Η χλωρίωση είναι μια καθιερωμένη τεχνολογία με αποτελεσματική απολυμαντική ικανότητα. Ωστόσο, η χρήση του χλωρίου για την απολύμανση τείνει να επαναξιολογηθεί λόγω των πολλών βασικές ανησυχιών [104].

Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, το χλώριο ενέχει κίνδυνο για την υγεία και την ασφάλεια του προσωπικού και τη γύρω κοινότητα. Τυχαία απελευθέρωση χλωρίου μπορεί να προκύψει μέσα από την αεριοποίηση από τις εγκαταστάσεις που έρχονται σε επαφή με το χλώριο ή μέσω διαρροών κατά την αποθήκευση αυτού ή από τις γραμμές τροφοδοσίας αυτού. Η εισπνοή του χλωρίου μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές στις αναπνευστικές οδούς, σοβαρό ερεθισμό του δέρματος κατά την φυσική επαφή, και μπορεί να είναι θανατηφόρα για τους ανθρώπους [104].

Εξαιτίας αυτού του κινδύνου, μεγαλύτερες ποσότητες νερού και εγκαταστάσεις λυμάτων απαιτούνται για τη διατήρηση των σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων που ενέχονται από τη χρήση χλωρίου και την αποθήκευση αυτού [104].

Δεύτερον, το χλώριο μπορεί να έχει δυσμενείς συνέπειες και μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς τους ζώντες οργανισμούς. Το υπολειμματικό χλώριο και χλωραμίνες από τη διαδικασία απολύμανσης είναι τοξικά για πολλούς υδρόβιους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών, τα στρείδια και τα κωπήποδα. Υπολειμματικές συγκεντρώσεις τόσο χαμηλές όσο 0,002 χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg L^{-1}) έχει προκαλέσει τοξικές επιδράσεις στους υδρόβιους οργανισμούς. Επίσης, η βλάστηση μπορεί να επηρεαστεί από το υπολειμματικό χλώριο [104].

Τρίτον, το χλώριο αντιδρά με την οργανική ύλη στο περιβάλλον για να σχηματίσουν παραπροϊόντα απολύμανσης (DBPs), και δυνητικά έχουν αρνητικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία. Τα βασικά παραπροϊόντα απολύμανσης ανησυχίας είναι ο σχηματισμός τριαλογονομεθανίων (THM), όπως χλωροφόρμιο και αλογονοξικά οξέα (Haas) [104].

2) Προηγμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων (Advanced Water Treatment Systems, AWTS). Μερικά πλοία έχουν μοναδικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που είναι πιο προηγμένα από τα συστήματα MSD, όπως αυτά που προαναφέρθηκαν στην παρούσα υποενότητα.

