



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

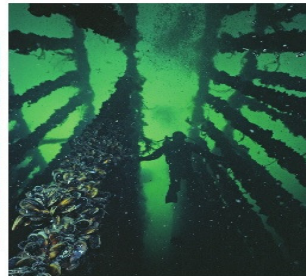
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΛΙΕΙΑΣ & ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΜΥΔΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ
ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΡΥΘΡΩΝ ΠΑΛΙΡΡΟΙΩΝ ΣΕ
ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

CONTROLLED MUSSEL CULTURE AS A FACTOR TO AVOID TO
EUTROPHICATION AND RED TIDES TO COASTWISE AREAS



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΛΙΕΙΑ, ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΒΙΔΑΛΗΣ Α. ΚΟΣΜΑΣ, Καθηγητής

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΦΑΝΟΥΡΓΑΚΗΣ Ι. ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ, (Α.Μ.: 055550015)

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ, Ιούλιος 2021



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΛΙΕΙΑΣ & ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΛΙΕΙΑ, ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΜΥΔΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ
ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΡΥΘΡΩΝ ΠΑΛΙΡΡΟΙΩΝ ΣΕ
ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

CONTROLLED MUSSEL CULTURE AS A FACTOR TO AVOID TO
EUTROPHICATION AND RED TIDES TO COASTWISE AREAS

ΦΑΝΟΥΡΓΑΚΗΣ Ι. ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΒΙΔΑΛΗΣ Λ. ΚΟΣΜΑΣ, Καθηγητής

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

- **Βιδάλης Λ. Κοσμάς**^{1,2}, Καθηγητής Τμήματος Ζ.Π.Α.Υ., Πανεπιστήμιο Πατρών (Επιβλέπων καθηγητής).
- **Αλέξης Ράμφος**², Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Ζ.Π.Α.Υ., Πανεπιστήμιο Πατρών (Μέλος της εξεταστικής επιτροπής).
- **Θεοδώρου Ιωάννης**², Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Ζ.Π.Α.Υ., Πανεπιστήμιο Πατρών (Μέλος της εξεταστικής επιτροπής).

¹Επιβλέπων Καθηγητής.

²Μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

*Στην αγαπημένη μου σύζυγο, Σοφία και τα λατρεμένα μου παιδιά,
Μαίρη και Άκη, ως ελάχιστη ένδειξη αγάπης!*

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου Δρ. Κοσμά Βιδάλη, που δέχθηκε να είναι ο επιβλέπων καθηγητής της παρούσας Διπλωματικής Μεταπτυχιακής Διατριβής μου. Η συμβολή του ήταν πολύτιμη καθ' όλη τη διάρκειά της, επειδή υπήρξε αρωγός στην προσπάθειά μου, να κατανοήσω σε βάθος το επιστημονικό αντικείμενο που με ενδιαφέρει πραγματικά, δίδοντάς μου ερεθίσματα για περαιτέρω εξέλιξη.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Καθηγητές μου Δρ. Αλέξιο Ράμφο και Δρ. Ιωάννη Θεοδώρου. Ιδιαίτερα δε, τον Δρ. Αλέξιο Ράμφο για τις χρηστικές κατευθυντήριες γραμμές που μου υπέδειξε, προκειμένου να περαιωθεί επιτυχώς η διπλωματική μου μεταπτυχιακή διατριβή.

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα1:** Καταγεγραμμένες περιοχές ευτροφισμού ενδεικτικά στην Ελλάδα (διαμόρφωση από Π. Φανουργάκη, 2021).
- Εικόνα2:** Φαινόμενο του ευτροφισμού στη Λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού(αρχείο Π. Φανουργάκη, 2021).
- Εικόνα 3:** Καταγεγραμμένες περιοχές ευτροφισμού ενδεικτικά στην Ευρώπη (διαμόρφωση από Π. Φανουργάκη, 2021).
- Εικόνα 4:** Ποσοστά ποιότητας νερού στην Ευρώπη: για ποτάμια και λίμνες (αριστερά) και για παράκτιες περιοχές και εκβολές ποταμών (δεξιά). Διαμόρφωση από © Kristensen, 2012.
- Εικόνα 5:** Ορατή ερυθρά παλίρροια κατά μήκος της ακτής της Λα Χόγια, κομητεία του Σαν Ντιέγκο (διαμόρφωση από © Kai Schumann).
- Εικόνα 6:** Εξωτερική και εσωτερική μορφολογία του είδους *M. Galloprovincialis* (Gosling, 2015).
- Εικόνα 7:** Σύστημα μυδοκαλλιέργειας Longline (διαμόρφωση από Haamer, 1996).
- Εικόνα 8:** Αριστερά, επιθεώρηση της ωριμότητας καλλιέργειας για πιθανή συγκομιδή και δεξιά, το συστήματα μυδοκαλλιέργειας longline (διαμόρφωση από Haamer, 1996).
- Εικόνα 9:** Κύκλος Νιτροποίησης-Απονιτροποίησης(κατάλληλα διαμορφωμένη © Hylén *et al.*, 2021).
- Εικόνα 10:(A):** Βασική αρχή μετριασμού θρεπτικών συστατικών N & P **(B):** Διεργασία συγκομιδής μυδοκαλλιεργειών από το θαλάσσιο περιβάλλον (διαμόρφωση από Petersen *et al.*, 2016).
- Εικόνα11:** Σύστημα εκμετάλλευσης υδατοκαλλιεργειών IMTA (διαμόρφωση από Holdt & Maeve, 2014).
- Εικόνα 12:** Μυδοκαλλιέργειες στη Βαλτική θάλασσα, πρόγραμμα BBG. Διαμόρφωση από ©BBG.
- Εικόνα13:** Βελτιστοποιημένη χρήση μυδοκαλλιέργειας μετριασμού του ευτροφισμού (διαμόρφωση © BONUS OPTIMUS project 2017-2020).
- Εικόνα 14:** Θέση της Όντερ / Szczecin λιμνοθάλασσας (α), βαθυμετρία (β), εντυπώσεις από τη λιμνοθάλασσα: καλάμι ζώνη (γ), μικρές παραλίες (δ) κοινά μπλε-πράσινα φύκη τον Αύγουστο (ε) και τοπική αλιεία (f)(© (Schernewski *et al.*,2019).
- Εικόνα 15:** Περιοχή Sacca di Goro (Italia) στην οποία με την καλλιέργεια του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* επηρεάστηκε η υδάτινη στήλη και το βένθος (διαμόρφωση από © Viaroli *et al.*, 2008).
- Εικόνα 16:** Κονιορτοποίηση κελύφους μυδιών (διαμόρφωση από © Ji *et al.*, 2019).
- Εικόνα 17:** Αγωγός εργοστασίου χαρτοποιίας που πηγαίνει στον Σπερχειό και στο Μαλιακό (αριστερά) και το σημείο συνάντησης της γερμανικής τάφρου με τον υπερχειλιστή (ή μεσαία ανακουφιστική τάφρος) του Σπερχειού (δεξιά). Στη γερμανική τάφρο χύνονται τα λύματα του βιολογικού της Λαμίας μετά την επεξεργασία τους. © Νέλλη Ψαρρού.

Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 1.**Καταγεγραμμένες αναφορές ευτροφισμού ενδεικτικά σε υδάτινους πόρους στην Ελλάδα (αρχείο Π. Φανουργάκη,2021).
- Πίνακας 2.**Καταγεγραμμένες αναφορές ευτροφισμού ενδεικτικά σε υδάτινους πόρους στην Ευρώπη(αρχείο Π. Φανουργάκη,2021).
- Πίνακας 3.**Συχνότητα παρακολούθησης των υδάτινων σωμάτων για προγράμματα επιτήρησης φυτοπλαγκτού και οστρακοειδών στην ΕΟΚ(Ε.Ε.) (διαμόρφωση από © Bjarne Andresen, 2002).
- Πίνακας 4.**Συνδυασμός μέτρων και πρακτικών, για την πιθανή αντιμετώπιση του ευτροφισμού με τη χρήση ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας.

Περιεχόμενα

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής	ii
Αφιέρωση	iii
Ευχαριστίες	iv
Κατάλογος Εικόνων	v
Κατάλογος Πινάκων	vi
Περίληψη	1
Abstract	3
1 Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή	5
Σκοπός μεταπτυχιακής διατριβής	7
2 Κεφάλαιο 2^ο: Εμφανίσεις ευτροφισμού	8
2.1 Το πρόβλημα του ευτροφισμού (Ελλάδα-Ευρώπη)	8
2.2 Ερυθρές παλίρροιες & τοξικό φυτοπλαγκτόν	9
2.3 Ευτροφισμός στην Ελλάδα και στην Ευρώπη	10
2.4 Λόγοι παρακολούθησης του ευτροφισμού	20
2.5 Ερυθρές παλίρροιες & τοξικό φυτοπλαγκτόν	21
3 Κεφάλαιο 3^ο: Βιολογία & Καλλιέργεια μυδιού	25
3.1 Ανατομία, μορφολογία & φυσιολογία του μυδιού	25
3.2 Φυσιολογία θρέψεως-διατροφής του μυδιού	26
3.3 Καλλιέργεια μυδιών	28
4 Κεφάλαιο 4^ο: Μύδια & Ευτροφισμός	33
4.1 Η καλλιέργεια μυδιών ως δράση αντιμετώπισης του ευτροφισμού	33
4.2 Πρακτικές που εφαρμόζονται διεθνώς, για την αντιμετώπιση του ευτροφισμού	39
4.3 Παραδείγματα εφαρμοζόμενων πρακτικών, για την αντιμετώπιση του ευτροφισμού και έλεγχος της αποτελεσματικότητάς τους	42
4.3.1 Μελέτες περίπτωσης	43
4.4 Παραδείγματα εφαρμοζόμενων πρακτικών, για την αντιμετώπιση του ευτροφισμού σε περιπτώσεις τοξικού φυτοπλαγκτού και έλεγχος της αποτελεσματικότητάς τους	62
5 Κεφάλαιο 5^ο: Δεδομένα από την Ελλάδα	67
5.1 Διερεύνηση της περιβαλλοντικής κατάστασης των Ελληνικών υδάτινων οικοσυστημάτων, παραδείγματα από τον Ελλαδικό χώρο	67
5.2 Ευρωπαϊκή νομοθεσία	74
5.3 Ελληνική νομοθεσία	75
6 Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα	77
7 Κεφάλαιο 7^ο: Βιβλιογραφία	82

Περίληψη

Τίτλος: *Ελεγχόμενη μυδοκαλλιέργεια ως παράγοντας αποφυγής ευτροφισμού και περιπτώσεων ερυθρών παλιρροιών σε παράκτιες περιοχές*

Η αλεία και οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν γεωργικές δραστηριότητες, οι οποίες ανέκαθεν αποσκοπούσαν στο να εξασφαλίσουν στον άνθρωπο υγιεινή τροφή υψηλής θρεπτικής αξίας. Από την άλλη πλευρά όμως, σημαντικό πρόβλημα στα υδάτινα οικοσυστήματα, και μάλιστα ανθρωπογενούς προέλευσης, αποτελεί, μεταξύ άλλων, η ρύπανσή τους με κυριότερες αιτίες την απόρριψη αποβλήτων στην ξηρά, τη ναυσιπλοΐα, την καταβύθιση αποβλήτων, την εκμετάλλευση θαλάσσιων και υποθαλάσσιων πόρων και τη γεωργία. Από τα αυξημένα επίπεδα αυτών των περιβαλλοντικών ρύπων στην υδάτινη βιομάζα, με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τις υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου (N) και φωσφόρου (P), συμβάλλουν τα μέγιστα στο σοβαρό πρόβλημα του ευτροφισμού, που σημειώνεται συνήθως σε λίμνες, λιμνοθάλασσες, κόλπους και ποταμούς.

Ελέω του αυξημένου ρυθμού παροχής θρεπτικών στοιχείων στο υδάτινο περιβάλλον, λαμβάνει χώρα ο αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης των φυτών, που με τη σειρά του οδηγεί σε ασφυξία τους υδρόβιους οργανισμούς, που ζουν σε αυτό. Περαιτέρω, σημειώνεται ορισμένες φορές, συνδυαστικά με τον εν λόγω ευτροφισμό, και το φαινόμενο της ερυθράς παλίρροιας, δηλαδή η ταχεία συσσώρευση φυτοπλαγκτού, των αλμυρών, γλυκών και μικτών νερών, με αποτέλεσμα το χρωματισμό (ροζ-μοβ) των επιφανειακών υδάτων. Εναλλακτικός τρόπος αντιμετώπισης των ανωτέρω περιβαλλοντικών προβλημάτων στα υδάτινα οικοσυστήματα φαίνεται να αποτελεί η καλλιέργεια μυδιών υψηλής πυκνότητας, μιας και πιθανά ανταποκρίνεται θετικά στη διαχείριση των ανωτέρω θρεπτικών ουσιών και να μετριάξει τον ευτροφισμό, μια από τις μεγαλύτερες απειλές για τα παράκτια περιβάλλοντα.

Στο παρόν επιχειρείται μέσω της χρηστικής ικανότητας των μυδιών και της σημαντικής τους συμβολής στην προστασία του περιβάλλοντος, να αναλυθούν οι υποσχόμενοι τρόποι και να προταθούν τα επιμέρους κατάλληλα συστήματα ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας, ως ο παράγοντας αποφυγής του ευτροφισμού και των περιπτώσεων ερυθρών παλιρροιών σε παράκτιες περιοχές. Πολλά παραδείγματα υφίστανται στη

διεθνή βιβλιογραφία περί του εντοπισμού της θρεπτικής φόρτισης των θαλάσσιων οικοσυστημάτων σε Ελλάδα, Ευρώπη αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο. Διαφαίνεται, ότι μέσα από την ελεγχόμενη μυδοκαλλιέργεια και κυρίως του είδους *Mytilus galloprovincialis* στα μεσογειακά ύδατα και του είδους ζέβρα (*Dreissena polymorpha*), αλλά και του μπλε μυδιού (*Mytilus edulis*) στη βόρεια θαλάσσια να υφίσταται η δυνατότητα αντιμετώπισης του ευτροφισμού, καθώς και η απομάκρυνση της πιθανότητας του φαινομένου της ερυθράς παλίρροιας από γεωργικά απορρίμματα και βιομηχανικά απόβλητα.

Ειδικότερα, για τον Ελλαδικό χώρο, καταγράφονται ενδεικτικές περιπτώσεις ευτροφισμού εντοπισμένες σε ελληνικά ύδατα, όπως στον κόλπο της Θεσσαλονίκης, στον Παγασητικό κόλπο, στον Μαλιακό κόλπο και στη λιμνοθάλασσα του Μεσολογγίου-Αιτωλικού. Περαιτέρω, σε ευρωπαϊκό επίπεδο για τα εν λόγω περιβαλλοντολογικά προβλήματα, έχουν υλοποιηθεί διάφορα ερευνητικά προγράμματα, στα οποία καταγράφεται η αποτελεσματικότητά τους, με μετρήσιμα στοιχεία και μεθόδους και ελέγχεται ο βαθμός μείωσης των θρεπτικών στοιχείων αζώτου (N) και φωσφόρου (P) σε διάφορα παράκτια ύδατα βόρειων και νότιων χωρών.

Σε όλες τις μελέτες, η καλλιέργεια μυδιών χρησιμοποιείται για τη μείωση του φορτίου θρεπτικών ουσιών από εσωτερικές πηγές σε πολλά παράκτια υδάτινα σώματα και εκβολές. Επιπλέον, η τοπική εξάντληση σωματιδίων από την καλλιέργεια μυδιών μπορεί να μειώσει τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-*a*, να αυξήσει τη διαφάνεια του νερού και να μειώσει την οργανική καθίζηση σε κλίμακα λεκάνης. Περαιτέρω, η συγκομιδή μυδιών χρησιμοποιείται ως μέσο για την εξαγωγή θρεπτικών ουσιών από το θαλάσσιο περιβάλλον και μπορεί να αποτρέψει ευτροφικούς κύκλους. Τελευταία, καινοτόμος διαδικασία σχετικά είναι η χρήση κονιορτοποιημένου κελύφους μυδιών διάσπαρτο σε ειδική πορώδη επιφάνεια K-CMSP, για τη μείωση ανάπτυξης ανθίσεων φυκών και τη μείωση των αζώτου (N) και φωσφόρου (P).

Εν γένει, διαφαίνεται ότι η ελεγχόμενη μόνο μυδοκαλλιέργεια αποκρίνεται -εν μέρει- θετικά και ποικιλοτρόπως στη μείωση των θρεπτικών στοιχείων, στη βελτίωση της ποιότητας και διαύγειας της υδάτινης στήλης και κατά συνέπεια παρουσιάζονται μειωμένες ευτροφικές συνθήκες και αποφυγή των ερυθρών παλίρροιών.

Abstract:

Title: *Controlled mussel culture as a factor to avoid eutrophication and red tides to coastwise areas*

The main goal of fishing and fish culture is to ensure healthy food with high nutrient value. However, a serious environmental problem to aquatic ecosystems remains their pollution due to various wastes, navigation, and agriculture. The high levels of nitrogen and phosphorus, as environmental pollutants, to aquatic biomass of lakes, lagoons, bays and rivers contribute to the serious environmental problem named eutrophication.

Due to the high rate of the nutrient supply to the aforementioned aquatic ecosystems, the high plant growth living in water is taken place and this leading to the suffocation of the aquatic living organisms (e.g. fish) and phytoplankton. In addition, sometimes the red tide phenomenon occurs with eutrophication. Red tide is the pink-purple colour of the surface water due to the fast phytoplankton's accumulation.

An alternative way to control the two aforementioned environmental pollution problems to aquatic ecosystems seems to be the mussel culture of high population. The mussel cultures potent controlling the nitrogen and phosphorus nutrient pollutants and moderating eutrophication, one of the biggest threats of the coastwise environments. In this study is investigated how the mussel culture could offer environmental protection, as well as to analyse the appropriate system of mussel culture in order to avoid eutrophication and red tides to coastwise environments.

Too many cases are referred worldwide regarding to aquatic pollution by various nutrients. But through mussel culture, mainly the mussel species *Mytilus galloprovincialis* at Mediterranean sea, and *Mytilus edulis* at north control eutrophication and red tide from agricultural and industrial wastes. In Hellas, eutrophication is noted to Salonica bay, Pagasitikos bay, Maliakos bay and Messolonghi-Aitoliko lagoon. At European level, to many research programs are implemented to control these environmental pollution issues concerning nitrogen and phosphorus decrease with various methods to coastwise sea waters.

The mussel culture is used to for the nutrient pollutant decrease to the aquatic ecosystems and this contribute to the lower concentration of the chlorophyll, the waters

became more diaphanous and the sink landslide is less. Furthermore, via the mussel harvesting the nutrient pollutants are eluted from the aquatic environment so the eutrophication is prevented. Recently, a novel procedure related to eutrophication and red tides control is to use triturate mussel shell scattered onto a specific porous surface, known as K-CMSP, for decreasing harmful algal blooms and nitrogen-phosphorous presence. In general, only the controlled mussel culture possibly confronts simultaneously eutrophication and red tide and, in parallel, upgrading water quality and transparency.

Λέξεις κλειδιά: Μύδια, μυδοκαλλιέργεια, ευτροφισμός, ερυθρά παλίρροια.

Keywords: Mussels, mussel culture, eutrophication, red tides.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Εισαγωγή

Η γεωμορφολογία της Ελλάδος και το κλίμα της δημιουργούν εξαιρετικές βιολογικές συνθήκες. Παρόλο που είναι σχετικά μικρή ως προς την έκταση της, το μεγάλο μήκος και η ποικιλία των ακτών της, οι οποίες καλύπτουν 17.000 χλμ και τα πολυπληθή νησιά, καταφέρνουν να προσφέρουν κατάλληλες συνθήκες για να αναπτυχθεί μία πλούσια θαλάσσια ζωή, μέσα στην οποία τα μαλάκια κατέχουν σημαντική θέση, (Delamotte & Βαρδαλλά-Θεοδώρου, 1994). Οι συγκεκριμένοι οργανισμοί παρουσιάζουν τεράστια μορφολογική και οικολογική ποικιλία, γεγονός που συνέβαλε στην μακρόχρονη επιβίωση και στην εξάπλωσή τους παγκοσμίως, καθώς ανέπτυξαν διάφορους αποδοτικούς μηχανισμούς. Παρά τις πιέσεις που δέχεται το περιβάλλον και ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, η Ελλάδα είναι ακόμη πλούσια ως προς τη βιοποικιλότητα της.