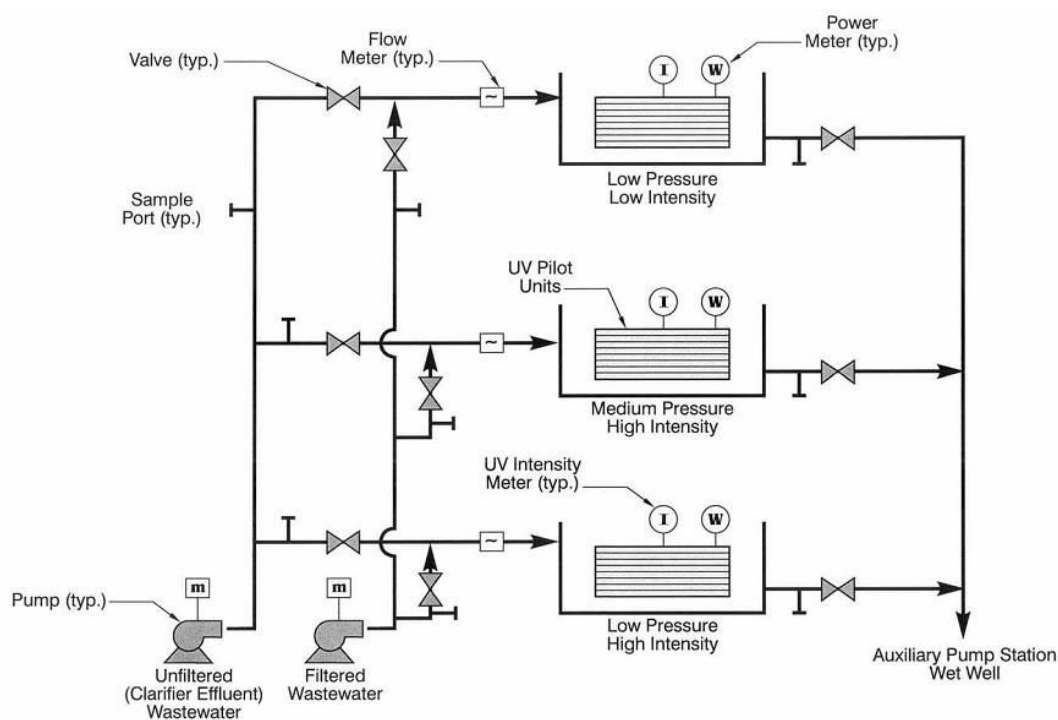
Τα προηγμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων αποτελούνται από μία διαδικασία επεξεργασίας πολλαπλών σταδίων που περιλαμβάνει: i) τη διήθηση των στερεών, ii) βιο-αντίδραση, iii) υπερ-διήθηση για να εξαλειφθούν τα υπόλοιπα στερεά, και iv) την απολύμανση των λυμάτων με υπεριώδες φως πριν από την απόρριψη.

Μια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων με υπεριώδης ακτινοβολία αντικατοπτρίζεται στην Εικ. 5.3. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τρεις μονάδες υπεριώδους ακτινοβολίας, χαμηλής, μεσαίας και υψηλής συχνότητας. Σήμερα συνήθως χρησιμοποιούνται συστήματα μόνο με χαμηλής συχνότητας υπεριώδους ακτινοβολίας, λόγω φυσικά και του χαμηλότερου κόστους.

Η λάμπα που χρησιμοποιείται μοιάζει πολύ στην εμφάνιση με μια λάμπα φθορίωσης. Οι λάμπες αυτές έχουν μια επίστρωση φωσφόρου για τη μετατροπή της UV ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ατμό υδραργύρου στο ορατό φως. Οι λάμπες UV είναι κατασκευασμένες από γυαλί χαλαζία, λόγω της ικανότητας του χαλαζία στη μετάδοση υπεριώδους φωτός.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας μονάδας είναι:

- Φυσική διεργασία, μη χρήση χημικών χωρίς τοξικά υποπροϊόντα, προσφέροντας ασφάλεια για το περιβάλλον.
- Ασφαλές και απλό σύστημα για τους φορείς διαχείρισής του.
- Δυνατότητα επίτευξης του επιθυμητού επιπέδου απολύμανσης μέσα σε χρονικό διάστημα λίγων δευτερολέπτων, σε αντίθεση με το χλώριο που απαιτεί δεκαπέντε λεπτά.
- Εγκατάσταση με κανάλια συνεχούς ροής χωρίς την ανάγκη δεξαμενών επαφής.
- Καταλαμβάνει λιγότερο χώρο και δε χρειάζονται ιδιαίτερες κατασκευές.
- Πιο αποτελεσματική από τη διαδικασία της χλωρίωσης σε ένα ευρύ φάσμα οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων ιών που είναι ανθεκτικοί στο χλώριο.



Εικόνα 5.3. Σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με υπεριώδη ακτινοβολία [104].

Η ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για την UV αδρανοποίηση των μικροοργανισμών εξαρτάται από τη διαπερατότητα των UV και τη συγκέντρωση του υγρού και από τα αιωρούμενα στερεά. Πολλά από τα συστατικά που βρέθηκαν στα λύματα απορροφούν UV φως, το οποίο οδηγεί σε μια χαμηλότερη ένταση UV.