Η μυδοκαλλιέργεια αποτελεί έναν από τους πιο ταχείς αναπτυσσόμενους τομείς παραγωγής τροφίμων, αλλά και ένα όπλο στη φαρέτρα της αντιμετώπισης περιβαλλοντικών προβλημάτων στο υδάτινο στοιχείο. Η μυδοκαλλιέργεια επιδρά αντισταθμιστικά στο φαινόμενο του ευτροφισμού δεδομένου, ότι η φυσιολογική ποσότητα αλάτων συμβάλλει στην ανάπτυξη υδρόβιων φυτών και άλλων οργανισμών με τον ίδιο ρυθμό, ανεξάρτητα από την αφθονία όλων των υπολοίπων θρεπτικών ουσιών.

Ο ευτροφισμός (eutrophication) μπορεί να ορισθεί ως ο εμπλουτισμός των υδάτων με θρεπτικά συστατικά, κυρίως άζωτο (N) και φωσφόρο (P), ο οποίος επιταχύνει την ανάπτυξη των φυκών και των ανώτερων φυτών, που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου (O₂), κατά τη βιολογική αποικοδόμησή τους, και προκαλεί ανεπιθύμητες παρενέργειες στην ισορροπία των οργανισμών μέσα στο νερό καθώς και στην ποιότητα του νερού. Η έλλειψη οξυγόνου μπορεί να προκαλέσει μαζικούς θανάτους υδρόβιων οργανισμών. Η προέλευση των θρεπτικών είναι από τα λιπάσματα, τα απορρυπαντικά, από τα λύματα και τα υγρά απόβλητα τα οποία περιέχουν κυρίως νιτρικά, αμμωνιακά και φωσφορικά άλατα κ.λπ. (Κούγκολος, 2007).

Σήμερα, ο «ευτροφισμός» είναι κάτι περισσότερο από μια κατάσταση, μια τάση και ο όρος περιγράφει τις ποιοτικές συνθήκες ενός υδάτινου περιβάλλοντος, που έχει διαταραχθεί περισσότερο από την ποσοτική παραγωγικότητα της βιομάζας (Volterra *et*

al., 2002). Ο ευτροφισμός δημιουργείται εξαιτίας της χημικής ρύπανσης των υδάτων, ένα φαινόμενο το οποίο σε συνδυασμό με τις δημιουργούμενες ερυθρές μπορεί να αποφευχθεί από την ελεγχόμενη μυδοκαλλιέργεια.

Οι επιπτώσεις του ευτροφισμού στα παράκτια οικοσυστήματα έχουν τεκμηριωθεί ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες, όπου μερικά από τα πιο αντιπροσωπευτικά και εύκολα μετρήσιμα συμπτώματα αποτελούν οι αυξημένες συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτού και ταυτόχρονα μειωμένη καθαρότητα των υδάτων (Bricker *et al.*, 2003; Bricker *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2011). Συντονισμένες προσπάθειες για τη μείωση του ανθρωπογενούς ευτροφισμού, έχουν εφαρμοστεί διακρατικές συμφωνίες σε όλο τον κόσμο, με σκοπό τη μείωση των φορτίων θρεπτικών ουσιών στο παράκτιο περιβάλλον, όπως το σχέδιο δράσης της Βαλτικής Θάλασσας (BSAP, HELCOM, 2007, HELCOM, 2013) το 2007 (Backer *et al.*, 2010) και η οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα (WFD 2000/60/EC) το 2000, ώστε όλα τα ευρωπαϊκά εσωτερικά και παράκτια υδάτινα σώματα να φθάσουν στην «Καλή Οικολογική Κατάσταση» έως την τρέχουσα δεκαετία (Bořja *et al.*, 2013). Ενώ πραγματοποιήθηκαν πολλές άμεσες επιτυχίες στη μείωση του φορτίου των θρεπτικών ουσιών (Boesch, 2019), πολλά παράκτια οικοσυστήματα, εξακολουθούν να είναι ευτροφικά (Kristensen *et al.*, 2018) και η περαιτέρω μείωση θα απαιτήσει πολλαπλά, συνδυασμένα μέτρα (Duarte & Krause-Jensen, 2018; Friedland *et al.*, 2019b). Ως ένα από τα λίγα εργαλεία για το μετριασμό του ευτροφισμού στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι η καλλιέργεια μυδιών (*Mytilus spp.*) στην αιωρούμενη καλλιέργεια εξελισσόμενος ως νέος μηχανισμός (Petersen *et al.*, 2019a). Μια ποικιλία υπηρεσιών οικοσυστήματος προκύπτει ουσιαστικά από το μηχανισμό φιλτραρίσματος, ο οποίος ακινητοποιεί μεγάλα κλάσματα αιωρούμενων οργανικών υλικών από τη στήλη νερού (Petersen *et al.*, 2019b; Strand & Ferreira, 2019; Taylor *et al.*, 2021).

Σκοπός μεταπτυχιακής διατριβής

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή δεν πραγματοποιήθηκε εμπειρική έρευνα με μετρήσεις για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Αντίθετα, αξιοποιήθηκε η μέθοδος της

βιβλιογραφικής επισκόπησης με τη συλλογή και αξιολογική ιεράρχηση των δημοσιευμένων βιβλιογραφικών δεδομένων, για την ευχερέστερη πληροφόρηση και μετάδοση γνώσεων, καθώς και παραγωγή νέας γνώσεως, σχετικά με τη συμβολή της ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας στην αποφυγή των σοβαρών περιβαλλοντολογικών προβλημάτων στα υδάτινα οικοσυστήματα των παράκτιων περιοχών, αυτά του ευτροφισμού και των φαινομένων ερυθρών παλιρροιών.

Στο παρόν επιχειρείται να απαντηθεί το ερευνητικό ερώτημα για το αν η ελεγχόμενη μυδοκαλλιέργεια μπορεί τελικά να μειώσει το φαινόμενο ευτροφισμού και της ερυθράς παλίρροιας. Η απάντηση του συγκεκριμένου επιστημονικού ερωτήματος εντοπίζεται στη θεωρητική μελέτη των σχετικών ερευνών, ώστε να συγκριθούν, αξιολογηθούν και αξιοποιηθούν οι ευρύτερες ή περιορισμένες συλλογές σχετικών επιστημονικών δεδομένων και την αξιολογική ιεράρχησή τους, για να γίνει ευχερέστερη η πληροφόρηση και μετάδοση γνώσεων, καθώς και παραγωγή νέας γνώσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ

2.1 Το πρόβλημα του ευτροφισμού (Ελλάδα-Ευρώπη)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία-πλαίσιο 2000/60 Ε.Ε. για τη διαχείριση υδάτινων πόρων στοχεύει στη διατήρηση της ποιότητας των φυσικοχημικών παραμέτρων και στην ποικιλία των οργανισμών, που διαβιούν στα υδάτινα οικοσυστήματα. Ένα από τα προβλήματα που εξετάζει η εν λόγω οδηγία-πλαίσιο είναι τα επίπεδα περιβαλλοντικών προβλημάτων μεταξύ των οποίων και ο ευτροφισμός. Διευκρινίζεται, ότι η υπερφόρτωση με θρεπτικά στοιχεία δεν αποτελεί κίνδυνο από μόνη της, δηλαδή ο φωσφόρος (P) και το άζωτο (N) δεν είναι τοξίνες στο περιβάλλον, αλλά τα αποτελέσματα υπερδιεγερμένης πρωτογενούς παραγωγής και οι οικολογικές συνέπειές της δημιουργούν σοβαρό κίνδυνο, για το σύνολο του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Lundberg, 2013).

Στην αρχική του χρήση και ετυμολογία, «ευτροφικός» σήμαινε «καλή διατροφή» και ευτροφισμός σήμαινε η διαδικασία με την οποία οι υδάτινοι όγκοι παρουσίαζαν μεγαλύτερη παραγωγικότητα. Περίπου 50 χρόνια πριν, ωστόσο, έγινε σαφές ότι αυτή η «καλή διατροφή» είχε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε περιβάλλοντα γλυκού νερού, όπως λίμνες και ταμιευτήρες, και στη συνέχεια παρόμοιες ανησυχίες προέκυψαν για εκβολές ποταμών και παράκτιων συστημάτων. Η σημασία που απέκτησε οδήγησε στην πολιτική βούληση για δράση μέσω διάφορων περιφερειακών προγραμμάτων. Τελικά, στα τέλη του 20ου αιώνα, αποδόθηκε ένας πιο ολοκληρωμένος -επιστημονικά και νομικά ορισμός στο φαινόμενο αυτό (Ferreira *et al.*, 2011).

Τα μικροφύκη είναι μικροσκοπικοί μονοκύτταροι οργανισμοί, που χρειάζονται ηλιακή ενέργεια για να αναπτυχθούν. Καθένας από αυτούς μπορεί να αναπαραγάγει ως και ένα εκατομμύριο νέους μικροοργανισμούς μέσα σε λίγες εβδομάδες. Κατά το διάστημα της αναπαραγωγής τους, τα νερά στα οποία πολλαπλασιάζονται τείνουν να αλλάζουν χρώμα, εξαιτίας των χρωστικών ουσιών που παράγουν τα μικροφύκη για να «εγκλωβίσουν» το απαραίτητο ηλιακό φως (Pirini *et al.*, 2011).

Μερικές τοξίνες φυκών είναι εξαιρετικά ισχυρές και οι ανθίσεις χαμηλής πυκνότητας μπορεί να είναι επικίνδυνες, προκαλώντας μερικές φορές δηλητηριάσεις. Πολλά είδη HAB's παράγουν τοξίνες ικανές να προκαλέσουν βλάβη μέσω της ανάπτυξης

υψηλής βιομάζας, που οδηγεί σε αφρούς ή σκουλήκια, εξάντληση του οξυγόνου καθώς και ανθίσεις που αποσυντίθενται που προκαλούν καταστροφή των οικοτόπων ψαριών ή οστρακοειδών από σκίαση βυθισμένης βλάστησης (Anderson *et al.*, 2002).

2.2 Αιτίες ευτροφισμού

Οι παράμετροι που συμβάλλουν στην εμφάνιση του ευτροφισμού είναι συνήθως η μεγάλη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων που συμπεριλαμβάνονται στην υδάτινη βιομάζα, με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τις υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου καθώς και τις υψηλές φωσφορικές ενώσεις, που κυμαίνονται πάνω από τα φυσιολογικά όρια (Tagliapietra *et al.*, 1998; Willén, 1987).

Τα πρώτα σημεία ευτροφισμού εμφανίζονται συνήθως με μεταβολές στο τροφικό πλέγμα, ενδεικτικά με τις ταχέως αναπτυσσόμενες επιβλαβείς ανθίσεις σε φυτοπλαγκτόν και σε μακροφύκη, που συχνά οδηγεί στην εμφάνιση ερυθράς παλίρροιας και τοξικότητας στο περιβάλλον (Lazaridou *et al.*, 1996; Friligos, 1987; Zohdi, & Abbaspour, 2019). Όπως είναι γνωστό, άλατα φωσφόρου και αζώτου που καταλήγουν στα ύδατα προκαλούν ευτροφισμό, που οφείλεται στην ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Κατά τη διαδικασία του ευτροφισμού, προκαλούνται ανοξικές συνθήκες στη στήλη του νερού με δραματικές επιπτώσεις στο υδάτινο οικοσύστημα. Τα άλατα αυτά προέρχονται κυρίως από γεωργικά απόβλητα, ζιζανιοκτόνα και λιπάσματα, αλλά και από οικιακά και αστικά απορρυπαντικά πλούσια σε φωσφόρο, (Lazaridou *et al.*, 1996; Zanou & Korpe, 2000).

Φυσικοί παράγοντες που προκαλούν τον ευτροφισμό στα σώματα νερού είναι η θερμική στρωματοποίηση στάσιμου νερού (όπως λίμνες και δεξαμενές). Η θερμοκρασία και το φως επηρεάζουν την ανάπτυξη των υδρόβιων φυκών. Αυξημένες συνθήκες φωτός και θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της άνοιξη και του καλοκαιριού εξηγούν, γιατί ο ευτροφισμός είναι φαινόμενο που εμφανίζεται κυρίως κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών. Ο ίδιος ο ευτροφισμός επηρεάζει τη διείσδυση φωτός μέσα από το υδάτινο σώμα, λόγω της σκιάς -αποτέλεσμα που προέρχεται από την ανάπτυξη φυκών και άλλους ζωντανούς οργανισμούς- και αυτό μειώνει τη φωτοσύνθεση σε βαθιά στρώματα νερού και την υδρόβια χλόη και αναπτύσσονται ζιζάνια (Volterra *et al.*, 2002). Μακροπρόθεσμα,

μέσω φυσικών μεταβολών και γεωλογικών διεργασιών, όπως οι σεισμοί, συμβαίνουν αλλαγές στην υδρολογία των περιοχών (Mitraki *et al.*, 2004).

2.3 Ευτροφισμός στην Ελλάδα και στην Ευρώπη

Στην Ελλάδα, έχουν πραγματοποιηθεί πληθώρα ερευνών με καταγεγραμμένα προβλήματα ευτροφισμού στο υδάτινο οικοσύστημα. Συνήθως αυτές οι μελέτες στοχεύουν σε μια προκαταρκτική προσπάθεια συλλογής δεδομένων για την κατάσταση των υδάτινων πόρων και την αξιολόγηση του επιπέδου ευτροφισμού, με προτάσεις για πιθανές λύσεις σε αυτά τα προβλήματα (Πίνακας 1 & Εικόνα 1).

Πίνακας 1: Καταγεγραμμένες αναφορές ευτροφισμού ενδεικτικά σε υδάτινους πόρους στην Ελλάδα.

Περιοχή της Ελλάδος	Είδος και ονομασία υδάτινου οικοσυστήματος	Χαρακτηρισμός του επιπέδου ευτροφισμού	Αιτίες πρόκλησης ευτροφισμού	Επιπτώσεις στο τροφικό πλέγμα	Επιπτώσεις στην υδάτινη στήλη	Πηγή
---------------------	--	--	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	------

Θεσσαλονίκη	Κόλπος Θεσσαλονίκης	Ευτροφισμός	Βιομηχανικά λύματα, οικιακά απόβλητα	Άνθιση μακροάλγεων	Υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών	[1]
Ιωαννίνων	Λίμνη Παμβώτιδα	Υπερτροφική κατάσταση	Αρδευτικά και οικιακά λύματα	Άνθιση κυανοφυκών	Συσσώρευση ιζημάτων	[2]
Θεσσαλονίκη	Λίμνη Κορώνεια	Υπερτροφική κατάσταση	Κλιματικοί παράγοντες, σεισμοί, αλλαγές στην υδρολογία της περιοχής	Άνθιση κυανοβακτηρίων	Προοδευτική μείωση της στάθμης του νερού	[3]
Καβάλας	Λιμνοθάλασσα Βάσσοβας (Δέλτα του Νέστου)	Ευτροφισμός	Δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες, ιχθυοκαλλιέργεια που εμποδίζει την κυκλοφορία του νερού	Άνθιση της πρωτογενούς παραγωγής	Μείωση της εισροής γλυκού νερού, η αύξηση της μέσης αλατότητας	[4]
Λέσβου	Κόλπος Καλλονής	Ευτροφισμός	Αστικά λύματα, γεωργική δραστηριότητα, περιοδικά απόβλητα από ελαιόλαδα	-	Κακή ποιότητα των υδάτων για κολυμβητικές δραστηριότητες	[5]
Βόλος	Παγασητικός Κόλπος	Ευτροφισμός	Οικιακά και Βιομηχανικά λύματα	Υψηλή παραγωγή φυτοπλαγκτού	Υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών	[6]
Ελευσίνα	Κόλπος Ελευσίνας	Ευτροφισμός	Βιομηχανικά λύματα	-	Υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών	[7]

[1]. Lazaridou *et al.*, 1996; [2]. Kagalou *et al.*, 2008; [3]. Mitraki *et al.*, 2004; [4]. Orfanidis *et al.*, 2005; [5].Zanou & Kopke, 2000; [6]. Friligos, 1987; [7]. Friligos & Barbetseas, 1990.



Εικόνα 1: Καταγεγραμμένες περιοχές ευτροφισμού στην Ελλάδα (διαμόρφωση από τον Π. Φανουργάκη, 2021).

Για την περίπτωση των λιμνών Παμβώτιδας του Νομού Ιωαννίνων και Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης, ο βαθμός ευτροφισμού χαρακτηρίζεται από τους ερευνητές ως υπερτροφική κατάσταση. Οι αιτίες πρόκλησης του ευτροφισμού προέρχονται από αρδευτικά και οικιακά λύματα καθώς επίσης και από κλιματολογικούς παράγοντες όπως φυσικές καταστροφές (Kagalou *et al.*, 2008).

Για την περίπτωση της λιμνοθάλασσας Βάσοβας, του δέλτα του Νέστου, του Νομού Καβάλας, μελετήθηκε η κατάσταση του επιπέδου ευτροφισμού, όπου βρέθηκε ότι οι αιτίες πρόκλησης αυτών των φαινομένων ήταν κυρίως οι δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες υψηλής βροχόπτωσης με ισχυρούς ανέμους και χαμηλή παλίρροια, καθώς επίσης και σε

ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως μονάδες υδατοκαλλιέργειας, που εμποδίζουν την κυκλοφορία του νερού δημιουργώντας έτσι στάσιμα ύδατα. Συνεπώς, το σύνολο αυτών των παραγόντων είχε ως αποτέλεσμα μεταβολές του τροφικού πλέγματος, με την αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής, αλλά και την μείωση της εισροής γλυκού νερού που έχει ως απόρροια την αύξηση της μέσης αλατότητας στην υδάτινη μάζα (Orfanidis *et al.*, 2005).

Στον Μαλιακό κόλπο οι ερευνητές του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσιών Ερευνών εντόπισαν το φύκι *Chattonella*. Πρόκειται για ένα φύκι που πρωτοεμφανίστηκε στην Ιαπωνία τη δεκαετία του '50. Έχει εντοπιστεί και άλλες φορές στα ελληνικά νερά και η ανάπτυξή του ευνοείται ιδιαίτερα σε παράκτια οικοσυστήματα. Η δράση του μπορεί να διαρκέσει από μία εβδομάδα έως και έξι μήνες και θεωρείται εξαιρετικά δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Όταν εντοπίζεται σε μεγάλη αφθονία, επιδρά στα βράγχια των ψαριών με συνέπεια αυτά να πεθαίνουν από ασφυξία. Επίσης, το φύκι *Chattonella* δεν προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα στους λουόμενους, όπως συμβαίνει με άλλα τοξικά φύκη. Σύμφωνα με το βιολόγο Κ. Κουκάρα (2004), ο οποίος έχει μελετήσει τα επιβλαβή μικροφύκη, «η παρουσία ελάχιστων κυττάρων του φύκου *Chattonella* στη θάλασσα είναι φυσιολογική, η απότομη αύξησή τους οφείλεται στον ευτροφισμό».

Για τις περιπτώσεις των κόλπων Θεσσαλονίκης, του κόλπου Καλλονής του Νομού Λέσβου, του Παγασητικού κόλπου του Νομού Βόλου, καθώς και του κόλπου Ελευσίνας της περιφερικής ενότητας Δυτικής Αττικής, έχουν πραγματοποιηθεί επίσης, ανάλογες μελέτες αξιολόγησης του επιπέδου ευτροφισμού. Αυτός προκαλείται μέσω αστικών, οικιακών και βιομηχανικών λυμάτων, καθώς και από αποχετεύσεις γεωργίας με περιοδικά λύματα και από απόβλητα ελαιολάδου που επεξεργάζονται την τοπική συγκομιδή ελιάς. Ως εκ τούτου προκαλούνται και οι ανάλογες μεταβολές στο τροφικό πλέγμα και ειδικότερα σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρούνται ταχείες αναπτυσσόμενες και επιβλαβείς ανθίσεις του φυτοπλαγκτού και των μακροφυκών (Friligos, 1981; Friligos & Barbetseas, 1990; Lazaridou *et al.*, 1996; Zanou & Korke, 2000).

Ειδικά στο Βόρειο Θερμαϊκό Κόλπο (NTG), με επιτόπιες παρατηρήσεις (φυσικές-χημικές μετρήσεις), μικροσκοπική ανάλυση του δείγματος φυτοπλαγκτού, δορυφορικής ωκεάνιας ανάλυσης έγχρωμη εικόνα και χρήση αριθμητικών υδροδυναμικών προσομοιώσεων υψηλής ανάλυσης με ενημερωμένες εκροές απορροής ποταμού, έρευνα

πραγματοποιήθηκε (2017-2018), με σκοπό την ανίχνευση συμβάντων ευτροφισμού και συσχετισμού με τις επικρατούσες φυσικές διαδικασίες και τα πρότυπα κυκλοφορίας των ωκεανών. Τα γεγονότα ευτροφισμού συσχετίστηκαν κυρίως με την κυριαρχία των νότιων ανέμων, οι οποίοι επηρεάζουν την κυκλοφορία των ωκεανών πάνω από το NTG με τρεις τρόπους: i) περιορίζουν τα επιφανειακά ύδατα στα βόρεια μέρη του NTG διαχωρίζοντας τις μάζες των υδάτων μεταξύ των βόρειων και νότιων περιοχών, ii) συμβάλλουν στη βόρεια εξάπλωση υφάλμυρων νερών πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά προς τα βόρεια μέρη του Κόλπου, και iii) επιβάλλουν μια αντικυκλωνική κυκλοφορία, ειδικά στον εσωτερικό και κεντρικό κόλπο αποδυναμώνοντας τη διαδικασία ανανέωσής του. Οι βόρειοι άνεμοι συμβάλλουν στην ανανέωση του Κόλπου επιβάλλοντας ροή δύο στρωμάτων, ειδικά κατά μήκος των ανατολικών ακτών. Οι εποχιακές εκστρατείες παρατήρησης της περιόδου 2017-2018 κατέγραψαν τρία γεγονότα ευτροφισμού (Ιούνιος - Ιούλιος 2017, Δεκέμβριος 2017 και Μάιος 2018) και δύο περιόδους ανανέωσης (τέλη Ιουλίου 2017 και Οκτώβριος 2017) που ευνοήθηκαν από τους δύο προαναφερθέντες τύπους συναντήσεων έντασης συνέργειας (Androulidakis *et al.*, 2021).

Γενικότερα οι αιτίες πρόκλησης αυτών των φαινομένων είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών παραγόντων. Έτσι προκαλούνται οι ανάλογες μεταβολές τόσο στο τροφικό πλέγμα με τη ταχεία επιβλαβή ανάπτυξη των κυανοβακτηρίων, όσο και στην υδάτινη μάζα με την αύξηση των συγκεντρώσεων της φυκοβιλιπρωτεΐνης (Perona *et al.*, 1998).

Η λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του συμπλέγματος λιμνοθαλασσών Μεσολογίου-Αιτωλικού και αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο και σημαντικότερο υγροβιότοπο στην Ελλάδα. ο οποίος προστατεύεται σύμφωνα με τις συνθήκες Ramsar και Natura 2000. Το οικοσύστημα αυτό ρυπαίνεται τόσο από τα αστικά λύματα του Μεσολογίου και του Αιτωλικού, όσο και από την έντονη γεωργική δραστηριότητα στη λεκάνη αποστράγγισης των δύο λιμνοθαλασσών (Dassenakis *et al.*, 1994). Κάτω από την καλά οξυγονωμένη υδάτινη επιφάνεια, το νερό είναι μόνιμα ανοξικό με συγκεντρώσεις υδρόθειου μέχρι $176 \mu\text{molL}^{-1}$. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διακύμανση των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου στη λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού και συγκεκριμένα το βάθος της ανοξικής ζώνης. Το 1951,

το διαλυμένο οξυγόνο μηδενιζόταν στο βάθος των 14m κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και στο βάθος των 19m κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Χατζικακίδης, 1951).



Εικόνα 2: Φαινόμενο του ευτροφισμού στη λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού(αρχείο Π. Φανουργάκη,2021).

Οι Avramidis P. *et al.* (2015), κατά τη διάρκεια της έρευνάς τους, κατέγραψαν ανοξικές συνθήκες κάτω από 10-11 m βάθος τον Αύγουστο και το Νοέμβριο και κάτω από 14 m βάθος, το Φεβρουάριο και τον Απρίλιο. Οι συνθήκες αυτές αποδόθηκαν στα ιζήματα της λιμνοθάλασσας, που δρουν ως «δεξαμενή» για τη διαχρονική επαναφόρτιση της υδάτινης στήλης με θρεπτικά συστατικά υποστηρίζοντας, έτσι, ότι η ανθρώπινη παρέμβαση κατέχει δευτερεύοντα ρόλο στην οικολογική κατάσταση της λιμνοθάλασσας.

Στην Ευρώπη, και ειδικότερα για την περίπτωση των λιμνών Γοσσίαζ της Πολωνίας, Arendsee της Γερμανίας και Mälaren της Σουηδίας, οι αιτίες πρόκλησης του ευτροφισμού, σχετίζονται με λύματα εντατικοποίησης της γεωργίας, λύματα πόλεων, καθώς και εργοστασιακά λύματα (Πίνακας 2 & Εικόνα 3).

Πίνακας 2: Καταγεγραμμένες αναφορές ευτροφισμού ενδεικτικά σε υδάτινους πόρους στην Ευρώπη.

Χωρά της Ευρώπης	Είδος και ονομασία υδάτινου οικοσυστήματος	Χαρακτηρισμός του επιπέδου ευτροφισμού	Αιτίες πρόκλησης ευτροφισμού	Επιπτώσεις στο τροφικό πλέγμα	Επιπτώσεις στην υδάτινη στήλη	Πηγή
Ισπανία	Ποταμός Alberche	Ευτροφισμός	Ανθρωπογενείς παράγοντες	Άνθιση κυανοβακτηρίων	Υψηλές συγκεντρώσεις φυκοβιλιπροτεΐνης	[1]
Ιταλία	Λιμνοθάλασσα Palude della Rosa	Ευτροφισμός	-	Μεταβολές στις μακροζωοβενθικές κοινότητες	Ανοξικές συνθήκες (ιδιαίτερα το καλοκαίρι)	[2]
Πολωνία	Λίμνη Gościąg	Ευτροφισμός	Λύματα εντατικής γεωργίας	Άνθιση Κυανοβακτηρίων	Θολότητα	[3]
		Ευτροφισμός	Εγχώρια απόβλητα	-	Υψηλές συγκεντρώσεις σε ιζήματα	[4]
Γερμανία	Λίμνη Arendsee	Ευτροφισμός	Λύματα της πόλης Arendsee	-	-	[5]
Φινλανδία	Κόλπος της Φινλανδίας, Βαλτική Θάλασσα	Ευτροφισμός	Οικιακές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες	Άνθιση μπλε-πράσινων φυκών	-	[6]
Σουηδία	Λίμνη Mälaren	Ευτροφισμός	Λύματα εργοστασίων	Αύξηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού	θολότητα του νερού	[7]

[1].Perona *et al.*, 1998;

[2].Tagliapietra *et al.*, 1998;

[3].Van Geel *et al.*, 1994;

[4].Newton *et al.*, 2003;

[5].Burkhard & Scharf, 1998;

[6].Kosenius, 2010;

[7].Willén, 1987.



Εικόνα 3: Καταγεγραμμένες περιοχές εutροφισμού ενδεικτικά στην Ευρώπη (διαμόρφωση από Π. Φανουργάκης, 2021).

Για τον ποταμό Alberche της Ισπανίας, η κατάσταση του συγκεκριμένου ποταμού αναφέρεται από τους ερευνητές ως εutροφική κατάσταση. Αυτοί οι ρύποι μεταβάλλουν την ισορροπία του τροφικού πλέγματος με την ταχεία επιβλαβή άνθιση των κυανοβακτηριών και του φυτοπλαγκτού, όπου τέτοιου είδους μεταβολές προκαλούν θολερότητα στην υδάτινη βιομάζα (Willén, 1987; Van Geel *et al.*, 1994; Burkhard & Scharf, 1998).

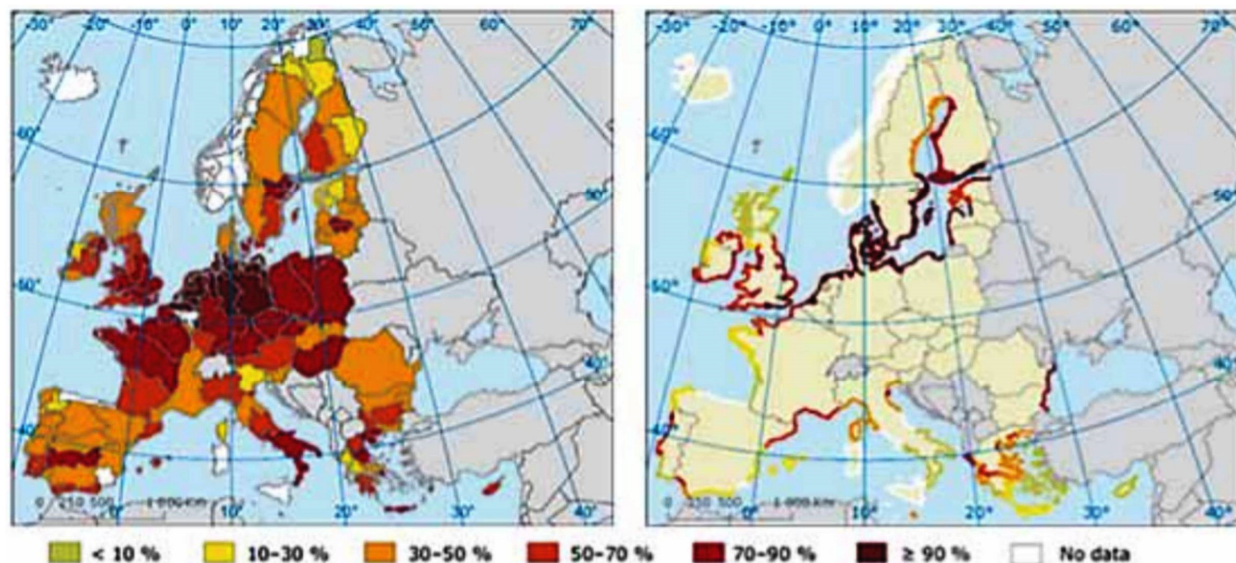
Η γειτνίαση της αστικής δραστηριότητας και της βιομηχανίας (πετροχημικά) γύρω από τη λιμνοθάλασσα Berre (νοτιοανατολικά της Γαλλίας) έχει προκαλέσει την υποβάθμιση του οικοσυστήματός της, που χαρακτηρίζεται από μια μόνιμη εutροφική

κατάσταση. Συγκεκριμένα, ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος έχει εκφορτίσει σημαντικές εισροές εμπλουτισμένου γλυκού νερού στη λιμνοθάλασσα από το 1966. Λόγω αυτών των υψηλών εισροών θρεπτικών συστατικών, αρκετά είδη φυτοπλαγκτού ανθίζουν τακτικά στη λιμνοθάλασσα την άνοιξη, το καλοκαίρι ή το φθινόπωρο. Η κορύφωση της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας ($>150 \mu\text{g Chl-}a/\text{dm}^3$) ακολουθείται από έντονη ετερότροφη δραστηριότητα, που οδηγούν στην κατανάλωση οξυγόνου (O_2) με υποξικά ή ανοξικά επεισόδια (Dugenne *et al.*, 2015).

Για την περίπτωση των λιμνοθαλασσών Palude della Rosa της Ιταλίας και Ria Formosa της Πορτογαλίας, έχουν μελετηθεί τα επίπεδα ευτροφισμού. Οι κύριες αιτίες που προκαλούν τα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι τα εγχώρια απόβλητα. Οι μεταβολές στο τροφικό πλέγμα προκαλούνται στις μακροζωοβενθικές κοινότητες και οι επιπτώσεις στην υδάτινη μάζα είναι οι ανοξικές συνθήκες, με τη μείωση του κορεσμένου οξυγόνου ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες (Tagliapietra *et al.*, 1998; Newton *et al.*, 2003).

Για την περίπτωση του κόλπου της Φινλανδίας (Βαλτική θάλασσα), ο ευτροφισμός είναι απόρροια οικιακής και παράκτιας ψυχαγωγικής δραστηριότητας. Κατά συνέπεια, προκαλούνται και οι αντίστοιχες επιπτώσεις στο τροφικό πλέγμα με ταχέως αναπτυσσόμενες επιβλαβείς ανθίσεις σε μπλε και πράσινα φύκη (Kosenius, 2010).

Μελέτη επικεντρώνεται στη λιμνοθάλασσα Oder (Szczecin) στα γερμανικά/πολωνικά σύνορα στην περιοχή της νότιας Βαλτικής Θάλασσας. Τα υψηλά φορτία θρεπτικών ουσιών του ποταμού, που εισέρχονται με τον ποταμό Oder/Odra, προκαλούν κακή ποιότητα νερού, χαμηλή διαφάνεια, μη ικανοποιητική οικολογική κατάσταση στη λιμνοθάλασσα Oder και παρεμποδίζουν την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη. Οι συγκεντρώσεις της θερινής χλωροφύλλης-*a* (*chl-a*), για παράδειγμα, είναι τέσσερις φορές υψηλότερες από τα φυσιολογικά επίπεδα για καλή περιβαλλοντική κατάσταση (Schernewski *et al.*, 2015). Ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι επιπτώσεις του ευτροφισμού, όπως η άνθιση κυανοβακτηρίων ή η θανάτωση ψαριών λόγω υποξίας, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά οικονομικά προβλήματα στον τουρισμό (Wasmund, 2002; Dolch & Schernewski, 2003).



Εικόνα 4. Ποσοστά ποιότητας νερού στην Ευρώπη: για ποτάμια και λίμνες (αριστερά), για παράκτιες περιοχές και εκβολές ποταμών (δεξιά), (Κατάλληλα διαμορφωμένη εικόνα από ©Kristensen, 2012).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δημοσίευσε την πρώτη αξιολόγηση της ΟΠΥ¹ (DCE) το 2009 (Πίνακας 3): Το 42% των υδάτινων σωμάτων είναι σε καλή κατάσταση. Οι λίμνες και τα παράκτια ύδατα παρουσιάζουν καλύτερες συνθήκες από τα ποτάμια και τα μεταβατικά νερά. Το πρόβλημα περιορίζεται κυρίως στη Βόρεια Θάλασσα και στο επίπεδο της θάλασσας σε εσοχές και εκβολές ποταμών κατά μήκος των ακτών των κελτικών θαλασσών, του Βισκαϊκού Κόλπου και των Ιβηρικών ακτών (Εικόνα 4). Οι αξιολογήσεις του OSPAR επιβεβαιώνουν την τάση της μείωσης των ροών φωσφόρου, μερικές φορές πολύ υψηλότερος από το αρχικά προβλεπόμενο 50% για ορισμένες χώρες μέλη. Η είσοδος αζώτου μειώνεται πιο αργά και με πιο μεταβλητό τρόπο (Pinay *et al.*, 2017).

¹(DCE): Directive-Cadresur l'eau(οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα (ΟΠΥ)).

Πίνακας 3: Συχνότητα παρακολούθησης των υδάτινων σωμάτων για προγράμματα επιτήρησης φυτοπλαγκτού και οστρακοειδών στην ΕΟΚ (Ε.Ε.). Διαμόρφωση από ©Bjarne Andresen, 2002.

Χώρα	Συχνότητα παρακολούθησης για το Φυτοπλαγκτόν	Συχνότητα παρακολούθησης περιοχές οστρακοειδών
Βέλγιο	---	Εβδομαδιαίος
Γαλλία	Δύο φορές το μήνα από Σεπτέμβριο έως Απρίλιο Μία φορά την εβδομάδα από Μάιο έως Αύγουστο Μία φορά την εβδομάδα κατά τη διάρκεια ειδοποιήσεων	Μόνο κατά την ειδοποίηση: Το ίδιο με το φυτοπλαγκτόν
Γερμανία	Συνεχής	Εβδομαδιαίος
Ιρλανδία	Μία φορά το μήνα από Νοέμβριο έως Απρίλιο Δύο φορές το μήνα τον Μάιο Μία φορά την εβδομάδα από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο	Αρχές Ιουνίου και μέσα Ιουλίου
Ιταλία	---	Εβδομαδιαίος
Πορτογαλία	Μία φορά το μήνα από Δεκέμβριο έως Απρίλιο Δύο φορές το μήνα από Μάιο έως Νοέμβριο Μία φορά την εβδομάδα κατά τη διάρκεια ειδοποιήσεων	Συστηματική πάνω από 30 σταθμούς
Ισπανία	Μία φορά το μήνα από Δεκέμβριο έως Μάρτιο Δύο φορές το μήνα από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο Μία φορά την εβδομάδα από τον Ιούλιο έως τον Νοέμβριο	Μόνο κατά τη διάρκεια μιας ειδοποίησης Το ίδιο με το φυτοπλαγκτόν
Ολλανδία	Εβδομαδιαία (Wadden Sea)	Στις εγκαταστάσεις αποποράς
Ηνωμένο Βασίλειο	---	Δειγματοληψία μυδιών στην ανατολική ακτή

2.4 Λόγοι παρακολούθησης του ευτροφισμού

Οι κύριοι λόγοι για την παρακολούθηση ενός υδάτινου συστήματος για ευτροφισμό είναι:

- Για την πρόληψη της εμφάνισης ευτροφισμού.
- Έγκαιρη προειδοποίηση. Αρχές της δημόσιας υγείας πρέπει να ξέρουν πότε είναι πιθανό να ξεκινήσει ο ευτροφισμός ώστε να τους επιτρέψει να εφαρμόσουν προληπτικές ενέργειες.

- Γνώση του επίπεδου ανάπτυξης της διαδικασίας για να υπάρχει μια ακριβή εικόνα της ποιότητας του νερού. Αυτό αφορά κυρίως τις εταιρείες ύδρευσης, οι οποίες πρέπει να ασχοληθούν με τα ευτροφικά νερά.
- Για έρευνα.

2.5 Ερυθρές παλίρροιες & τοξικό φυτοπλαγκτόν

Οι ερυθρές παλίρροιες (Εικόνα 5) είναι ένα φυσικό φαινόμενο, που συνδέεται με περιβαλλοντικά προβλήματα ευτροφισμού, με επιβλαβείς ανθίσεις (ραγδαία αύξηση ή συσσώρευση πληθυσμού) υδρόβιων μικροοργανισμών (του φυτοπλαγκτού) σε διάφορα παράκτια οικοσυστήματα (λίμνες, λιμνοθάλασσες, ποταμούς και κόλπους). Το φαινόμενο των ερυθρών παλίρροιών είναι ένα φαινόμενο που σχετίζεται με ταχείας συσσώρευσης πρωτογενούς παραγωγής σε αλμυρά, γλυκά και υφάλμυρα ύδατα (Orfanidis *et al.*, 2005). Συνήθως αυτή εντοπίζεται κυρίως στην επιφανειακή στρώση των στάσιμων υδάτινων μαζών, με το χαρακτηριστικό ερυθρό χρωματισμό που τις διακρίνει. Οι ερυθρές παλίρροιες εντοπίζονται συχνά σε παράκτιες περιοχές που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών, όπως για παράδειγμα οι νιτρικές και φωσφορικές ενώσεις (Willén, 1987; Tagliapietra *et al.*, 1998).

Οι ερυθρές παλίρροιες -ως προς την περιοδικότητα τους- διακρίνονται σε σταθερές και μη. Όταν αυτές παραμένουν σταθερές, διατηρούνται επίσης σταθερές και οι επιβλαβείς ανθίσεις τοξικών φυκών και φυτοπλαγκτού. Αυτές μπορούν να προκαλέσουν άμεσα και έμμεσα προβλήματα σε ένα πλήθος παραγόντων: τον τουρισμό, την ανθρώπινη υγεία, αλλά και στην οικονομία της παράκτιας περιοχής εντοπισμού του φαινομένου (Kosenius, 2010).

Με την αλλαγή της υδρολογίας των περιοχών, προκαλούνται και οι ανάλογες μεταβολές στο τροφικό πλέγμα, με την ταχεία ανάπτυξη των επιβλαβών ανθίσεων τόσο σε κυανόφυτα, όσο και σε κυανοβακτήρια. Τέλος, ανάλογες επιπτώσεις προκαλούνται στην υδάτινη στήλη, στη συσσώρευση ιζημάτων στον πυθμένα και ευρύτερα στο βένθος, αλλά και με την προοδευτική μείωση της στάθμης του νερού (Mitraki *et al.*, 2004; Kagalou *et al.*, 2008).