Η UV διαπερατότητα αντιπροσωπεύει το ποσοστό της ενέργειας UV στο νερό που φτάνει τους μικροοργανισμούς. Όσο χαμηλότερη είναι η διαπερατότητα, τόσο μικρότερη η ποσότητα του υπεριώδους φωτός που φτάνει στον μικροοργανισμό. Η UV μετάδοση εξαρτάται από την απόσταση των λαμπτήρων και την ποιότητα του νερού του υγρού. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού που επηρεάζουν την διαπερατότητα είναι η περιεκτικότητα σε σίδηρο, σκληρότητα, αιωρούμενα στερεά, χουμικά υλικά και οργανικές χρωστικές [104].

Επίσης τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα μπορεί να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Το βέλτιστο υδραυλικό σενάριο για την UV απολύμανση περιλαμβάνει τυρβώδη ροή με ανάμιξη ενώ ελαχιστοποιεί τις απώλειες. Για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας, οι αντιδραστήρες UV προτιμάται να λειτουργούν σε αριθμό Reynolds μεγαλύτερο από 5000 [104].

Ο σχεδιασμός του αντιδραστήρα, συμπεριλαμβανομένου της διανομής εισαγωγής και εξόδου ροής, ελέγχει πόσο κοντά μπορεί να συνδεθεί η ροή στη μονάδα για την ορθή λειτουργία. Οι συνθήκες εισόδου σχεδιάζονται έτσι ώστε η διανομή της ροής να γίνεται σωστά και έτσι ώστε να εξισώνονται οι ταχύτητες του συστήματος. Οι εξοδοί των UV συστημάτων είναι σχεδιασμένοι για να ελέγχουν τη στάθμη του νερού σε ένα σταθερό επίπεδο, με μικρή διακύμανση, κατά την απολύμανση μέσα στον UV αντιδραστήρα [104].

Συνοπτικά, τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων κοστίζουν τρεις φορές παραπάνω από τα συστήματα χλωρίωσης αλλά είναι πολύ πιο αποτελεσματικά. Ένα άλλο μειονέκτημα των συστημάτων με υπεριώδη ακτινοβολία είναι οι πολλές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως για παράδειγμα η ροή, η θερμοκρασία, η εφαρμοζόμενη ισχύς, για να είναι αποτελεσματική η επεξεργασία των λυμάτων. Ουσιαστικά όμως η παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά την απολύμανση των συστημάτων είναι η ένταση της ακτινοβολίας και το ποσό απορρόφησης από τους μικροοργανισμούς [104].

6 Συμπεράσματα

Σήμερα η αγορά της κρουαζιέρας είναι η μεγαλύτερη αγορά πλοίων η οποία παρουσιάζει αυξητικές τάσεις τα τελευταία χρόνια. Οι ρύποι και τα απόβλητα από τα κρουαζιερόπλοια περιλαμβάνουν τις εκπομπές στον αέρα, το νερό έρματος, τα λύματα, τα επικίνδυνα απόβλητα και τα στερεά απόβλητα.

Τα πλοία πρέπει να έχουν κατάλληλο σύστημα επεξεργασίας των λυμάτων και απολύμανσης αυτών. Σήμερα, η πλειοψηφία των κρουαζιερόπλοιων χρησιμοποιεί 'ξεπερασμένη' τεχνολογία χλωρίωσης, σύμφωνα με αναφορές του ειδικού τμήματος ελέγχου της Αμερικής, για τη διαδικασία της απολύμανσης των λυμάτων. Ωστόσο υπάρχει μόνο ένας στόλος δεκαέξι πλοίων που κάνει χρήση της τεχνολογίας επεξεργασίας λυμάτων με υπεριώδης ακτινοβολία.

Το πρώτο σύστημα είναι πλέον ακατάλληλο για το περιβάλλον καθώς μπορεί να παράγει τοξικές ενώσεις και να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας στο προσωπικό διαχείρισής του. Το δεύτερο σύστημα δεν έχει χρησιμοποιηθεί ακόμα σε μεγάλο βαθμό, εξαιτίας του μεγάλου κόστους του (τριπλάσιο από την τεχνολογία χλωρίωσης) και την υψηλή ευαισθησία του, καθώς πολλοί παράμετροι επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά του.