Επίσης, μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στον κλάδο της αλιείας, ενώ αφορά άμεσα και τη δημόσια υγεία (Orth & Moore, 1984; Kosenius, 2010; Genitsaris *et al.*, 2019). Αυτό συμβαίνει επειδή το τοξικό φυτοπλαγκτόν διαθέτει σημαντικές ποσότητες τοξινών, οι οποίες εκκρίνονται ελεύθερα στην υδάτινη στήλη, επιμολύνοντας τα οστρακοειδή και τα μαλάκια με τα οποία τρέφεται άμεσα ολόκληρο το τροφικό πλέγμα και έμμεσα ο άνθρωπος (Kosenius, 2010).

Για την Ελλάδα, το φαινόμενο της ερυθράς παλίρροιας συνήθως λαμβάνει χώρα στο Θερμαϊκό κόλπο της Θεσσαλονίκης. Άρχισε να εμφανίζεται για πρώτη φορά το 1988 και συνεχίζει να εμφανίζεται ανά περιόδους έως και σήμερα. Τα αίτια που προκαλούν το συγκεκριμένο φαινόμενο στο Θερμαϊκό κόλπο είναι οι δραστηριότητες ανθρωπογενών παραγόντων, καθώς αγροτικά και αστικά λιπάσματα που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία καταλήγουν στη θάλασσα (Lazaridou *et al.*, 1996; Jusoh, 1998).

Σύμφωνα με την έρευνα πεδίου των Friligos & Gotsis-Skretas (1989), Παγασητικό κόλπο, τα δείγματα επιφανειακών υδάτων συλλέχθηκαν από μια καθορισμένη σειρά σταθμών και αποδείχθηκε, ότι η αφθονία του φυτοπλαγκτού και η ταξινομική ποικιλομορφία εξαρτώνται από την συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών στα φυσικά νερά. Κατά συνέπεια, όταν η αφθονία αυξάνεται, η ποικιλομορφία μειώνεται. Η σημαντική διακύμανση σημειώθηκε στα κυρίαρχα είδη, κυρίως δε, σε σημεία δειγματοληψιών με συσσωρευμένη ρύπανση από θρεπτικών συστατικών. Η αύξηση των ειδών δινομαστιγωτών (*Dinoflagellates*) κυριαρχούσε στα ρυπασμένα ύδατα, ενώ τα διάτομα κυριαρχούσαν σε καθαρότερα νερά μακριά από τη συσσωρευμένη ρύπανση (Frigilos & Gotsis-Skretas, 1989). Με τη βιοαποικοδόμηση του τοξικού φυτοπλαγκτού, δημιουργούνται τέτοιες συνθήκες στα νερά του κόλπου, που θέτουν σε κίνδυνο τα ψάρια και τους άλλους υδρόβιους οργανισμούς, καθώς και των εγγύς μυδοκαλλιεργειών. Το φαινόμενο του τοξικού φυτοπλαγκτού έχει αρνητικές επιπτώσεις κυρίως σε οικολογικό επίπεδο, δηλαδή διαταράσσεται η ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Εντοπίζονται διάφοροι τύποι ευνοϊκών παραγόντων, που εντείνουν το φαινόμενο της ερυθράς παλίρροιας. Κλιματολογικοί παράγοντες, όπως η ζέση, που προκαλείται από έντονη ηλιοφάνεια, καθώς και τα φυσικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής εντείνουν το φαινόμενο. Επίσης, ο μικρός ρυθμός ανανέωσης προκαλεί στάσιμα ύδατα

στα μικρότερα βάθη και το βένθος μεγιστοποιεί αυτό το πρόβλημα. Κάποια από τα τοξικά επιβλαβή είδη που μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της ερυθρής παλίρροιας στην Ελλάδα, αναφέρονται στην έρευνα των Genitsaris *et al.* (2019) για το είδος *Noctiluca scintillans*, που εντείνεται στο κόλπο της Θεσσαλονίκης.

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν αναφερθεί πληθώρα ειδών που μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της ερυθρής παλίρροιας με χαρακτηριστικά παραδείγματα τα ακόλουθα τοξικά είδη: *Cochlodinium polykrikoides*, *Skeletonema costatum*, *Kareniamikimotoi* (Lee *et al.*, 2013).

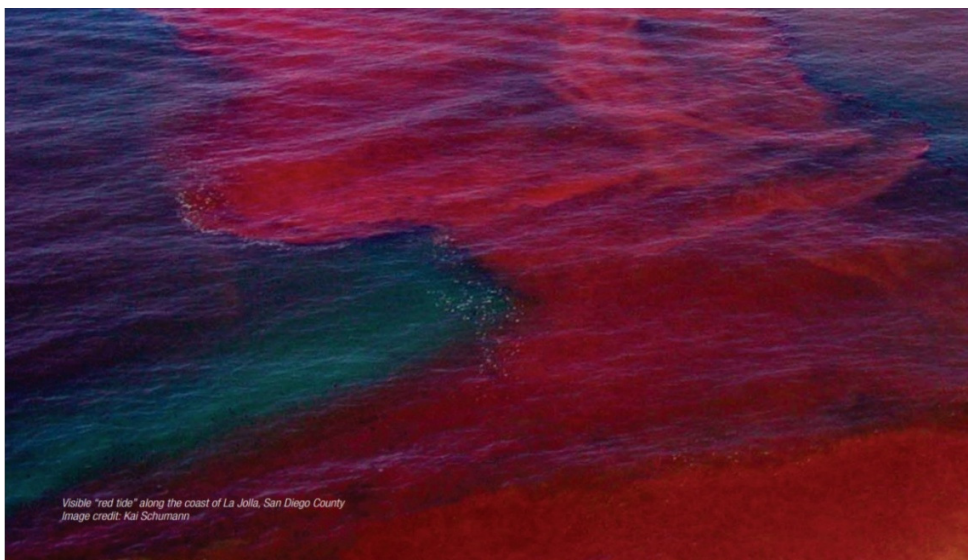
Στη Γαλλία, σε παράκτια μέρη ή οι εκβολές παρατηρείται υποξία. Για παράδειγμα, κατά μήκος των παράκτιων υδάτων της Βόρειας Θάλασσας, σχεδόν κάθε χρόνο την άνοιξη, τα νερά γίνονται κολλώδη και δημιουργούν κιτρινόλευκες συσσωρεύσεις συνοδευόμενες από δυσάρεστη οσμή. Παρατηρούνται επίσης τακτικά στις εκβολές του Λίγηρα (Pinay *et al.*, 2017).

Μια πορτοκαλί παλίρροια περιέβαλλε τον Κόλπο της Τεργέστης για μερικές ημέρες μέσα στον Απρίλιο του 2021, όπως αυτό παρουσίασαν τα ΜΜΕ (Larepubblica). Σημαντικές ανθίσεις επίσης παρουσιάστηκαν το 2003 και το 2017 στην ίδια περιοχή σύμφωνα με το Εθνικό Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας και Πειραματικής Γεωφυσικής (OGS) της Τεργέστης. Το πρόβλημα στον κόλπο της Τεργέστης υφίσταται λόγω των θρεπτικών στοιχείων που μεταφέρονται από τον ποταμό Πάδο, καθώς και λόγω παράκτιων απορρίψεων- αστικά, βιομηχανικά λύματα και γεωργικές απορροές (Σκαρπής, 2014). Έχουν εντοπιστεί συνολικά 40 δυνητικά τοξικά μικροφύκη, που προκαλούν αποχρωματισμούς κατά μήκος των ακτών της περιοχής της Καμπανίας (Νότια Τυρρηνική Θάλασσα, Μεσόγειος Θάλασσα). Ανώμαλοι αποχρωματισμοί καταγράφηκαν αρκετοί φορές στα παράκτια ύδατα και του Σαλέρνο, Ιταλία (Zingone *et al.*, 2006).

Έρευνα που διενεργήθηκε το 2006 μελετά τη χωρική κατανομή των τοξικών θαλάσσιων ειδών μικροφυκών και οι επιπτώσεις όλων των ειδών επιβλαβών φυκών (επιβλαβή άλγη - HAB's), στη Μεσόγειο Θάλασσα (MS), συμπεριλαμβανομένης της Μαύρης Θάλασσας, της Θάλασσας του Μαρμαρά, των παράκτιων λιμνοθαλασσών και των μεταβατικών υδάτων στηριζόμενη στα δεδομένα που συντάσσονται στο Ocean Biogeographic Information System (OBIS). Οι αναφορές τοξικών ειδών και HAB's έχουν

προφανώς αυξηθεί στα κράτη μέλη της ΕΕ κατά τη διάρκεια του τελευταίου μισού αιώνα, κάτι που πιθανότατα σχετίζεται με την αύξηση της ευαισθητοποίησης και της παρακολούθησης, παρά με την πραγματική αύξηση αυτών των φαινομένων. Ωστόσο, καμία πραγματική αύξηση τοξικών ή επιβλαβών γεγονότων δεν έχει μέχρι στιγμής εμφανιστεί σε περιοχές μελέτης, όπως τις γαλλικές και ισπανικές ακτές ή την Αδριατική Θάλασσα. Συνολικά, οι κύριοι κίνδυνοι των HAB's προέρχονται από περιπτώσεις μαζικής ανάπτυξης βιομάζας μικροφυκών και από επακόλουθες επιπτώσεις της μειωμένης ποιότητας των παράκτιων υδάτων από τον τουρισμό, που αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της θαλάσσιας οικονομίας κατά μήκος των ακτών των κρατών μελών (Zingone *et al.*, 2021).

Σε Παγκόσμιο επίπεδο, οι πιο γνωστές επιπτώσεις ερυθράς παλίρροιας έχουν καταγράψει στο Rhode Island της Αμερικής, στη Montana, τη Florida, στον κόλπο της California και του Μεξικού και σε πολλές άλλες παράκτιες περιοχές (Εικόνα 5), (Jusoh, 1998). Το 1998, το Κογκρέσο των Η.Π.Α αναγνώρισε τη σοβαρότητα αυτών των απειλών και ενέκρινε το νόμο για την Έρευνα και τον Έλεγχο των Επιβλαβών Αλγών (Harmful Algal Bloom and Hypoxia), (Thur, 2017-2021).



Εικόνα 5: Ορατή ερυθρά παλίρροια κατά μήκος της ακτής της Λα Χόγια, κομητεία του Σαν Ντιέγκο. ΗΠΑ. Κατάλληλα διαμορφωμένη από ©KaiSchumann.

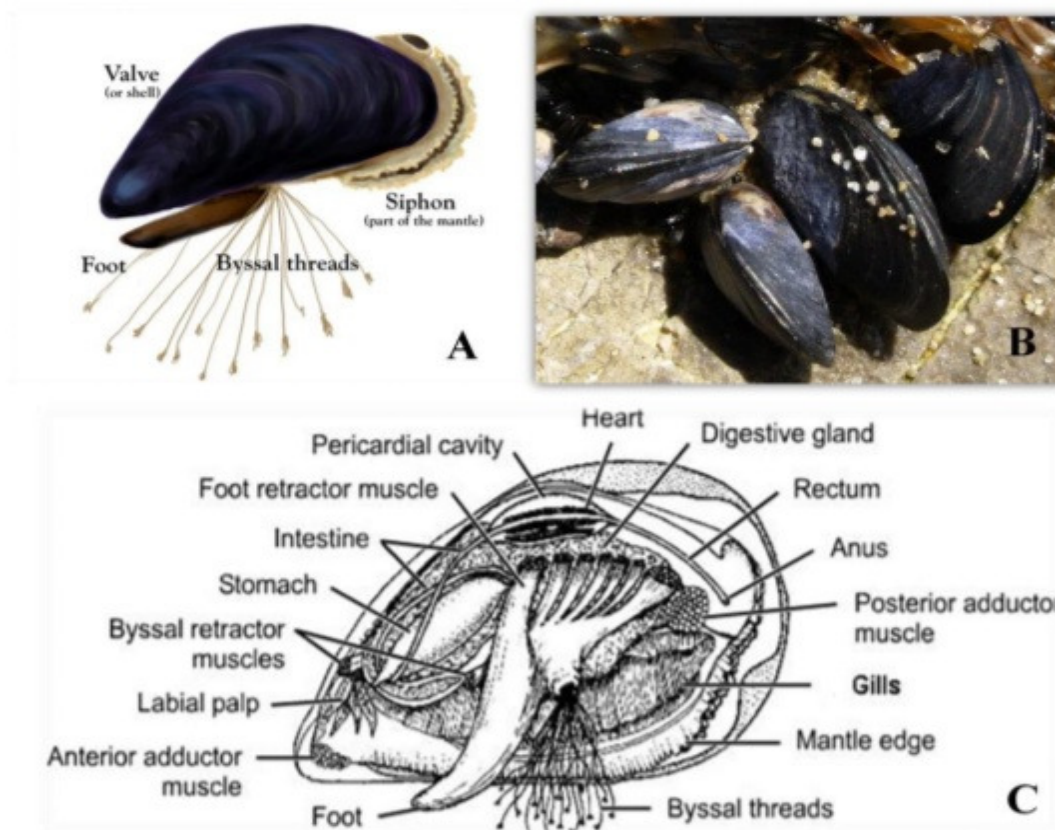
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΒΙΟΛΟΓΙΑ & ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΥΔΙΟΥ

3.1 Ανατομία, μορφολογία και φυσιολογία του μυδιού

Τα μύδια είναι αμφιπλευροσυμμετρικοί οργανισμοί με το πιο διακριτό χαρακτηριστικό τους να αποτελεί το όστρακό τους που απαρτίζεται από δύο συμμετρικές θυρίδες (κελύφη) ενωμένες με έναν ισχυρό ελαστικό σύνδεσμο, που με τη βοήθεια του πρόσθιου και του οπίσθιου προσαγωγού μύος, ελέγχει το άνοιγμά τους. Οι θυρίδες συγκρατούνται μεταξύ τους και με το υπόλοιπο σώμα από εξωτερικές ασβεστούχες πτυχές του μανδύα (Spencer, 2002).

Βασικό χαρακτηριστικό τους αποτελεί το ότι είναι ασπόνδυλα. Το σώμα τους είναι μαλακό χωρίς μεταμέρεια και αμφίπλευρη συμμετρία (Εικόνα 6). Στο εσωτερικό των θυρίδων περικλείονται όλα τα όργανα του ζώου. Το σώμα τους αποτελείται από το σπλαχνικό σάκο και το πόδι. Τα μύδια δεν έχουν κεφάλι, γι' αυτό λέγονται και ακέφαλα. Ο σπλαχνικός σάκος περικλείει τα περισσότερα από τα σπλάχνα, όπως τον πεπτικό σωλήνα, την καρδιά, το συκώτι, τα νεφρά, τους γενετικούς αδένες κλπ. Ο σπλαχνικός σάκος σκεπάζεται ολόκληρος ή κατά το μεγαλύτερο του μέρος, από μία πτυχή του δέρματος που λέγεται μανδύας. Πολυάριθμοι αδένες που βρίσκονται στο μανδύα εκκρίνουν το όστρακο του ζώου (Παπαναστασίου, 1990).

Τα μύδια είναι γονοχωριστικά, αλλά τα φύλα γίνονται διακριτά από το διαφορετικό χρώμα του μανδύα μόνο αφού φθάσουν σε γεννητική ωριμότητα (Στάικου, 2015). Η γονιμοποίηση είναι εξωτερική με τους γαμέτες του ενός φύλου να εκκρίνονται μέσω του αναπνευστικού ανοίγματος στο νερό, όπου θα συναντήσουν τους γαμέτες του άλλου φύλου.



Εικόνα 6: Εξωτερική και εσωτερική μορφολογία του είδους *M. galloprovincialis*. Η κίνηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του ποδίσκου απ' τον οποίο ο βυσοογόνος αδένας οδηγεί κοιλιακά στο σχηματισμό της βύσσου (A) προς την προσκόλληση του ατόμου στο βραχώδες υπόστρωμα του περιβάλλοντος που διαβιεί ή/και σε γειτονικά του άτομα (B). Ο μανδύας (C) που αποτελείται από δύο λοβούς, περικλείει όλα τα μαλακά μέρη του σώματος του μυδιού και αποτελείται από συνδετικό ιστό στον οποίο εντοπίζονται η αιμόλεμος, τα αγγεία, τα νεύρα, καθώς και το μυϊκό σύστημα, που είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο στα περιθώρια του μανδύα. Η ύπαρξη βλεφαρίδων στην εσωτερική επιφάνεια του μανδύα διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην κατεύθυνση των διαφόρων σωματιδίων πάνω στα βράγχια, καθώς και στην εκτροπή βαρύτερων σωματιδίων προς το εσωτερικό του μανδύα ή στην απόρριψη αυτών (Gosling, 2015).

3.2 Φυσιολογία Θρέψεως- Διατροφή

Το μύδι είναι **διηθηματοφάγος οργανισμός** και τρέφεται με φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς διαστάσεων $<5 \mu\text{m}$ (καταναλωτές Α' Τάξης) και σωματιδιακό οργανικό υλικό από την υδάτινη στήλη. Τα μύδια, δηλαδή, φιλτράρουν το νερό για να κατακρατήσουν την τροφή τους, η οποία είναι αιωρούμενα σωματίδια στο νερό,

φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί και άλλες οργανικές ουσίες. Το φυτοπλαγκτό αποτελεί μια πολύ καλή πηγή οργανικής ύλης κατάλληλης για τη διατροφή των μυδιών. Τα μύδια, όπως και άλλα δίθυρα μαλάκια, μετατρέπουν άμεσα αυτή την φυτική χημική ενέργεια σε ζωική πρωτεΐνη (Βιδάλης & Αργυρίου, 2006).

Εν γένει, λοιπόν, η διατροφή των μυδιών αποτελείται από μικροσκοπικά μονοκύτταρα φυτά (διάτομα, μαστιγοφόρα, κυανοφύκη, βακτήρια) ή ζώα (πρωτόζωα, μαστιγοφόρα, σποροζώα, βλεφαριδοφόρα), φύκη και διάτομα, τα οποία διηθούνται από το θαλάσσιο νερό με τα βράγχια. Για το λόγο αυτό, τα βράγχια είναι εξαιρετικά ανεπτυγμένα εφόσον εκτελούν διπλό προορισμό: την αναπνοή και τη σύλληψη της τροφής. Η εσωτερική επιφάνεια του μανδύα, η οποία καλύπτει τα βράγχια και τις στοματικές βαλβίδες, καλύπτεται από βλεφαρίδες, οι οποίες κινούμενες δημιουργούν ταχύ ρεύμα ύδατος. Τα μύδια έχουν την ικανότητα να απορροφούν με ολόκληρη την επιφάνεια του μανδύα, των βράγχιων και των στοματικών λοβών τις διάφορες ουσίες, οι οποίες ακολούθως μετασχηματίζονται προς χρήση από τον οργανισμό του ζώου (Νεοφύτου, 2000; Βιδάλης & Αργυρίου, 2006).

Τα όργανα που παίζουν βασικό ρόλο στη διατροφή και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών των μυδιών είναι το στόμα-το οποίο είναι πλήρως καλυμμένο από ακτίνες- ο οισοφάγος και ο πεπτικός αδένας που περιέχει το στομάχο και το ηπατοπάγκρεας. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα βράγχια. Τα μύδια για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών τους, διηθούν σημαντική ποσότητα νερού μέσα από τα βράγχια, φιλτράροντάς το, κατακρατώντας τις ουσίες -κυρίως μικροοργανισμούς- που βρίσκονται σε αιώρηση (Κράββα, 2000).

Όσο αναφορά την κατάποση, τα σωματίδια μετά τη διήθησή τους από τα βράγχια και την κατακράτησή τους σε αυτά μέσω κάποιων αυλακώσεων οδηγούνται τελικά στο στόμα του οργανισμού. Ως ρυθμός κατάποσης ορίζεται ο ρυθμός εισόδου της τροφής μέσω των τροφικών αυλακών στο στόμα και εξαρτάται από την ταχύτητα διήθησης, το ρυθμό φιλτραρίσματος, τη θερμοκρασία καθώς και από την πυκνότητα των αιωρούμενων σωματιδίων. Όταν αυξηθεί η πυκνότητα των σωματιδίων, τότε θα μειωθεί η ταχύτητα διήθησης και ο ρυθμός κατάποσης (Βιδάλης & Αργυρίου, 2006).