Τέλος, καινοτόμα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων βρίσκονται σε αρχικό ερευνητικό στάδιο. Μερικά από αυτά είναι τα συστήματα μεμβρανών διήθησης με ανάπτυξη καινοτόμων μεμβρανών με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας, τα ηλεκτροχημικά συστήματα επεξεργασίας με τη χρήση ειδικών ηλεκτροδίων, τα ειδικά τροποποιημένα συστήματα μεμβρανών με έμφαση στα σεντινόνερα και ειδικός διαχωρισμό ελαίου/νερού, συστήματα βιολογικών διεργασιών, συστήματα φωτοκαταλυτικής μετατροπής και καινοτόμα συστήματα μαγνητικών νανοσωματιδίων.

Ανάμεσα στις προαναφερόμενες καινοτόμες μεθόδους επεξεργασίας και απολύμανσης λυμάτων, η τελευταία όπου εκμεταλλεύεται τις μαγνητικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων θεωρείται σε σύγκριση με τις υπόλοιπες πολύ χαμηλότερου κόστους, πιο απλοποιημένη και πιο αποτελεσματική. Επομένως μελλοντικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό των νερών του έρματος, καθώς μπόρεσε να διαχωριστεί το πετρέλαιο από το νερό κατά 67%. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των καινοτόμων μεθόδων είναι το υψηλό κόστος τους.

Βιβλιογραφία

- [1] Perason EA, De Fraja Frangipane E. Marine Pollution and Marine Waste Disposal: Proceedings of the 2nd International Congress, San Remo, 17–21 December, 1973: Elsevier Science; 2013.
- [2] Wiese FK, Ryan PC. The extent of chronic marine oil pollution in southeastern Newfoundland waters assessed through beached bird surveys 1984–1999. *Marine pollution bulletin*. 2003;46:1090-101.
- [3] Butt N. The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton. *Marine Policy*. 2007;31:591-8.
- [4] Sweeting J, Wayne S. A shifting tide: environmental challenges and cruise industry responses. *Cruise ship tourism*. Australia: Washington, DC: Conservation International, The Center for Environmental Leadership in Business; 2003 327.
- [5] Johnson D. Environmentally sustainable cruise tourism: A reality check. *Marine Policy*. 2002;26:261-70.
- [6] Uyarra MC, Cote IM, Gill JA, Tinch RR, Viner D, Watkinson AR. Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states. *Environmental conservation*. 2005;32:11-9.
- [7] Stern SB. *Stern's Guide to the Cruise Vacation: 2016 Edition: Descriptions of Every Major Cruise Ship, Riverboat and Port of Call Worldwide*: Xlibris US; 2015.
- [8] Sweeting J, Wayne S. A shifting tide: environmental challenges and cruise industry responses. Washington, DC: Conservation International, The Center for Environmental Leadership in Business; 2003.
- [9] Galgani F, Fleet D, van Franeker J, Katsanevakis S, Maes T, Mouat J, et al. Marine Strategy Framework directive-Task Group 10 Report marine litter do not cause harm to the coastal and marine environment. Report on the identification of descriptors for the Good Environmental Status of European Seas regarding marine litter under the Marine Strategy Framework Directive: Office for Official Publications of the European Communities; 2010.
- [10] Gertsakis J, Lewis H. Sustainability and the waste management hierarchy. Retrieved on January. 2003;30:2008.

- [11] Bernal JL, Miguélez JP, Sanz EN, de la Ossa EM. Wet air oxidation of oily wastes generated aboard ships: kinetic modeling. *Journal of hazardous materials*. 1999;67:61-73.
- [12] Mattson G. MARPOL 73/78 and Annex I: an assessment of its effectiveness. *Journal of International Wildlife Law and Policy*. 2006;9:175-94.
- [13] Gardam J. *Bilgewater*: Little, Brown Book Group; 2012.
- [14] Curtis JB. Vessel-source oil pollution and MARPOL 73/78: an international success story. *Envtl L*. 1984;15:679.
- [15] Tomaszewska M, Orecki A, Karakulski K. Treatment of bilge water using a combination of ultrafiltration and reverse osmosis. *Desalination*. 2005;185:203-12.
- [16] Organization IM. *Flag State Implementation*. United Kingdom: International Maritime Organization; 2010.
- [17] Office Journal of the European Union, COMMISSION RECOMMENDATION of 8 May 2006 on the promotion of shore-side electricity for use by ships at berth in Community ports
(Text with EEA relevance) (2006/339/EC), (2006) Access: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:125:0038:0042:EN:PDF>.
- [18] Organization IM. *Provisions Concerning the Reporting of Incidents Involving Harmful Substances Under Marpol 73/78*: IMO; 1999.
- [19] Trozzi C, Vaccaro R. Environmental impact of port activities. *WIT Transactions on The Built Environment*. 2000;51.
- [20] Tsantrizos P. Method and apparatus for gasification of organic waste in batches. *Google Patents*; 2015.
- [21] Findley J, Al-Haj H, Shanaa J, Al-Duaiji A, Economou S. A Potential Solution for Waste Management at Remote Sites. *SPE Middle East Health, Safety, Environment & Sustainable Development Conference and Exhibition*: Society of Petroleum Engineers; 2014.
- [22] Smookler A, Alig C. The Navy's Shipboard Waste Management Research & Development Program. *Naval Engineers Journal*. 1992;104:89-97.
- [23] Polglaze J. Can we always ignore ship-generated food waste? *Marine pollution bulletin*. 2003;46:33-8.
- [24] Sciences DEP, Systems CET, Board M. *Clean Ships, Clean Ports, Clean Oceans: Controlling Garbage and Plastic Wastes at Sea*: National Academies Press; 1995.

- [25] Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M. *Methods of seawater analysis*: John Wiley & Sons; 2009.
- [26] Tsolaki E, Diamadopoulos E. Technologies for ballast water treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2010;85:19-32.
- [27] Sano LL, Mapili MA, Krueger A, Garcia E, Gossiaux D, Phillips K, et al. Comparative efficacy of potential chemical disinfectants for treating unballasted vessels. *Journal of Great Lakes Research*. 2004;30:201-16.
- [28] Rigby G, Hallegraef G, Sutton C. Novel ballast water heating technique offers cost-effective treatment to reduce the risk of global transport of harmful marine organisms. *Marine Ecology Progress Series*. 1999;191:289-93.
- [29] Board M, Council NR. *Stemming the tide: controlling introductions of nonindigenous species by ships' ballast water*: National Academies Press; 1996.
- [30] Laroussi M, Dobbs FC, Wei Z, Doblin MA, Ball LG, Moreira KR, et al. Decontamination of water by excimer UV radiation. *IEEE transactions on plasma science*. 2002;30:1501-3.
- [31] XU L-k, DENG H-p, SHI J. Mechanism and Application of Organic Matters Remove Assisted by Ultrasound. *Environmental Science & Technology*. 2010:S2.
- [32] Pacwa-Płociniczak M, Płaza GA, Piotrowska-Seget Z, Cameotra SS. Environmental applications of biosurfactants: recent advances. *International Journal of Molecular Sciences*. 2011;12:633-54.
- [33] Kim YS, Kim YH. Application of ferro-cobalt magnetic fluid for oil sealing. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2003;267:105-10.
- [34] Nordquist MH, Rosenne S, Nandan SN, Policy UVCOL. *United Nations Convention on the Law of the Sea, 1982: A Commentary*: Springer Netherlands; 1995.
- [35] Sands P. *Principles of International Environmental Law*. London: Cambridge University Press; 2003.
- [36] Caldwell LK, Weiland PS. *International Environmental Policy: From the Twentieth to the Twenty-first Century*. London: Duke University Press; 1996.
- [37] Sea ICftEotSACoPot, Sea ACoMPot. *Marine Pollution: Yearbook 1990*. Virginia: Pergamon Press; 1990.
- [38] Carpenter A. *Oil Pollution in the North Sea*. United Kingdom: Springer International Publishing; 2015.