Η διατροφή των μυδιών εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα διήθησης και κατάποσης, σε σχέση με την ταχύτητα πέψης ώστε να επιτυγχάνεται η ταχεία αφομοίωση. Ως ταχύτητα διήθησης ονομάζεται η αναλογία του φιλτραρισμένου νερού που διηθεί ένα μύδι ξεχωριστά και ορίζεται ως λίτρα ανά ώρα (lit/h)(Βιδάλης & Αργυρίου, 2006). Η ταχύτητα διήθησης των μυδιών δεν είναι ίδια για όλα τα είδη μυδιών. Σε γενικές γραμμές το κάθε άτομο ξεχωριστά φιλτράρει δυο με πέντε λίτρα ανά ώρα (lit\h). Ο μεταβολισμός των μυδιών επηρεάζεται σημαντικά από τους παράγοντες της θολερότητας και θερμοκρασίας του νερού (Βιδάλης & Αργυρίου, 2006).

Σε θερμοκρασία ύδατος 20°C, τα μύδια κυκλοφορούν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού, ενώ σε θερμοκρασία νερού 15°C διαπιστώνεται μείωση κατά 20-25%. Το ρεύμα νερού εξερχόμενο από το σίφωνα του μυδιού είναι αρκετά παχύ. Όσο αυξάνει η ταχύτητα κυκλοφορίας του νερού, τόσο αυξάνει και ο ρυθμός φιλτραρίσματος. Επίσης είναι νοητό ότι όταν αυξάνεται η κυκλοφορία του νερού εμπεριέχοντας και παράλληλα τροφή προκαλεί τον οργανισμό να διατρέφεται γρηγορότερα που αυτό συνεπάγεται και γρήγορη αύξηση. Ο χρόνος που απαιτείται για να διαπεράσουν οι τροφές το στόμα μέχρι την έδρα του μυδιού είναι περίπου 75 λεπτά (Bardach *et al*, 1972; Bayne & Hawkins, 1990; Βιδάλης & Αργυρίου, 2006).

3.3 Καλλιέργεια μυδιών

Η καλλιέργεια μυδιών είναι ιδιαίτερα σημαντική για την οικολογία θαλασσιών οικοσυστημάτων. Ο ταχύς ρυθμός αύξησης των μυδιών σε συνδυασμό με την θρεπτική αξία που διαθέτουν, τα καταστούν αποδοτικά στην καλλιέργεια τους. Τα πιο γνωστά είδη μυδιών που καλλιεργούνται παγκοσμίως σύμφωνα με τα δεδομένα του (FAO. 2002) είναι τα *Mytilus edulis* και *Mytilus galloprovincialis*.

Στην παγκόσμια παράγωγή μυδιών συγκαταλέγονται χώρες, όπως η Κίνα, η Ισπανία, η Γαλλία, η Ολλανδία, η Δανία, η Ιταλία και αρκετά πίσω στη γενική κατάταξη, η Ελλάδα. Η μυδοκαλλιέργεια είναι μια υποκατηγορία του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών, με μη εντατικοποιημένη μορφή σίτισης των μυδιών, καθώς η προμήθεια του γόνου πραγματοποιείται από διάφορες φυσικές διαδικασίες (Inglis, 2000).

Στις μυδοκαλλιέργειες υφίσταται μεγάλη ποικιλία διαδεδομένων συστημάτων εκτροφής, που η επιλογή τους εξαρτάται από κριτήρια όπως η θέση, το κόστος και η λειτουργία της βιομηχανικής εγκατάστασης. Αναλυτικότερα χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

Καλλιέργεια βυθού: σε αυτό τον τύπο μυδοκαλλιέργειας, η συγκομιδή του γόνου λαμβάνει χώρα από τα φυσικά αποθέματα των περιοχών που ευδοκίμούν εύρωστα μύδια, ικανά για περαιτέρω ανάπτυξη. Αυτού του είδους η μυδοκαλλιέργεια αντιπροσωπεύει το 15% της συνολικής δραστηριότητας και οι παραγωγοί τους προέρχονται κυρίως από περιοχές της Ολλανδίας, της Γερμανίας, και σε μικρότερη συχνότητα από την Ιρλανδία και τη Μ. Βρετανία (Spencer, 2002).

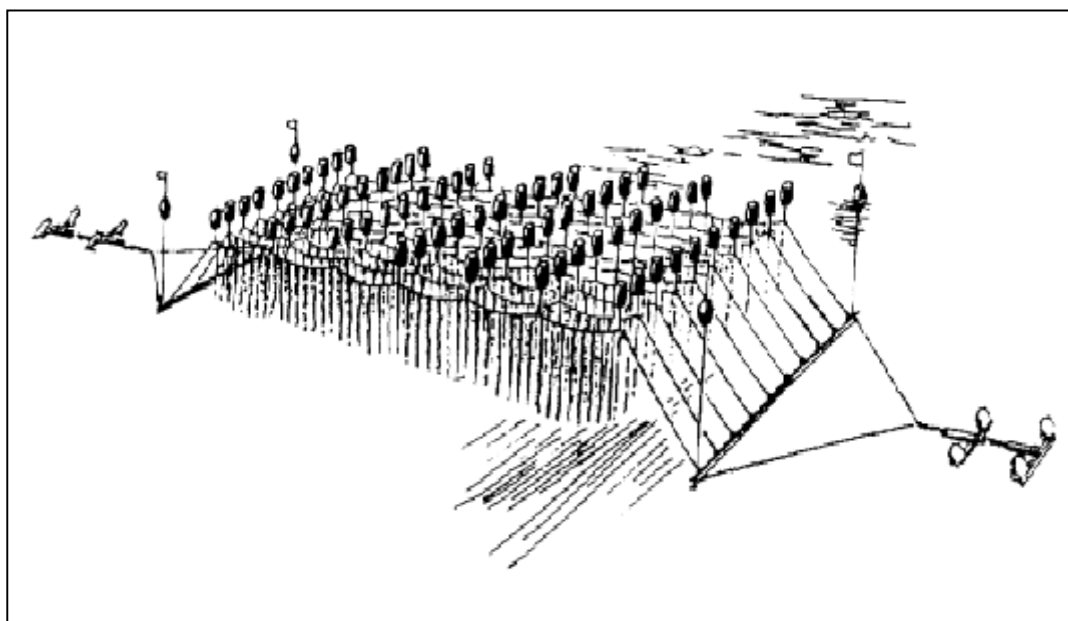
Καλλιέργεια στη στήλη του νερού: σε αυτό τον τύπο μυδοκαλλιέργειας αναδεικνύονται αρκετά πλεονεκτήματα κυρίως σε θέματα διατροφής που μεταφέρεται από τα ρεύματα και στην προστασία των μυδιών από τους θηρευτές. Αυτού του είδους η μυδοκαλλιέργεια αντιπροσωπεύει το 85% της συνολικής δραστηριότητας (Spencer, 2002).

Το Πασσαλωτό (pole): σε αυτό τον τύπο μυδοκαλλιέργειας χρησιμοποιούνταν εντονότερα στο παρελθόν στην Ευρώπη, και ειδικότερα στην Γαλλία. Αυτή πραγματοποιείται με τη κατάλληλη βύθιση ξύλινων πασσάλων στο πυθμένα της θάλασσας πάνω στους οποίους τυλίγονται ελικοειδείς αρμαθιές με τα όστρακα (η Γαλλική ονομασία της συγκεκριμένης τεχνικής αναφέρεται ως bouchot). Ειδικότερα, τοποθετούνται ξύλινοι πάσσαλοι στην ευρύτερη μεσοπαραλιακή ζώνη, έτσι ώστε να τοποθετούνται 2-3m πάνω από τον πυθμένα περί των 125 πασσάλων στο σύνολο και σε μήκος που εκτείνεται τα 50m. Η συγκομιδή του γόνου και οι πάσσαλοι τοποθετούνται στις αρχές Ιανουαρίου. Ο γόνος αρμαθιάζεται σε κυλινδρικά δίχτυα κατά μήκος των 3-5m, όπου αυτά δένονται γύρω από τον πάσσαλο (Gosling, 2003).

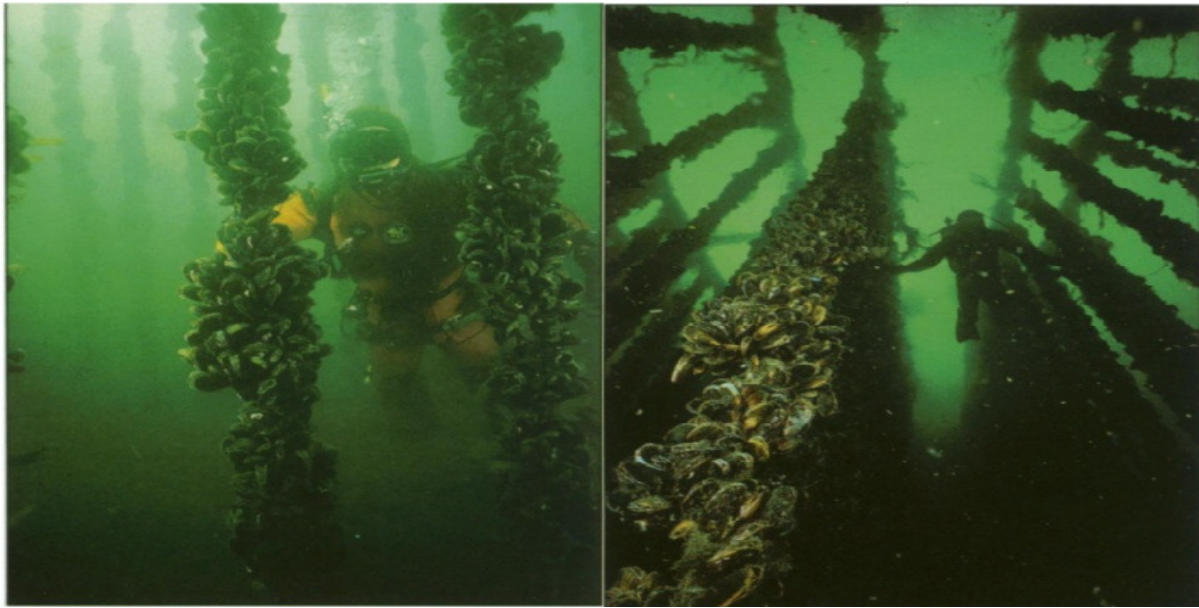
Σύστημα με σχεδίες (raft): σε αυτό τον τύπο μυδοκαλλιέργειας, το σύστημα βασίζεται πρωτίστως στην κατασκευή πλωτής σχεδίας (δηλαδή σχεδία με πλωτήρες), από υλικά πλαστικό ή ξύλο, επενδυμένο από τοιμέντο είτε fiberglass, παρέχοντας έτσι προστασία στο σύστημα από φθορές. Δευτερευόντως, στο πλαίσιο συμπεριλαμβάνεται παράλληλα ξύλινα δοκάρια (ξύλο ευκαλύπτου), έτσι ώστε να προκύψουν οι κατάλληλες κατασκευές, δηλαδή τετράγωνες σχεδίες περί των 20m. Σε αυτές κρέμονται 500 στο σύνολο σχοινιά, και τοποθετούνται σε απόσταση 50cm μεταξύ τους, πάνω σε δοκάρια

καθώς και στα σχοινιά (Mason, 1972; Spencer, 2002). Η Ισπανία είναι η δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγός χώρα μυδιών στην Ευρώπη και παράγει με τη μέθοδο της σχεδίας το είδος *Mytilus edulis* στη βορειοδυτική ακτή (Vigo & Arosa) (Gosling, 2003).

Το πλωτό σύστημα (longline): σε αυτό τον τύπο μυδοκαλλιέργειας, το σύστημα βασίζεται κυρίως σε ένα οριζόντιο σχοινί (από υλικό πολυπροπυλένιο), που εκτείνεται και επιπλέει στην επιφανειακή στήλη (Εικόνα 7). Δευτερευόντως βασίζεται στη βοήθεια πλωτήρων, που εκτείνονται και επιπλέουν στην επιφανειακή στήλη σε βάθος 1,5 - 3,0 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (Εικόνα 8). Και στις δυο περιπτώσεις κρέμονται σχοινιά με μύδια, σε απόσταση μεταξύ τους τα 50 cm (Spencer, 2002). Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται σε Νέα Ζηλανδία, Ιταλία, Σουηδία, Αμερική και στη χώρα μας με τις κατάλληλες προσαρμογές (Haamer, 1996).



Εικόνα 7: Σύστημα μυδοκαλλιέργειας Longline (διαμόρφωση από Haamer, 1996).



Εικόνα 8: Αριστερά, επιθεώρηση της ωριμότητας καλλιέργειας για πιθανή συγκομιδή και δεξιά, το σύστημα μυδοκαλλιέργειας longline (διαμόρφωση από Haamer, 1996).

Η καλλιέργεια των μυδιών στην Ελλάδα (το μεσογειακό μύδι: mussel, *Mytilus galloprovincialis*) γίνεται σε πλωτά σχοινιά (long line) ή και σε πασσάλους. Αναλυτικότερα (Καραμανλής, 2018):

- **Πάνω σε πλωτά σχοινιά (long line).** Ο γόνος των μυδιών στερεώνονται σε δικτυωτή αρμαθιά (sock, κν. κάλτσα) πάνω σε σχοινιά, τα οποία κρέμονται κάθετα μέσα στο νερό, δεμένα σε μια σταθερή ή πλωτή κατασκευή. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για θάλασσες με μικρή παλίρροια όπως η Μεσόγειος, αρχίζει όμως να εφαρμόζεται και στον Ατλαντικό ωκεανό με την ανάπτυξη της μυδοκαλλιέργειας στην ανοιχτή θάλασσα, όπως στη Γαλλία, την Ιρλανδία και το Βέλγιο. Η συγκομιδή γίνεται με αποκόλληση της αποικίας μυδιών από το σχοινί αφού πρώτα το τελευταίο τραβηχτεί έξω από το νερό.
- **Πάνω σε πασσάλους (bouchots).** Η καλλιέργεια αυτή γίνεται πάνω σε σειρές ξύλινων πασσάλων στερεωμένων εντός της παλίρροιακής ζώνης. Γύρω από τον πάσσαλο τυλίγεται και στερεώνεται η δικτυωτή αρμαθιά (3 έως 5 μέτρα) γεμάτη γόνου. Η συγκομιδή γίνεται με απόξεση με το χέρι ή με μηχανικούς τρόπους, της αποικίας των μυδιών από τον ξύλινο πάσσαλο.

- **Πάνω σε σταθερές ή και πλωτές εξέδρες.** Σε ορισμένα μέρη, τα μύδια καλλιεργούνται όπως και τα στρείδια, μέσα δικτυωτούς σάκους πάνω σε εξέδρες στερεωμένες στην παλιρροιακή ζώνη ή και πλωτές ώστε να εξασφαλίζουν τη μόνιμη επαφή των καλλιεργούμενων μυδιών με το νερό.
- **Οριζόντια καλλιέργεια.** Τα νεαρά μύδια διασπείρονται πάνω σε αβαθείς αναβαθμίδες, κυρίως σε κόλπους ή προστατευμένα σημεία πάνω στο έδαφος. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στο Βέλγιο και την Ολλανδία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΥΔΙΑ & ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ

4.1. Η καλλιέργεια μυδιών ως δράση αντιμετώπισης του ευτροφισμού

Η καλλιέργεια μυδιών αποτελεί ίσως μία καινούρια και αποδοτική λύση σε ένα ενδεχόμενο πρόβλημα ευτροφισμού. Τα μύδια μέσω διεργασιών διήθησης μπορούν να απορροφούν σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων στερεών σωματιδίων, καθώς και χρωστικών ουσιών, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ποιότητα του νερού. Συνεπώς μπορεί να αποτελέσει μια ενδεχόμενη προοπτική μείωσης των επιβλαβών ανθίσεων των φυκών μειώνοντας υπό προϋποθέσεις τα φαινόμενα ευτροφισμού. Ο ρυθμός ανάπτυξής τους παρουσιάζεται εμφανώς ταχύτερος όταν αυτά διαβιούν σε εκβολές ποταμών και μεγάλα δέλτα όπου τα νερά είναι πλούσια σε οργανική ύλη (Gosling, 2003).

Το μύδι προτιμάει νερά μικρού βάθους μέχρι 10m, στα οποία υπάρχει αιωρούμενη ιλύς από εκροές ποταμών, όπως εκβολές και δέλτα. Από τους αβιοτικούς παράγοντες περιοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του διαδραματίζουν πρωτίστως η θερμοκρασία, η αλατότητα και το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο. Βέλτιστη ανάπτυξη επιτυγχάνεται σε θερμοκρασιακό εύρος 10 - 26°C, αλατότητα 22 - 42‰, ενώ η περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 5mg/L (Φώτης, 1999).

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η άνθιση των επιβλαβών φυκών και των κυανοβακτηρίων σε παράκτια οικοσυστήματα οφείλεται στις μεγάλες συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών που υπάρχουν διάχυτες εντός των υδάτινων μαζών (Willén, 1987; Tagliapietra *et al.*, 1998). Ο μετριασμός του φυτοπλαγκτού και τις σωματιδιακής οργανικής ύλης (POM) από την υδάτινη στήλη που προκύπτει μέσω διεργασιών διήθησης από οστρακοειδείς οργανισμούς, εμποδίζει την οργανική αποικοδόμηση από βακτήρια.

Προοδευτικά, η εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου (DO), οδηγεί σε μαζική θνησιμότητα των οργανισμών (Bricker *et al.*, 2017). Ωστόσο, ερωτηματικά προκαλεί αν η επίδραση των μυδοκαλλιιεργειών έχει θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις απέναντι σε ένα ευτροφικό υδάτινο οικοσύστημα. Σύμφωνα με την έρευνα των McLaughlan & Aldridge (2013) αναφέρεται, ότι η καταστολή ανάπτυξης των φυκών επιτυγχάνεται μέσω φυσικών τροφοδοτικών φίλτρων, όπως τα μύδια, τα οποία μπορούν να αφαιρούν σημαντικές

ποσότητες αιωρούμενης ύλης από την υδάτινη στήλη μειώνοντας, ωστόσο, τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών μέσω βιοδιάθεσης ή αφομοίωσης. Το *Dreissena polymorpha* -μύδι ζέβρα- έχει χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού σε περιοχές του Πόντου και της Κασπίας θάλασσας, ωστόσο δεν αναφέρεται ποσοτικώς η πυκνότητα των μυδιών και ο ρυθμός φιλτραρίσματος του νερού. Σε νεότερη έρευνα έχει παρατηρηθεί, ότι τα μύδια ζέβρα καθαρίζουν φυσικά ένα ελαφρώς υφάλμυρο υδάτινο περιβάλλον στη λιμνοθάλασσα Oder στη βορειοανατολική Γερμανία (Daeschlein *et al.*, 2015).

Εξαιτίας του ιδιόμορφου τρόπου διατροφής τους, τα μύδια προσαρμόζονται εύκολα σε διατροφικά μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, καθιστάμενα ικανά να αναπτύσσουν μια υψηλά επιλεκτική διατροφική στρατηγική. Η συμπεριφορά αυτή έχει ως αποτέλεσμα την απόρριψη ανεπιθύμητων υλικών, τα οποία εκλαμβάνονται ως ψευδοαπεκρίμματα (Bendell - Young & Arifin 2004). Η επιλεκτική στρατηγική των μυδιών τα καθιστά εν δυνάμει βιο-δείκτες, που μπορούν να βρουν εφαρμογή στη μέτρηση της συγκέντρωσης μετάλλων ή άλλων μορίων στο νερό (Thomann *et al.*, 1995). Σε αυτό συντελεί και η ικανότητά τους να επιβιώνουν σε υψηλά ρυπασμένες περιοχές συσσωρεύοντας οργανικούς ρυπαντές σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από τοπεριβάλλον, που μπορεί να φτάσουν σε τοξικά για άλλους οργανισμούς επίπεδα εντός των ιστών (Pipe *et al.*, 1999). Εντούτοις η παρατεταμένη έκθεση σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στοιχείων όπως κάδμιο, ψευδάργυρος, χαλκός και μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει διάφορους τύπους ασθενειών, απώλεια των ακτίνων και εκφυλισμό των βλενωδών κυττάρων των βραγχίων (Livingston & Pipe 1992), ελλιπή ανάπτυξη του βύσσου (El-Shenawy *et al.*, 2001; Karagiannis *et al.*, 2010) και προσβολή του ανοσοποιητικού με συνέπεια την αυξημένη ευαισθησία σε ασθένειες (Pipe *et al.*, 1999). Μια από τις πρώτες ενδείξεις αυξημένης συγκέντρωσης ρυπαντών στο νερό και συγχρόνως άμεση αντίδραση των διθύρων στην κατάσταση αυτή είναι η παραγωγή μεταλλοθειονινών, πρωτεϊνών δηλαδή που δεσμεύουν βαρέα μέταλλα. Έτσι η ομάδα αυτή πρωτεϊνών έχει προταθεί ως ένας από τους καταλληλότερους βιο-δείκτες υδατικής ρύπανσης (Kalpraxis *et al.*, 2004).

Όταν το φιλτράρισμα των διθύρων («πίεση βοσκής») ξεπερνά τον κύκλο εργασιών του φυτοπλαγκτού, όπως είναι συνηθισμένο στις εκμεταλλεύσεις μυδιών, εμφανίζεται έλλειψη τροφής. Το αποτέλεσμα εξάντλησης είναι ένα κοινό χαρακτηριστικό των διθύρων

συσσωματωμάτων, και έχει αναφερθεί συχνότερα σε πολλές κλίμακες στο διάστημα και το χρόνο σε διάφορα περιβάλλοντα και είδη (Hulot *et al.*, 2018; Cranford, 2019). Οι μηχανισμοί που σχετίζονται με την εξάντληση ειδικά για την εκτροφή μυδιών έχουν μελετηθεί, αλλά και περιγραφεί, σε σχέση με τη δυναμική των σωματιδίων και τη διήθηση σωματιδίων σε μια πολύπλοκη τρισδιάστατη ρύθμιση (Cranford *et al.*, 2011, Cranford, 2019), η οποία περαιτέρω καθιστά δύσκολη τη σύγκριση μεταξύ μελετών εξάντλησης. Σε γενικές γραμμές, οι μελέτες έχουν την τάση να αξιολογούν την εξάντληση σε περιορισμένες κλίμακες χρησιμοποιώντας ποικίλες προσεγγίσεις για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων οιστού εντός και γύρω από τις δομές καλλιέργειας μυδιών, που βασίζονται συνήθως σε διακριτή δειγματοληψία ή συνεχείς μετρήσεις με βάση τα σημεία, οι οποίες μπορεί να είναι δύσκολο να γενικευθούν από το περιβάλλον, στρατηγική καλλιέργειας μυδιών ή προσέγγιση μέτρησης.

Σύμφωνα με την έρευνα των Matisson & Lindén (1983), πραγματοποιήθηκε μια μελέτη πεδίου για τρία (3) συνεχόμενα έτη, στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής ακτής της Σουηδίας, σε εντατικού τύπου καλλιέργειες μυδιών του είδους *Mytilus edulis*. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν, ότι παράγονται υψηλές συσσωρεύσεις περιττωμάτων στον πυθμένα έχοντας ως αρνητικό αποτέλεσμα τις μεταβολές στη σύνθεση των ιζημάτων και τη δομή της βενθικής κοινότητας κάτω από την γραμμή της βιομηχανικής ζώνης. Η εναπόθεση οργανικής ύλης δημιουργούσε αρκετά εκατοστά ιζήματος κάθε χρόνο, με αποτέλεσμα την παραγωγή συγκέντρωσης υδρόθειου (H₂S) στο ανώτερο στρώμα (Matisson & Lindén, 1983).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα, εκ πρώτης όψεως, η μυδοκαλλιέργεια μπορεί να αποτελέσει -πιθανόν- ως συσσωρευτής βιοδιάθεσης ή αφομοίωσης αιωρούμενων στερεών υλικών στην επιφανειακή στήλη νερού σε βεβαρημένα με ευτροφισμό υδάτινα οικοσυστήματα (McLaughlan & Aldridge, 2013), στο μετριασμό της συγκέντρωσης μετάλλων ή άλλων μορίων (Thomann *et al.*, 1995) βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των υδάτων. Όμως, η εναπόθεση των μεταβολικών υπολειμμάτων των μυδιών που καθιζάνει στο βένθος με το χρόνο προκαλεί βλαπτικές μεταβολές στη δομή της βενθικής βιοκοινωνίας (Matisson & Lindén 1983, Grant *et al.*, 1995, Stenton *et al.*, 1999).

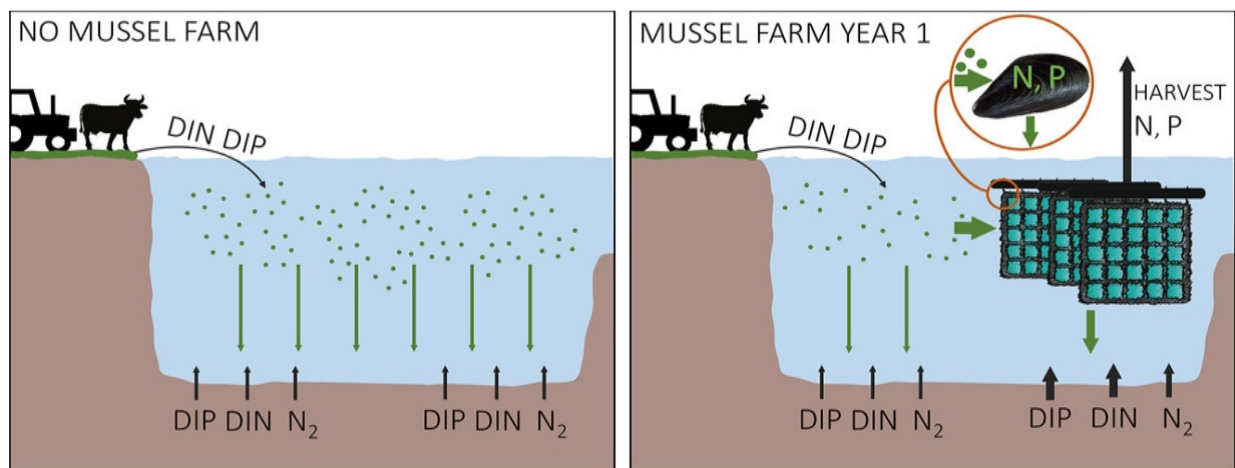
Σε μεμονωμένες περιπτώσεις θα μπορούσε πιθανόν να χρησιμοποιηθεί η μυδοκαλλιέργεια για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και κατά συνέπεια και του ευτροφισμού. Έτσι, στην περίπτωση που στο κάτω τμήμα της γραμμής παραγωγής των μυδοκαλλιεργειών δεν εντοπίζεται βενθική κοινότητα οργανισμών, θα μπορούσε να εφαρμοστεί ένα ειδικευμένο σύστημα πολλαπλής τροφικής υδατοκαλλιέργειας (ΙΜΤΑ) καθαρά για το βένθος και μόνο, ώστε να μειώνονται τα μεταβολικά ιζήματα των μυδιών.

Στην περίπτωση που στο κάτω τμήμα της γραμμής παραγωγής των μυδοκαλλιεργειών εντοπίζονται βενθικοί οργανισμοί δεν θα μπορούσε πιθανόν να χρησιμοποιηθεί η μυδοκαλλιέργεια ως δράση αντιμετώπισης ευτροφισμού. Ακόμα και αν υπήρχε μια πιο τεκμηριωμένη άποψη περί μεταβολών στη δομή της βενθικής κοινότητας με την παρουσία της μυδοκαλλιέργειας, θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως αυτοί αναφέρονται στην ενότητα «1.1 Το πρόβλημα του ευτροφισμού Ελλάδα - Ευρώπη» (Πίνακες 1,2 & Εικόνες 1,3). Για παράδειγμα τέτοιοι κλιματικοί παράγοντες είναι: οι σεισμοί και αλλαγές στο υδρολογία της περιοχής (Mitraki *et al.*, 2004) και τα βιομηχανικά αρδευτικά λύματα (Lazaridou *et al.*, 1996). Η τοπική εξάντληση σωματιδίων από την καλλιέργεια μυδιών μπορεί να μειώσει τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης, να αυξήσει τη διαφάνεια του νερού και να μειώσει την οργανική καθίζηση μυδοκαλλιέργειας (Hylén *et al.*, 2021). Η καλλιέργεια μυδιών χρησιμοποιείται για τη μείωση του φορτίου θρεπτικών ουσιών από εσωτερικές πηγές σε πολλά παράκτια σε κλίμακα λεκάνης (Timmermann *et al.*, 2019).

Η επίδραση των μυδοκαλλιεργειών στον τοπικό κύκλο θρεπτικών ιζημάτων μπορεί να ποικίλλει. Φαινομενικά, εξαρτάται από παράγοντες όπως η υδροδυναμική (Hartstein και Stevens, 2005) και η γενική κατάσταση ευτροφισμού (π.χ. ρυθμοί καθίζησης περιβάλλοντος) στην περιοχή (Carlsson *et al.*, 2009). Μια άλλη σημαντική πτυχή είναι η ηλικία (χρονική διάρκεια, νέα εγκατάσταση) του αγροκτήματος μυδιών (Carlsson *et al.*, 2012 ; Franzo *et al.*, 2014). Ωστόσο, απαιτείται η κατανόηση του πόσο γρήγορα αλλάζει το ιζηματογενές περιβάλλον μετά την εγκατάσταση μιας φάρμας για την ακριβή εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εκτροφείων μυδιών. Προηγούμενες μελέτες δείχνουν ότι η συζευγμένη νιτροποίηση-απονιτροποίηση γενικά καταστέλλεται σε ρυθμίσεις με βενθικά μικροφύκη, μειώνοντας έτσι την απομάκρυνση

του αζώτου (N) μέσω της απονιτροποίησης (Risgaard - Petersen, 2003). Οι τοπικές τρέχουσες συνθήκες επηρεάζουν έντονα το ποσοστό της οργανικής ύλης που φτάνει στο ίζημα.

Ενώ οι τοπικές συνθήκες και η πρακτική καλλιέργειας θα καθορίσουν το βαθμό και την έκταση των βενθικών επιπτώσεων από την καλλιέργεια μυδιών, οι ιζηματικοί κύκλοι θρεπτικών ουσιών μπορούν να επηρεαστούν αρνητικά από το πρώτο έτος παραγωγής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σε ολόκληρο τον κύκλο παραγωγής, σχετικά μικρές αυξήσεις των ιζηματογενών απελευθερώσεων DIN και DIP σε μύδια μπορούν να μειώσουν ή να αντισταθμίσουν την απομάκρυνση του βιοδιαθέσιμου αζώτου και του φωσφόρου μέσω της συγκομιδής (Εικόνα 9), (Hylén *et al.*, 2021). Η βελτίωση τελικά της ποιότητας της υδάτινης στήλης βέβαια, εξαρτάται -πολυπαραγοντικά- και από φυσικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα, τα θαλάσσια ρεύματα, το βάθος των υδάτων στις μυδοκαλλιέργειες και την εισροή γλυκού νερού, που μεταβάλλει την αλατότητα της υδάτινης στήλης, από τη χρονική διάρκεια χρήσης της μυδοκαλλιέργειας αλλά και από την ηλικία του αγροκτήματος (νέα ή παλαιότερη εγκατάσταση).



Εικόνα 9: Κύκλος Νιτροποίησης-Απονιτροποίησης, κατάλληλα διαμορφωμένη ©Hylén *et al.*, 2021

Το συμπέρασμα που προκύπτει στο συγκεκριμένο επιστημονικό ερώτημα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Η έρευνα σε βάθος κρίνεται επιτακτική και αναγκαία, για το σύνολο όλων αυτών των παραγόντων που αναφέρθηκαν. Η χρήση της ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας -υπό προϋποθέσεις- ως δράση αντιμετώπισης του ευτροφισμού σε

καθορισμένο πεδίο έρευνας τόσο στην υδάτινη στήλη και στο βένθος, όσο και σε σταθερούς και ασύμμετρους παράγοντες πρέπει να τύχει προσεκτικότερης και εμπειριστατωμένης μελέτης, ώστε να αποτελέσει αποτελεσματικός και φυσικός τρόπος πρόληψης, αλλά και καταπολέμησης του φαινομένου του ευτροφισμού.

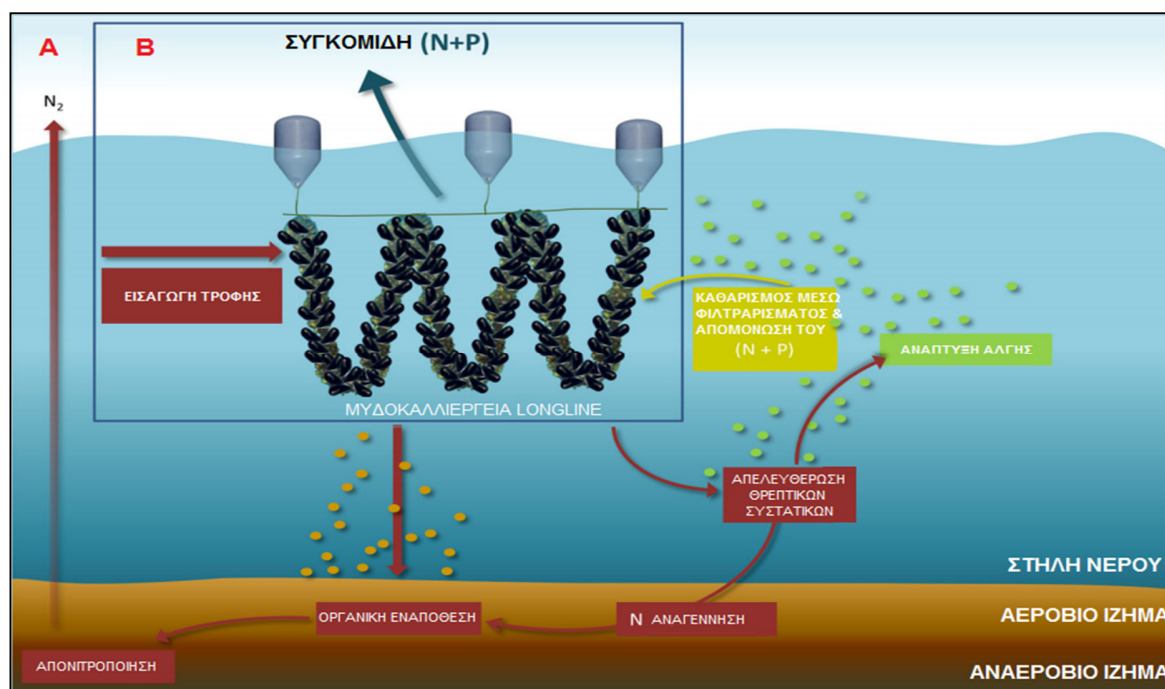
Πίνακας 4: Συνδυασμός μέτρων και πρακτικών, για την πιθανή αντιμετώπιση του ευτροφισμού με τη χρήση ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας.

Μέτρα αντιμετώπισης ευτροφικού περιβάλλοντος [1]	Πρακτικές αντιμετώπισης του ευτροφισμού μέσω ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας (υπό προϋποθέσεις) [2]
Μείωση της άσκησης της γεωργίας (Hasler <i>et al.</i> , 2015; Petersen <i>et al.</i> , 2016)	Δυνητική χρήση των μυδοκαλλιεργειών σε περιορισμένο χρόνο (Rice, 2000)
Αποκατάσταση του περιβάλλοντος μέσω αναδασώσεων (Hasler <i>et al.</i> , 2015; Petersen <i>et al.</i> , 2016)	Έλεγχος και περιορισμός της πυκνότητας εκτροφής (Dahlback & Gunnarsson, 1981)
Μείωση της διάχυτης διασποράς θρεπτικών συστατικών (Hasler <i>et al.</i> , 2015; Petersen <i>et al.</i> , 2016)	Έλεγχος της γονιμότητας των εκτρεφόμενων οργανισμών (Dahlback & Gunnarsson, 1981)
-	Διαχείριση ιζημάτων για την αποφυγή της βενθικής υποξίας (Matisson & Lindén, 1983)
-	Διαχείριση ιζημάτων για την παρεμπόδιση υψηλής παράγωγης σε H ₂ S (Matisson & Lindén, 1983)
-	Διαχείριση ιζημάτων του πυθμένα των μυδοκαλλιεργειών με σκοπό την διατήρηση της υφιστάμενης ποικιλομορφίας του βένθους (Matisson & Lindén, 1983)
	Επιλογή συστήματος εκτροφής μυδοκαλλιεργειών βάσει προδιαγραφών του πεδίου μελέτης (Mason, 1972, Inglis, 2000, FAO, 2002, Spencer, 2002, Gosling, 2003)

4.2. Πρακτικές που εφαρμόζονται διεθνώς, για την αντιμετώπιση του ευτροφισμού

Παραδοσιακά υπάρχει μια αυξημένη ευαισθητοποίηση σχετικά με τις πρακτικές που εφαρμόζονται για τον μετριασμό του ευτροφισμού στο υδάτινο περιβάλλον. Για τις ΗΠΑ και για την ΕΕ, η νομοθεσία στοχεύει στο μετριασμό των θρεπτικών συστατικών και κατά

συνέπεια και του ευτροφισμού εστιάζοντας κυρίως στις μειώσεις των χερσαίων λυμάτων. Αυτές, ως επί το πλείστον, πραγματοποιούνται με την εγκατάσταση ελεγχόμενων μυδοκαλλιεργειών τύπου Longline. Οι υδατοκαλλιέργειες οστρακοειδών συμβάλλουν στη μείωση των αιωρούμενων θρεπτικών συστατικών, που είναι διάχυτα στην υδάτινη στήλη (Εικόνα 10), (Petersen *et al.*, 2016). Τα μύδια συσσωρεύουν υψηλές ποσότητες οργανικού φορτίου μέσω διεργασιών διήθησης και με αυτό τον τρόπο αυτά φιλτράρουν την υδάτινη μάζα. Έπειτα μέσω διεργασιών βιοεξαγωγής, δηλαδή συγκομιδής των μυδιών, μετριάζονται οι νιτρικές (N) και φωσφορικές ενώσεις (P) βελτιώνοντας την ποιότητα των υδάτων (Willén, 1987; Tagliapietra *et al.*, 1998; McLaughlan & Aldridge, 2013; Petersen *et al.*, 2016, Bricker *et al.*, 2017).



Εικόνα 10: (A): Βασική αρχή μετριασμού θρεπτικών συστατικών N & P, (B): Διεργασία συγκομιδής μυδοκαλλιεργειών από το θαλάσσιο περιβάλλον (διαμόρφωση από Petersen *et al.*, 2016).

Η χρήση των υδατοκαλλιεργειών με οστρακοειδή μαλάκια επιδρά θετικά στο περιβάλλον, εφόσον αυτή χρησιμοποιείται δυνητικά και σε περιορισμένο χρόνο, έτσι ώστε να μετριάζονται οι επιπτώσεις άλλων ανθρωπογενών επιδράσεων (Rice, 2000). Συμπληρωματικά, η διαχείριση των εκμεταλλεύσεων οστρακοειδών πρέπει να εφαρμόζεται ελεγχόμενα σε μειωμένες πυκνότητες εκτροφής (Dahlback & Gunnarsson,

1981). Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται η καταβύθιση των μεταβολικών περιττωμάτων, που συσσωρεύονται με το χρόνο ως ίζημα και προκαλούν προβλήματα, όπως βενθική υποξία. Ως έμμεσες πρακτικές μετριασμού μπορούν να εφαρμοστούν σε ολοκληρωμένο τροφικό σύστημα υδατοκαλλιέργειας ΙΜΤΑ (Εικόνα 11), δηλαδή η συσχέτιση των ελεγχόμενων μυδοκαλλιέργειών με την ταυτόχρονη ελεγχόμενη εκτροφή ψαριών και γαρίδων. Τα μύδια μπορούν να συμβάλλουν άμεσα στη συσσώρευση των αιωρούμενων σωματιδίων, που προκύπτουν από το ιχθυοτροφείο, δηλαδή από την εκτροφή των υπολοίπων υδροβίων οργανισμών του συστήματος ΙΜΤΑ, καθώς και του φυτοπλαγκτού που υπάρχει στην ευρύτερη περιοχή (Chopin *et al.*, 2001; Troell *et al.*, 2009).