- [39] Wang JCF. Handbook on Ocean Politics & Law. London: Greenwood Press; 1992.
- [40] Παζαρζής Μ, Ρύπανση της θάλασσας με πετρελαιοειδή από πλοία, **Διδακτορική Διατριβή**. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιώς; 1992.
- [41] Τριάντου Β, Διαχείριση απορριμμάτων και αποβλήτων από τη ναυτιλία, **Μεταπτυχιακή εργασία**. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιώς; 2008.
- [42] Milovanovic M. Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe. *Desalination*. 2007;213:159-73.
- [43] Tanabe S. Contamination and toxic effects of persistent endocrine disrupters in marine mammals and birds. *Marine pollution bulletin*. 2002;45:69-77.
- [44] Hamzah B. International rules on decommissioning of offshore installations: some observations. *Marine Policy*. 2003;27:339-48.
- [45] Howarth RW, Sharpley A, Walker D. Sources of nutrient pollution to coastal waters in the United States: Implications for achieving coastal water quality goals. *Estuaries*. 2002;25:656-76.
- [46] Oberthür S. Institutional interaction to address greenhouse gas emissions from international transport: ICAO, IMO and the Kyoto Protocol. *Climate Policy*. 2003;3:191-205.
- [47] Risk SA. Air pollution from ships. *Sea*. 2004;6:10,000.
- [48] Ye L, Zhang S, Greder L, Dutton J, Keirstead SA, Lepley M, et al. Effective cardiac myocyte differentiation of human induced pluripotent stem cells requires VEGF. *PloS one*. 2013;8:e53764.
- [49] Charmondusit K, Keartpakpraek K. Eco-efficiency evaluation of the petroleum and petrochemical group in the map Ta Phut Industrial Estate, Thailand. *Journal of Cleaner Production*. 2011;19:241-52.
- [50] Connelly DP, Readman JW, Knap AH, Davies J. Contamination of the coastal waters of Bermuda by organotins and the triazine herbicide Irgarol 1051. *Marine pollution bulletin*. 2001;42:409-14.
- [51] De Souza Rolim MHF. The International Law on Ballast Water: Preventing Biopollution. *HUFS GLOBAL LAW REVIEW*. 2010;2:77-95.
- [52] Drake LA, Doblin MA, Dobbs FC. Potential microbial bioinvasions via ships' ballast water, sediment, and biofilm. *Marine pollution bulletin*. 2007;55:333-41.

- [53] Minchin D, Gollasch S. Fouling and ships' hulls: how changing circumstances and spawning events may result in the spread of exotic species. *Biofouling*. 2003;19:111-22.
- [54] Burke TM, McGehee MD. How High Local Charge Carrier Mobility and an Energy Cascade in a Three-Phase Bulk Heterojunction Enable > 90% Quantum Efficiency. *Advanced Materials*. 2014;26:1923-8.
- [55] Yu M-H, Tsunoda H, Tsunoda M. *Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants*: CRC Press; 2011.
- [56] Garcia SM, Rosenberg AA. Food security and marine capture fisheries: characteristics, trends, drivers and future perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 2010;365:2869-80.
- [57] Freije AM. Heavy metal, trace element and petroleum hydrocarbon pollution in the Arabian Gulf: Review. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*. 2015;17:90-100.
- [58] Pretty JN, Mason CF, Nedwell DB, Hine RE, Leaf S, Dils R. Environmental costs of freshwater eutrophication in England and Wales. *Environmental Science & Technology*. 2003;37:201-8.
- [59] Borgmann U. Methods for assessing the toxicological significance of metals in aquatic ecosystems: bio-accumulation-toxicity relationships, water concentrations and sediment spiking approaches. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 2000;3:277-89.
- [60] Van der Oost R, Beyer J, Vermeulen NP. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental toxicology and pharmacology*. 2003;13:57-149.
- [61] Abbott A, Abel P, Arnold D, Milne A. Cost-benefit analysis of the use of TBT: the case for a treatment approach. *Science of the total environment*. 2000;258:5-19.
- [62] 73/78 M, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships as modified by the protocol of 1978 relating thereto (MARPOL 73/78), (1973) Access:
- [63] Chang I-S, Chung C-M, Han S-H. Treatment of oily wastewater by ultrafiltration and ozone. *Desalination*. 2001;133:225-32.
- [64] Katayama S, Kanada S, Kamata M, Sakaguchi Y, Kojima K. Method and apparatus for treating waste water on ships. *Google Patents*; 1978.
- [65] Tsuboi H, Kashino T, Tajika H, Koitabashi N, Iwasaki O, Uetuki M, et al. Liquid discharging head, liquid discharging method, head cartridge, liquid discharging

apparatus, liquid discharging printing method, printing system, head kit and head recovery method. Google Patents; 2001.