Ο καλύτερος τρόπος να αποφευχθεί ο ευτροφισμός, δηλαδή η μείωση της εισαγωγής θρεπτικών ουσιών στις λεκάνες νερού, είναι να τεθούν υπό έλεγχο οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτός ο έλεγχος δυστυχώς δεν έχει γραμμική επίδραση στην ένταση του ευτροφισμού. Αναλυτικότερα, μια επιτυχημένη πρακτική και μέτρα που θα μπορέσουν να εφαρμοστούν είναι η μείωση της διάχυτης διασποράς θρεπτικών συστατικών, με την παράλληλη μείωση άσκησης της γεωργίας, και η αποκατάσταση του περιβάλλοντος με αναδασώσεις, ώστε να περιοριστούν τα φαινόμενα ευτροφισμού (Hasler *et al.*, 2015; Petersen *et al.*, 2016).

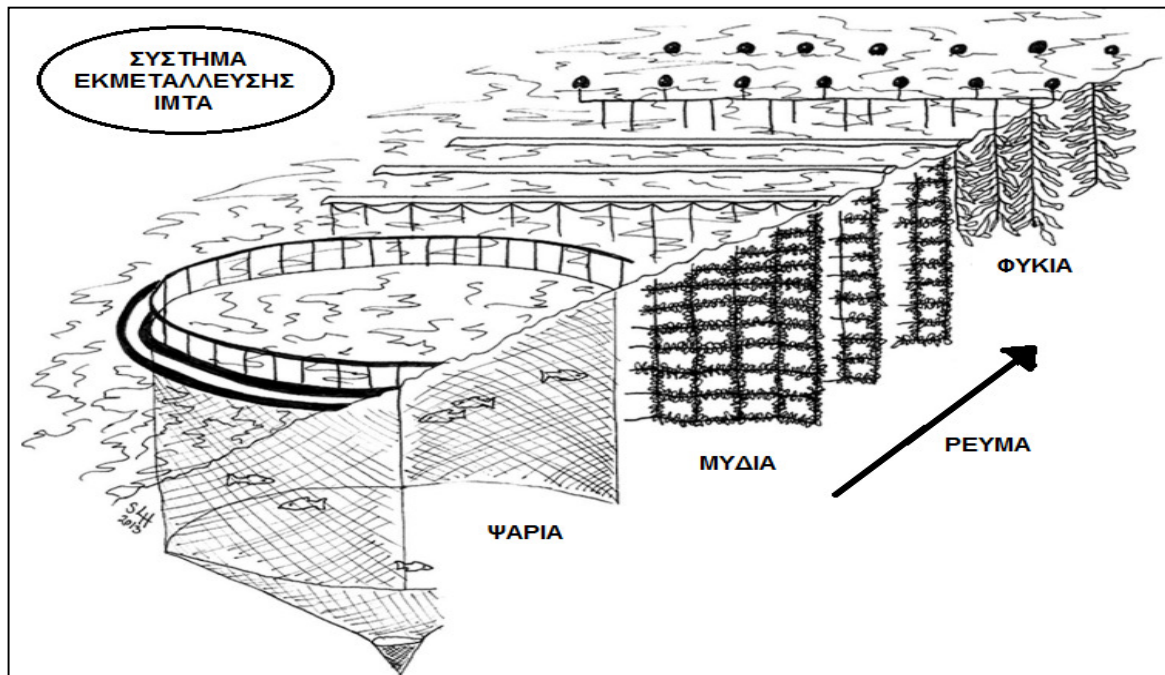
Μια ολοκληρωμένη διαχείριση θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Προσδιορισμός όλων των θρεπτικών πηγών. Τέτοιες πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από μελέτες της λεκάνης απορροής περιοχή της παροχής νερού.
- Γνώση της βιομηχανικής δραστηριότητας.
- Σχεδιασμός και υλοποίηση δράσεων με στόχο τον περιορισμό του θρεπτικού εμπλουτισμού του νερού.
- Προσδιορισμός των σημείων απόρριψης λυμάτων, γεωργικών χημικών λιπασμάτων.
- Γνώση της υδροδυναμικής του σώματος του νερού.
- Γνώση του τρόπου μεταφοράς των θρεπτικών συστατικών και της ευπάθειας του υδροφορέα. Έτσι προσδιορίζονται οι τρόποι με τους οποίους εμπλουτίζεται το νερό με θρεπτικά συστατικά.

- Εντοπισμός ανθρωπογενών πηγών θρεπτικών σημείων, όπως απορρίψεις μη επεξεργασμένων βιομηχανικών και οικιακών λυμάτων.
- Χρήση των μυδοκαλλιέργειών ως φυσικός τρόπος φιλτραρίσματος του νερού.
- Χρήση ειδικών επεξεργασιών απονιτροποίησης ή απομάκρυνσης φωσφόρου (Volterra *et al.*, 2002).

Με αυτό τον τρόπο, η διάχυτη διασπορά θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον περιορίζεται και μένει σταθερή χωρίς να επιβαρύνεται επιπλέον. Μολαταύτα, το υδάτινο περιβάλλον παραμένει ευτροφικό και συνεπώς με το συλλογισμό της έρευνας των Rice (2000) θα μπορούσε να καλυφθεί το πρόβλημα αυτό, με τη δυνητική χρήση ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας, σε περιορισμένο χρονικό διάστημα, ώστε να μειωθούν τα κυριότερα θρεπτικά συστατικά που ευθύνονται για τον ευτροφισμό (Matisson & Lindén, 1983).

Ένας άλλος εναλλακτικός τρόπος χρήσης μυδοκαλλιέργειας είναι ο συνδυασμός της με διαφορετικού τύπου υδατοκαλλιέργειας όπως για παράδειγμα, ιχθυοκαλλιέργεια. Όμως και στην περίπτωση αυτή, πολλά μέρη των συστατικών που περιέχονται στα λύματα -που δημιουργούνται εκατέρωθεν- δεν αφομοιώνονται, αλλά απελευθερώνονται διάχυτα στο περιβάλλον από τις ΙΜΤΑ υδατοκαλλιέργειες (Εικόνα 11). Αποφασιστικά, η δράση του πολυτροφικού συστήματος ΙΜΤΑ λειτουργεί υπό προϋποθέσεις για το μετριασμό και την ισορροπία της μάζας, και όχι εξολοκλήρου στο μετριασμό των θρεπτικών συστατικών του αζώτου (N) και φωσφόρου (P) (Cranford *et al.*, 2013).



Εικόνα 11: Σύστημα εκμετάλλευσης υδατοκαλλιεργειών ΙΜΤΑ (διαμόρφωση από Holdt&Maeve, 2014).

4.3. Παραδείγματα εφαρμοζόμενων πρακτικών για την αντιμετώπιση ευτροφισμού και έλεγχος της αποτελεσματικότητάς τους

Όπως αναφέρθηκε στις παραπάνω ενότητες, υπάρχει μεγάλο πλήθος σταθερών και αστάθμητων παραγόντων, που μπορούν να μεταβάλλουν ένα φυσικό περιβάλλον σε ευτροφικό. Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα αστάθμητων παραγόντων είναι αυτά που αναφέρονται στη Θεσσαλονίκη και στη λίμνη Κορώνειας (Πίνακας 1). Σε αυτή τη συγκεκριμένη περιοχή έχει μεταβληθεί η υδρολογία της περιοχής λόγω σεισμών, με αποτέλεσμα την προοδευτική μείωση της στάθμης του νερού (Mitraki *et al.*, 2004), ενώ στην περίπτωση της Καβάλας, στη Λιμνοθάλασσα της Βάσοβας, του Δέλτα του Νέστου (Πίνακας 1), οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες σε συνδυασμό με την παρουσία των υδατοκαλλιεργειών, είχε ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της εισροής γλυκού νερού και την αύξηση της μέσης αλατότητας των υδατινών μαζών (Orfanidis *et al.*, 2005).

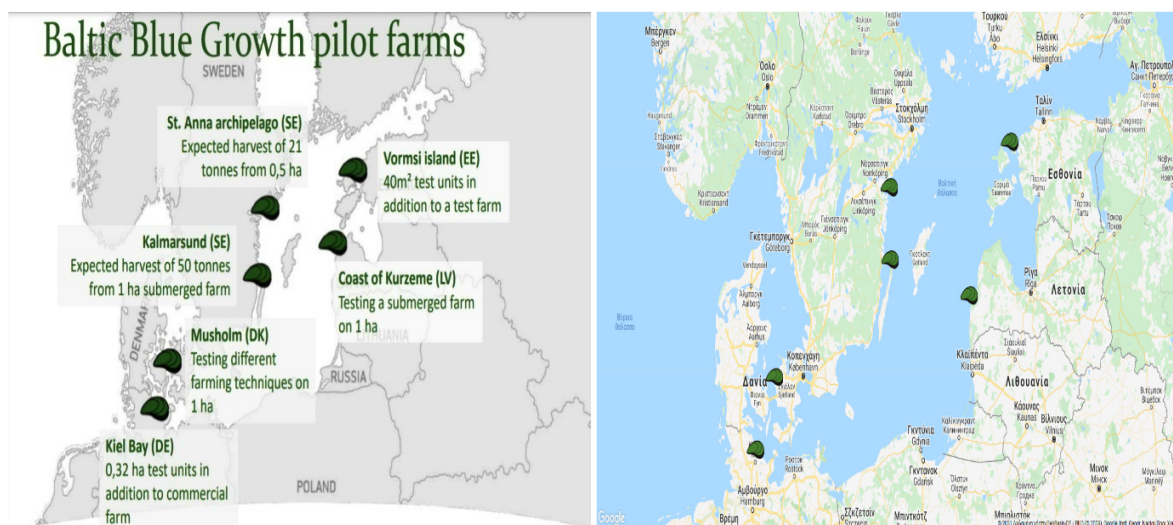
Οι σταθεροί παράμετροι που επιδρούν ανασταλτικά στο μετριασμό των θρεπτικών συστατικών, μειώνοντας ωστόσο και το φαινόμενο του ευτροφισμού, είναι αφενός οι πρακτικές χρήσης των ελεγχόμενων μυδοκαλλιεργειών και μέτρα αντιμετώπισης της

διασποράς των λυμάτων, αφετέρου τα μέτρα αποκατάστασης των υφιστάμενων ευτροφικών υγροτόπων. Εξετάζοντας στο σύνολο όλους αυτούς τους παράγοντες, υπάρχει υψηλή πολυπλοκότητα στη λήψη αποφάσεων και στον καθορισμό μιας οριστικής εφαρμογής, όπου να χαρακτηρίζει τις πρακτικές ως επιτυχημένες ή μη για την πιθανή χρήση των μυδοκαλλιεργειών ως μέσο απορρόπησης σε συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής.

4.3.1. Μελέτες περίπτωσης

A) ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «Blue Baltic Growth» (Μπλε μύδι, Βαλτική)

Η Βαλτική Θάλασσα είναι μια τεράστια λεκάνη στη βόρεια Ευρώπη. Όμορφη εξωτερικά, αποτελεί μια από τις πιο ρυπασμένες θάλασσες στον κόσμο. Το βασικό πρόβλημά της είναι οι γεωργικές διαρροές, που καταλήγουν σε υπερβολικό άζωτο και φωσφόρο στα νερά της. Και αυτή η περίσσεια θρεπτικών ουσιών, μακροπρόθεσμα, καθιστά το οξυγόνο στη θάλασσα να σπανίζει με αποτέλεσμα το φαινόμενο του ευτροφισμού. Το τριετές έργο (Μάιος 2016 - Απρίλιος 2019) Baltic Blue Growth (Εικόνα 12) χρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και έχει στόχο την απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών από τη Βαλτική Θάλασσα μέσω της καλλιέργειας και της συγκομιδής μπλε μυδιών. Συμμετέχουν 18 εταίροι από οχτώ (8) χώρες (Γερμανία, Σουηδία, Δανία, Φινλανδία, Εσθονία, Λιθουανία, Λετονία και Πολωνία), με εκπροσώπους από περιφερειακές και εθνικές αρχές, ερευνητικά ιδρύματα και ιδιωτικές εταιρείες. Όλες οι μυδοκαλλιέργειες εντοπίζονται σε στρατηγικές τοποθεσίες στη λεκάνη, ενώ η ποιότητα και η διαφάνεια του νερού μετριοούνται δύο φορές το χρόνο. Τα εκτρεφόμενα μύδια χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ζωοτροφών. Οι μυδοκαλλιέργειες αυτές, επιλέχθηκαν με σκοπό την κάλυψη διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών και διαφορετικών θαλάσσιων τεχνικών καλλιέργειας (Przedrzymirska *et al.*, 2019).



Εικόνα 12: Μυδοκαλλιέργειες στη Βαλτική θάλασσα, πρόγραμμα BBG, (Κατάλληλα διαμορφωμένη εικόνα από ©BBG).

Το έργο Baltic Blue Growth (BBG) χρηματοδοτείται από την ΕΕ και μέχρι στιγμής, καλλιεργεί πιλοτικά μύδια με σκοπό την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και μόνο στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων. Άρα, δρα σε περιορισμένο πεδίο και περιορισμένο χρονικό πλαίσιο χρηματοδότησης. Ο στόχος του έργου BBG είναι η μακροπρόθεσμη λειτουργία τους και ο μετριασμός ευτροφικών συνθηκών. Επιχειρείται να βρεθούν λύσεις, καλές πρακτικές, καθώς επίσης αναπτύχθηκαν κατευθυντήριες γραμμές σε όλα τα θέματα, που σχετίζονται με την αλλαγή των μυδοκαλλιεργειών σε μια βιώσιμη μπλε βιοοικονομική δραστηριότητα στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας σε τεχνικό, οικονομικό, υλικοτεχνικό, καθώς και κανονιστικό επίπεδο, αλλά και για να γίνει κατανοητό, επί του πρακτέου, ως τρόπος πρόσληψης- μείωσης θρεπτικών ουσιών στην υδάτινη στήλη.

Αποτελέσματα έργου Baltic Blue Growth (BBG)

Τα συμπεράσματα σχετικά με το κόστος εκτροφής μυδιών και της παράλληλης μείωσης της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά στη Βαλτική Θάλασσα, είναι:

- Η καλλιέργεια μυδιών είναι σε μεσαίο επίπεδο όλων των μέτρων σχετικά με το κόστος ανά αποτέλεσμα. Βέβαια, η καλλιέργεια μυδιών αποτελεί μέτρο μείωσης των θρεπτικών

συστατικών που βρίσκονται ήδη μέσα στο υδατικό σύστημα και δεν πρέπει να συγκρίνεται με τα χερσαία μέτρα.

- Οι συγκρίσεις είναι, επίσης, ειδικές για κάθε περίπτωση, όπως και το κόστος για μέτρα που βασίζονται στη γη (χερσαία) δεν είναι επίσης γραμμικό.
- Η καλλιέργεια μυδιών μπορεί να είναι μια πολύ αποδοτική μέθοδος, συνδυαστικά, σε περιοχές, όπου άλλα χερσαία μέτρα δεν είναι πλέον δυνατά. Οι εκμεταλλεύσεις μυδιών πρέπει να γίνουν επίσημα αποδεκτές ως πρόσθετο μέτρο σε συγκεκριμένες τοποθεσίες για τη μείωση φορτίου θρεπτικών ουσιών και ως εκ τούτου μέρος του αποδεκτού συνδυασμού υποστηριζόμενων μέτρων μείωσης.
- Παρά τις προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, η Βαλτική Θάλασσα παραμένει ένα από τα πιο ευτροφικά νερά του κόσμου.

Αποτελέσματα σχετικά με τη Βαλτική Θάλασσα και τη χρήση των μυδοκαλλιέργειών

1. Η κατάσταση στη Βαλτική Θάλασσα επιδεινώνεται με κύκλο ανανέωσης νερού άνω των 30 ετών, καθιστώντας τα νερά του πολύ ευαίσθητα σε κάθε ρύπανση και απορρίψεις.
2. Παρά τις σοβαρές προσπάθειες και τη μείωση των θρεπτικών ουσιών που ρέουν στη Βαλτική Θάλασσα, σχεδόν όλα τα νερά του εξακολουθούν να θεωρούνται ότι έχουν κακή κατάσταση ευτροφισμού.
3. Η πλειοψηφία της Βαλτικής και τα θαλάσσια παράκτια ύδατα δεν έχουν ακόμη επιτύχει καλή περιβαλλοντική κατάσταση (GES) σύμφωνα με το σχέδιο δράσης HELCOM της Βαλτικής Θάλασσας.
4. Για να φθάσει στο GES η Βαλτική Θάλασσα πρέπει να υπάρχουν περισσότερα κίνητρα για τη μείωση της εισροής θρεπτικών συστατικών και του φορτίου των θρεπτικών ουσιών από τα λύματα και τις γεωργικές καλλιέργειες.
5. Καθώς το 90% της τρέχουσας ανθρωπογενούς ροής θρεπτικών συστατικών προέρχεται από λύματα και τη γεωργική καλλιέργεια, απαιτούνται περαιτέρω μέτρα για τη μείωση των θρεπτικών συστατικών, που παράγονται από αυτούς τους τομείς. Αυτοί οι τομείς παραμένουν οι κύριες πηγές που πρέπει να περιοριστούν. Ωστόσο, η

διαρροή θρεπτικών συστατικών από τη γεωργία δεν μπορεί ποτέ να είναι μηδενική, καθώς όλα τα θρεπτικά συστατικά της γης καταλήγουν στα περιβάλλοντα του νερού. Ωστόσο, για την επιτυχή καταπολέμηση του ευτροφισμού, προτείνεται η επιπλέον εστίαση με μη-σημειακές πηγές ως προς την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Μια επιλογή σε αυτό το πλαίσιο θα ήταν η χρήση υπηρεσιών οικοσυστήματος (ES) εφαρμόζοντας μέτρα που βασίζονται στο νερό, όπως καλλιέργειες μυδιών και φυκών. Εκείνες είναι δοκιμασμένες μέθοδοι που έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν αποτελεσματικά την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά στο υδατικό σύστημα. Οι υπηρεσίες οικοσυστήματος είναι «τα οφέλη που λαμβάνουν οι άνθρωποι από τα οικοσυστήματα».

6. Εκτός των άλλων θετικών ιδιοτήτων, τα μύδια φιλτράρουν φυσικά σημαντικές ποσότητες νερού, κατά συνέπεια εξαγωγή θρεπτικών ουσιών (π.χ. αζώτου και φωσφόρου) και επικίνδυνων ουσιών.
7. Με αυτή τη λειτουργία, τα μύδια συμβάλλουν στη μείωση του ευτροφισμού και στην πρόληψη επιβλαβών τοξικών ανθίσεων φυκών.
8. Έτσι, η καλλιέργεια μυδιών (για τη Βαλτική Θάλασσα, τα μπλε μύδια κυρίως) θεωρείται ένα επιπλέον πιθανό μέτρο για την καταπολέμηση του ευτροφισμού. Ο σουηδικός οργανισμός για τη διαχείριση θαλάσσιων και υδάτων (SwAM) έχει ήδη διερευνήσει δυνατότητες μείωσης του εσωτερικού φορτίου θρεπτικών ουσιών στα τοπικά ευτροφικά νερά. Επιπλέον, το Σουηδικό Συμβούλιο Γεωργίας εξετάζει τη δυνατότητα οικονομικής υποστήριξης της καλλιέργειας και συγκομιδής μυδιών ή φυκών ως μέτρο μείωσης του αζώτου και του φωσφόρου στην υδάτινη στήλη.
9. Η αλληλεπίδραση μεταξύ καλλιέργειας μυδιών και προστασίας του περιβάλλοντος μπορεί να είναι διττή:
 - a. *θετική*: η διήθηση των μυδιών οδηγεί στον καθαρισμό του θαλασσινού νερού από αιωρούμενη οργανική ύλη και γενική βελτίωση της κατάστασης της ποιότητας του θαλάσσιου νερού στην περιοχή του αγροκτήματος.
 - b. *αρνητική*: τα περιττώματα των μυδιών που πέπτουν στον πυθμένα υποβάλλονται σε διαδικασία ανοργανοποίησης, που εξαντλεί το οξυγόνο στο βυθό και τους πόρους του νερού στα ιζήματα και αυτό οδηγεί σε υποβάθμιση των ζωντανών

οργανισμών που συγκεντρώνει ο πυθμένας της θάλασσας στην περιοχή της μυδοκαλλιέργειας.