[66] Nemser SM, Cragg GA. Dioxole coated membrane module for ultrafiltration or microfiltration of aqueous suspensions. Google Patents; 2001.

[67] Chesner WH, Melrose J. Mobile floating water treatment vessel. Google Patents; 2003.

[68] Markle SP, Jones RJ. Dual-Train Wastewater Reclamation and Treatment System. Google Patents; 2009.

[69] Ahmad J, El-Dessouky H. Design of a modified low cost treatment system for the recycling and reuse of laundry waste water. *Resources, Conservation and Recycling*. 2008;52:973-8.

[70] Sun C, Leiknes T, Weitzenböck J, Thorstensen B. Development of a biofilm-MBR for shipboard wastewater treatment: The effect of process configuration. *Desalination*. 2010;250:745-50.

[71] Odegaard H, Rusten B, Westrum T. A new moving bed biofilm reactor - applications and results. *Water Science and Technology*. 1994;29:157-65.

[72] Buchheister F, Hoinkis J, Muth S, Panten V. LIWATEC - laundry innovative waste water recycling technology. *Desalination*. 2006;199:76-7.

[73] Paris S, Schlapp C. Greywater recycling in Vietnam - Application of the HUBER MBR process. *Desalination*. 2010;250:1027-30.

[74] Judd S. *The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment*: Elsevier; 2010.

[75] Guilbaud J, Massé A, Andrs Y, Combe F, Jaouen P. Laundry water recycling in ship by direct nanofiltration with tubular membranes. *Resources, Conservation and Recycling*. 2010;55:148-54.

[76] Caplan JA, Newton C, Kelemen D. Technical report: Novel oil/water separator for treatment of oily bilgewater. *Marine Technology*. 2000;37:111-5.

[77] Karakulski K, Morawski WA, Grzechulska J. Purification of bilge water by hybrid ultrafiltration and photocatalytic processes. *Separation and Purification Technology*. 1998;14:163-73.

[78] Woytowich DL, Dalrymple C, Gilmore F, Britton M. Electrocoagulation (CURE) treatment of ship bilgewater for the US Coast Guard in Alaska. *Marine Technology Society Journal*. 1993;27:62-7.

- [79] Panizza M, Cerisola G. Direct And Mediated Anodic Oxidation of Organic Pollutants. *Chem Rev.* 2009;109:6541-69.
- [80] Tarr MA. *Chemical Degradation Methods for Wastes and Pollutants: Environmental and Industrial Applications*: CRC Press; 2003.
- [81] Körbahti BK, Artut K. Bilge Water Treatment in an Upflow Electrochemical Reactor using Pt Anode. *Separation Science and Technology.* 2013;48:2204-16.
- [82] Körbahti BK, Artut K. Electrochemical oil/water demulsification and purification of bilge water using Pt/Ir electrodes. *Desalination.* 2010;258:219-28.
- [83] Ulucan K, Kabuk HA, Ilhan F, Kurt U. Electrocoagulation process application in bilge water treatment using response surface methodology. *Int J Electrochem Sci.* 2014;9:2316-26.
- [84] Aswathy P, Gandhimathi R, Ramesh ST, Nidheesh PV. Removal of organics from bilge water by batch electrocoagulation process. *Separation and Purification Technology.* 2016;159:108-15.
- [85] Cheryan M, Rajagopalan N. Membrane processing of oily streams. Wastewater treatment and waste reduction. *Journal of Membrane Science.* 1998;151:13-28.
- [86] Ma H, Hsiao BS, Chu B. Thin-film nanofibrous composite membranes containing cellulose or chitin barrier layers fabricated by ionic liquids. *Polymer.* 2011;52:2594-9.
- [87] Caplan JA, Newton C, Kelemen D. Technical report: Novel oil/water separator for treatment of oily bilgewater. *Marine technology and SNAME news.* 2000;37:111.
- [88] Sivaraman C, Ganguly A, Mutnuri S. Biodegradation of hydrocarbons in the presence of cyclodextrins. *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* 2010;26:227-32.
- [89] Barkay T, Navon-Venezia S, Ron E, Rosenberg E. Enhancement of solubilization and biodegradation of polyaromatic hydrocarbons by the bioemulsifier alasan. *Applied and environmental microbiology.* 1999;65:2697-702.
- [90] Martínez-Checa F, Toledo F, El Mabrouki K, Quesada E, Calvo C. Characteristics of bioemulsifier V2-7 synthesized in culture media added of hydrocarbons: chemical composition, emulsifying activity and rheological properties. *Bioresource technology.* 2007;98:3130-5.
- [91] Hua X, Wu Z, Zhang H, Lu D, Wang M, Liu Y, et al. Degradation of hexadecane by *Enterobacter cloacae* strain TU that secretes an exopolysaccharide as a bioemulsifier. *Chemosphere.* 2010;80:951-6.

- [92] Chong MN, Jin B, Chow CWK, Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water Research*. 2010;44:2997-3027.
- [93] Sturini M, Soana F, Albinì A. Reaction paths in the titanium dioxide photocatalysed degradation of dodecane and some of its derivatives. *Tetrahedron*. 2002;58:2943-50.
- [94] Fu J, Ji M, Wang Z, Jin L, An D. A new submerged membrane photocatalysis reactor (SMPR) for fulvic acid removal using a nano-structured photocatalyst. *Journal of hazardous materials*. 2006;131:238-42.
- [95] Meng Y, Huang X, Yang Q, Qian Y, Kubota N, Fukunaga S. Treatment of polluted river water with a photocatalytic slurry reactor using low-pressure mercury lamps coupled with a membrane. *Desalination*. 2005;181:121-33.
- [96] Cazoir D, Fine L, Ferronato C, Chovelon JM. Hydrocarbon removal from bilgewater by a combination of air-stripping and photocatalysis. *Journal of hazardous materials*. 2012;235–236:159-68.
- [97] Moslehyani A, Ismail AF, Othman MHD, Isloor AM. Novel hybrid photocatalytic reactor-UF nanocomposite membrane system for bilge water degradation and separation. *RSC Advances*. 2015;5:45331-40.
- [98] Romanos G, Athanasekou C, Likodimos V, Aloupogiannis P, Falaras P. Hybrid ultrafiltration/photocatalytic membranes for efficient water treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2013;52:13938-47.
- [99] Mirshahghassemi S, Lead JR. Oil Recovery from Water under Environmentally Relevant Conditions Using Magnetic Nanoparticles. *Environmental Science & Technology*. 2015;49:11729-36.
- [100] Princess Cruises, Environmental Responsibility-Protecting our oceans, marine life, and air quality for future generations, <http://www.princess.com/aboutus/environmental-responsibility/>, 23/10/2016.
- [101] Port of Amsterdam, OPS Sea Cruise Europe: sustainable on shore power supply for Sea Cruise Ships, <http://www.portofamsterdam.com/Eng/shipping/sea-shipping-and-sea-cruise/OPS-Sea-Cruise-Europe-sustainable-on-shore-power-supply-for-Sea-Cruise-Ships.html>, 23/10/2016.
- [102] Buscher M, Cruise ship wastewater management report (2007) Department of natural resources and parks wtd. Access: <http://your.kingcounty.gov/dnrp/library/wastewater/csi/0708-CruiseShipWMreport.pdf>.

[103] Humphrey, The Humphrey Type II Marine Sanitation Device Sewage Treatment Systems for 3-75 crew, http://brtmarine.com/mm5/merchant.mvc?screen=ctgy&store_code=bms&category_code=humphrey, 24/10/2016.

[104] New York state energy research and development authority. Evaluation of ultraviolet radiation disinfection technologies for wastewater treatment plant effluent. 2004.