10. Το εύρος επιπτώσεων για αυτές τις αλληλεπιδράσεις είναι τοπικό και σε περίπτωση αλληλεπιδράσεων με την προστασία του περιβάλλοντος, η αντοχή τους εξαρτάται σημαντικά από τη δυναμική του νερού.
11. Η καλλιέργεια μυδιών δεν χρειάζεται μόνο επενδύσεις, αλλά και μακροπρόθεσμη εξέλιξη δέσμευσης να παρέχεται από περιφερειακούς, εθνικούς ή ιδιωτικούς φορείς. Ενώ για χερσαία μέτρα παρέχονται υπηρεσίες οικονομικής και όχι μόνο φύσης(στη γεωργία και την επεξεργασία λυμάτων υπάρχουν ήδη χρηματοδοτήσεις και διαθέσιμα σχέδια), σε επίπεδο ΕΕ δεν υπάρχουν ακόμη τέτοια σαφή κίνητρα και μέσα - μέτρα με βάση την υδάτινη στήλη (Schultz - Zehden *et al.*, 2014).
12. Τα μύδια τρέφονται με μικρά φύκια και πλαγκτόν, τα οποία φυσικά λαμβάνουν άζωτο και φωσφόρο από την υδάτινη στήλη. Ως αποτέλεσμα, τα μύδια την διηθούν και προσλαμβάνουν αυτές τις θρεπτικές ουσίες. Εάν οι συνθήκες είναι καλές, ένα μόνο μύδι μπορεί να φιλτράρει κάθε ώρα έως 9 *lt* ύδατος. Στη Βαλτική θάλασσα, ωστόσο, τα μύδια είναι μικρά και έτσι η ποσότητα του φιλτραρισμένου ύδατος είναι χαμηλότερη. Ένα αγρόκτημα μυδιών που παράγει 500 τόνους μυδιών σε 8 μήνες, μπορούν να φιλτράρουν περίπου ένα εκατομμύριο m^3 ύδατος, δηλαδή στο υδάτινο περιβάλλον και σε έκταση 25 εκτάρων, καθαρίζονται και λαμβάνονται 5 τόνοι αζώτου και 300 kg φωσφόρου (Przedzimirska *et al.*, 2015).

B) Εκβολή Skive Fjord (ΔΑΝΙΑ)

Έχει προταθεί η καλλιέργεια μυδιών μακράς διάρκειας ως εργαλείο για την απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών και την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων του ευτροφισμού στα παράκτια ύδατα. Σχετικά χρησιμοποιήθηκε συζευγμένο τρισδιάστατο υδροδυναμικό και οικολογικό μοντέλο σε συνδυασμό με μετρήσεις από ένα αγρόκτημα μυδιών, μετριάσμού πλήρους κλίμακας και αξιολογήθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των καλλιεργειών μετριάσμού στο **Skive Fjord της Δανίας**, μια ρηχή ευτροφική εκβολή.

Τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι ο καλλιέργειες μυδιών συμβάλλουν στην μείωση συγκέντρωσης της χλωροφύλλης (Chl-*a*) και την αύξηση του δείκτη διαφάνειας (δίσκος Secchi), ειδικά στα χωρικά ύδατα των μυδοκαλλιεργειών, αλλά και σε κλίμακα λεκάνης. Η παραγωγή κοπράνων από τα μύδια αυξάνει την καθίζηση κάτω από τις εκμεταλλεύσεις, αλλά μειώνει την καθίζηση του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα την καθαρή μείωση της καθίζησης του οργανικού υλικού σε κλίμακα λεκάνης. Συγκρίσεις με σενάρια μείωσης φορτίου θρεπτικών ουσιών δείχνουν, ότι η απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών από καλλιέργειες μυδιού έχει υψηλότερη βραχυπρόθεσμη επίδραση στις παραμέτρους ποιότητας του ύδατος (chl-*a*, δίσκος Secchi και καθίζηση) από την απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών χρησιμοποιώντας μέτρα εδάφους (Timmermann *et al.*, 2019).

Στο Skive Fjord της Δανίας, οι βενθικές επιπτώσεις ελεγχόμενης εκμετάλλευσης μετριασμού ήταν περιορισμένη, λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων οργανικών υλών και θρεπτικών ουσιών στο περιβάλλον (Holmer *et al.*, 2015). Λόγω της σύντομης περιόδου καλλιέργειας των μυδιών μετριασμού, επιτρέπεται η συσσώρευση ιζημάτων κάτω από ένα αγρόκτημα για σύντομη περίοδο «αγρανάπαυσης», που διευκολύνει την υποβάθμιση και ενδεχομένως την ταφή της οργανικής ύλης πριν από την επόμενη διεύθυνση του κύκλου (Maar *et al.*, 2018).

Σχετικά με την κατανόηση των οικονομικών και βιοφυσικών συνθηκών υπό τις οποίες η καλλιέργεια μυδιών είναι ένα οικονομικά αποδοτικό μέτρο μετριασμού για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και σχετίζεται με την περίσσεια αζώτου σε τρεις αγροτικές λεκάνες που περιβάλλουν το Limfjorden, το μεγαλύτερο φιόρδ της Δανίας, πραγματοποιήθηκε το 2020. Δημιουργήθηκε μοντέλο βελτιστοποίησης σε κάθε φάρμα. Περιλαμβάνει ορισμένα μέτρα μείωσης του αζώτου, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών μέτρων στη χρήση γης και της καλλιέργειας μυδιών στη θάλασσα. Ο στόχος είναι να μοντελοποιηθεί ο λιγότερο δαπανηρός συνδυασμός μέτρων μετριασμού για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, όταν ποικίλλουν οι συνθήκες της γεωργίας, του περιβάλλοντος και της αγοράς.

Πραγματοποιήθηκαν τρία σενάρια σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες, για παραγωγικότητα μυδιών και ευκαιρίες αγοράς, αλλά και για προϊόντα με βάση το μύδι ως οργανικές ζωοτροφές. Αναλύεται το προκύπτον οριακό κόστος μείωσης και

αντλούνται πληροφορίες σχετικά με την πιθανή κλίμακα εκτροφής μυδιών για τις διάφορες λεκάνες απορροής. Φαίνεται, ότι η εκτροφή μυδιών είναι μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για δύο από τις τρεις λεκάνες απορροής, αλλά η μείωση της παραγωγικότητας των μυδιών με την πάροδο του χρόνου μπορεί να καταστήσει το μέτρο αναποτελεσματικό για μία από τις λεκάνες απορροής, εάν δεν υπάρχει αγορά ζωοτροφών. Η δυνατότητα αγοράς βιολογικών ζωοτροφών με βάση τα μύδια αυξάνει σημαντικά το μερίδιο της μείωσης του αζώτου, που γίνεται από τα μύδια και μειώνει το συνολικό κόστος έως και 65%. Τελικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, για τις λεκάνες απορροής, όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι κατάλληλες, η καλλιέργεια μυδιών μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικό μέτρο μείωσης θρεπτικών συστατικών (Filippelli *et al.*, 2020).

Γ) Δυτική Βαλτική Θάλασσα (μοντελοποίηση μετριασμού του ευτροφισμού σε Δανία, Γερμανία, Σουηδία).

Η εκτροφή μυδιών με χρήση παραγαδιών με βρόγχους συλλεκτικού υλικού είναι μια καλά ανεπτυγμένη τεχνολογία και θεωρείται πολλά υποσχόμενη στη δυτική Βαλτική Θάλασσα. Εκτός από αρκετά περιορισμένες-χωρικά- μελέτες πεδίου, εξακολουθεί να λείπει το κατάλληλο χωρικό μοντέλο για συγκεκριμένη εφαρμογή. Σε μελέτη, παρουσιάζεται αρθρωτό χωρικό μοντέλο, που αποτελείται από ένα μοντέλο χωρικού και χρονικού παράγοντα ενδιατημάτων και ένα μοντέλο ανάπτυξης μπιλε μυδιών. Με επιτόπια παρακολούθηση των πειραμάτων ανάπτυξης μυδιών και οικοφυσιολογικών μοντέλων, για τη δυτική Βαλτική Θάλασσα, εκτιμήθηκε η δυνατότητα μείωσης των θρεπτικών συστατικών. Το μοντέλο είναι ευέλικτο σε σχέση με τις εγκαταστάσεις και τους χρόνους συγκομιδής και λαμβάνει υπόψη τη φυσική μεταβλητότητα, την αβεβαιότητα του μοντέλου και την απαιτούμενη υδροδυναμική.

Τα αποτελέσματα μοντελοποίησης αποδείχθηκαν έγκυρα σε όλες τις κλίμακες και τις ενότητες για αποτελεσματικές εκμεταλλεύσεις μετριασμού του ευτροφισμού με τις μυδοκαλλιέργειες στη Δανία, τη Γερμανία και τη Σουηδία.

Τα μοντέλα μακροπρόθεσμης- μέσης δυνατότητας μετριασμού του ευτροφισμού, για συγκομιδή το Νοέμβριο, φτάνουν τους 0,88 τόνους t_N/ha και 0,05 t_P/ha για εγκατάσταση στην εκμετάλλευση χρησιμοποιώντας εύρος βάθους 2 m της στήλης νερού και 3,0 t_N/ha και 0,17 t_P/ha χρησιμοποιώντας έως και 8 m, αντίστοιχα. Για τα υδάτινα σώματα της Δανίας, καταδεικνύεται ότι σε αποτελεσματικές περιοχές, οι εκμεταλλεύσεις μετριασμού (18,8 εκτάρια, υπόστρωμα συλλέκτη 90 km σε βρόχους με εύρος βάθους 2 m) απαιτούσαν <3,6% του χώρου για την εξαγωγή των φορτίων αζώτου-στόχου, για καλή οικολογική κατάσταση.

Η ανεπτυγμένη προσέγγιση θα μπορούσε να αποδειχθεί πολύτιμη για την εφαρμογή περιβαλλοντικών πολιτικών σε υδρόβια συστήματα, π.χ. επί τόπου μετριασμός θρεπτικών ουσιών, χωροταξικός σχεδιασμός υδατοκαλλιέργειας και χαρτογράφηση καταλληλότητας ενδιαιτημάτων (Holbach *et al.*, 2020).

Οι αποδόσεις αζώτου (N) και φωσφόρου (P), (t_{ha}^{-1}) ποικίλλουν ανάλογα με την τεχνολογία παραγωγής, την τοποθεσία και το χρόνο συγκομιδής. Η βελτιστοποιημένη διαμόρφωση παραγαδιών στη Δανία (Limfjorden) μπορεί να αφαιρέσει 0,7-1,4 t_Nha^{-1} και 0,06-0,09 t_Pha^{-1} , ενώ με τη χρήση διχτύων μπορεί να αφαιρεθούν 1,6-3,0 t_Nha^{-1} και 0,10-0,17 t_Pha^{-1} (Taylor *et al.*, 2019c). Σε άλλα Δανικά παράκτια ύδατα, από το Mariager Fjord έως το Flensborg Fjord, εκτιμήθηκαν 0,7-1,09 t_Nha^{-1} και 0,04-0,06 t_Pha^{-1} για διαμόρφωση με παραγάδι. Η πειραματική παραγωγή στο Greifswald Bay της Γερμανίας έδειξε αποδόσεις 0,09-0,1 t_Nha^{-1} και 0,006-0,007 t_Pha^{-1} , θα μπορούσαν να εξαχθούν σε 12-18 μήνες, όπου χαμηλότερες αλατότητες συσχετίστηκαν με χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης (Taylor *et al.*, 2019a). Οι Kotta *et al.*, (2019) εκτίμησαν το δυναμικό εξόρυξης σε τρία πεδία εκμετάλλευσης της Βαλτικής 0,08-0,148 t_Nha^{-1} και 0,006-0,011 t_Pha^{-1} . Ωστόσο, σε καμία από αυτές τις περιπτώσεις εάν η παραγωγή δεν βελτιστοποιηθεί, τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν προκαταρκτικά (Petersen *et al.*, 2020).

Φαίνεται, λοιπόν, ότι μπορεί να βελτιώσει τη διαύγεια του νερού και να μειώσει τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-*a*, όπως αυτό έχει αποδειχθεί με *in situ* δεδομένα, η οικολογική μοντελοποίηση και με δορυφορικές εικόνες από αγροκτήματα στο Limfjorden, στο νότιο Kattegat, Σουηδία και Γερμανία (Maar *et al.*, 2020a, 2020b; Taylor *et al.*, 2020a, 2020b). Οι μειώσεις στη συγκέντρωση χλωροφύλλης-*a* μπορεί να φτάνουν έως και

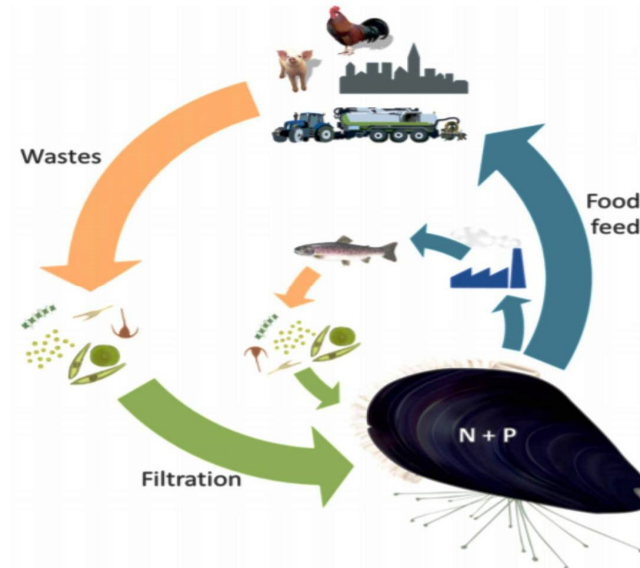
60-85% εντός του αγροκτήματος εκμετάλλευσης μυδιού και κατά μέσο όρο, 14-50% ανάλογα με την ικανότητα φιλτραρίσματος της ποικιλίας μυδιού και περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως ταχύτητα ροής, θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης-*a* (Nielsen *et al.*, 2016; Cranford, 2019; Petersen *et al.*, 2019b; Maar *et al.*, 2020; Taylor *et al.*, 2020a, 2020b). Το βάθος σε διαύγεια (δίσκος Secchi, ένα μέτρο διαφάνειας του νερού), αυξάνεται κατά μέσο όρο κατά 0,8-1,1 m (έως 2-3 m) σε μονάδες μετριασμού μυδιών σε σχέση με τις συνθήκες περιβάλλοντος (Maar *et al.*, 2020; Taylor *et al.*, 2020b).

Τα μοντέλα δείχνουν βελτίωση της διαφάνειας του νερού σε μια περιοχή γύρω από το αγρόκτημα των μυδιών 14 φορές μεγαλύτερη από την ίδια την εκμετάλλευση σε μια μελέτη στο ευτροφικό Skive με χαμηλές ταχύτητες ρεύματος (Timmermann *et al.*, 2019) σε σύγκριση με λιγότερο έντονη εξάντληση σε περιοχές με υψηλότερο ρυθμό πρόσληψης και χαμηλός χρόνος κατακράτησης (Maar *et al.*, 2020; Taylor *et al.*, 2020b). Η χωρική έκταση αυτού του αποτελέσματος είναι μεγαλύτερη για εκμεταλλεύσεις με υψηλή βιομάζα ή με πολλές εκμεταλλεύσεις σε κοντινή απόσταση. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στους Timmermann *et al.*, (2019) έδειξε ότι σε σχέση με το βάθος της χλωροφύλλης-*a* και τον δίσκο Secchi, η καλλιέργεια μυδιών είναι πιο αποτελεσματική από τη χερσαία μείωση (Cranford, 2016).

Δ) Έργο BONUS OPTIMUS

Το έργο BONUS OPTIMUS (2017-2020), (Εικόνα 13), αξιολόγησε πλήρως την καλλιέργεια μυδιών στην περιοχή της δυτικής Βαλτικής ως ένα θαλάσσιο εργαλείο μετριασμού όσον αφορά τη βελτιστοποίηση της εξαγωγής θρεπτικών ουσιών, την οικονομία, την κοινωνική αποδοχή και τις πιθανές οικολογικές επιπτώσεις. Ο γενικός στόχος του BONUS OPTIMUS είναι να παρέχει ισχυρή τεκμηρίωση βάσει αποδεικτικών στοιχείων (οικολογική, κοινωνική και οικονομική), για τη βελτιστοποιημένη χρήση του εκτρεφόμενου μυδιού ως εργαλείο μετριασμού του ευτροφισμού, που με τη σειρά του μπορεί να είναι μια βιώσιμη πλούσια σε πρωτεΐνες ζωοτροφή για τα ψάρια. Από αυτό το ερευνητικό έργο προέκυψαν οι κατευθυντήριες γραμμές για τη διευκόλυνση της λήψης

αποφάσεων και την εφαρμογή της καλλιέργειας μυδιών για τον μετριασμό του ευτροφισμού (Petersen and Taylor, 2020).



Εικόνα 13:Βελτιστοποιημένη χρήση μυδοκαλλιέργειας μετριασμού του ευτροφισμού (διαμόρφωση© BONUS OPTIMUS project 2017-2020).

Η αποτελεσματικότητα όσον αφορά την εκχύλιση αζώτου (N) και φωσφόρου (P) εξαρτάται από τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες που οδηγούν στην ανάπτυξη και στη συσσώρευση βιομάζας μυδιών εντός της φάρμας μετριασμού. Συγκεκριμένα, το βάθος νερού, η συγκέντρωση φυτοπλαγκτού, η υδροδυναμική, η θερμοκρασία και η αλατότητα του ύδατος, και η στρατολόγηση άγριων μυδιών (άφθονοι οι πληθυσμοί άγριων μυδιών σε αυτές τις περιοχές όπου οι προνύμφες μεταφέρονται από γειτονικά σώματα νερού για προμήθεια σπόρων με βάση το εκκολαπτήριο (Timmermann *et al.*, 2015; Bruhn *et al.*, 2020) δείχνει ότι αυτή η μέθοδος μετριασμού του N και P είναι μια προσιτή μέθοδος (Petersen *et al.*, 2020).

Το υψηλότερο δυναμικό μετριασμού στα ύδατα της Δανίας βρίσκεται στις εκβολές κατά μήκος της Γιουτλάνδης στην ανατολική ακτή, το Limfjorden, το Isefjord, τη δυτική ακτή της Σουηδίας και τον κόλπο Kiel, όπου υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες θρέψης και οι συγκεντρώσεις και τα επίπεδα αλατότητας δεν περιορίζουν την ανάπτυξη των μυδιών. Η πραγματική παραγωγή μειώνεται στη Βαλτική Θάλασσα, λόγω της μείωσης της

αλατότητας και στις πιο ανοικτές θαλάσσιες, περιοχές λόγω των χαμηλότερων συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-*a* (Petersen *et al.*, 2020). Επίσης, η ταχύτητα ροής και η αραιώση της χλωροφύλλης-*a* εντός των εκμεταλλεύσεων δεν περιλαμβάνονται στο μοντέλο.

Θετική ανάπτυξη μυδιών μπορεί να συμβεί σε περιοχές με χαμηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-*a* σε συνδυασμό με υψηλές ταχύτητες ρεύματος. Οι χαμηλές ταχύτητες ρεύματος, ωστόσο, οδηγούν σε λιγότερη ανταλλαγή νερού και αυξάνει το μέγεθος της μείωσης της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-*a* μέσα στο αγρόκτημα μυδιών, η οποία μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης. Βελτιωμένη η διαφάνεια νερού και μειωμένη η συγκέντρωση χλωροφύλλης-*a*, λόγω του μηχανισμού τροφοδότησης μυδιών του φιλτραρίσματος αιωρούμενων υλών στη στήλη νερού (Petersen *et al.*, 2020).

E) Η λιμνοθάλασσα Berre (Γαλλία)

Στο θαλάσσιο περιβάλλον, εάν η αποκατάσταση των ειδών που ασκούν έλεγχο στο φυτοπλαγκτόν, όπως οι φυσικοί πληθυσμοί των δίθυρων που αποτελούν φυσικοί οργανισμοί φιλτραρίσματος νερού, δεν μπορεί πραγματικά να χρησιμεύσουν για την καταπολέμηση του ευτροφισμού, μπορεί να αποδειχθούν αποτελεσματικοί στη στήριξη της επιστροφής στην ολιγοτροφία (Pinay *et al.*, 2017).

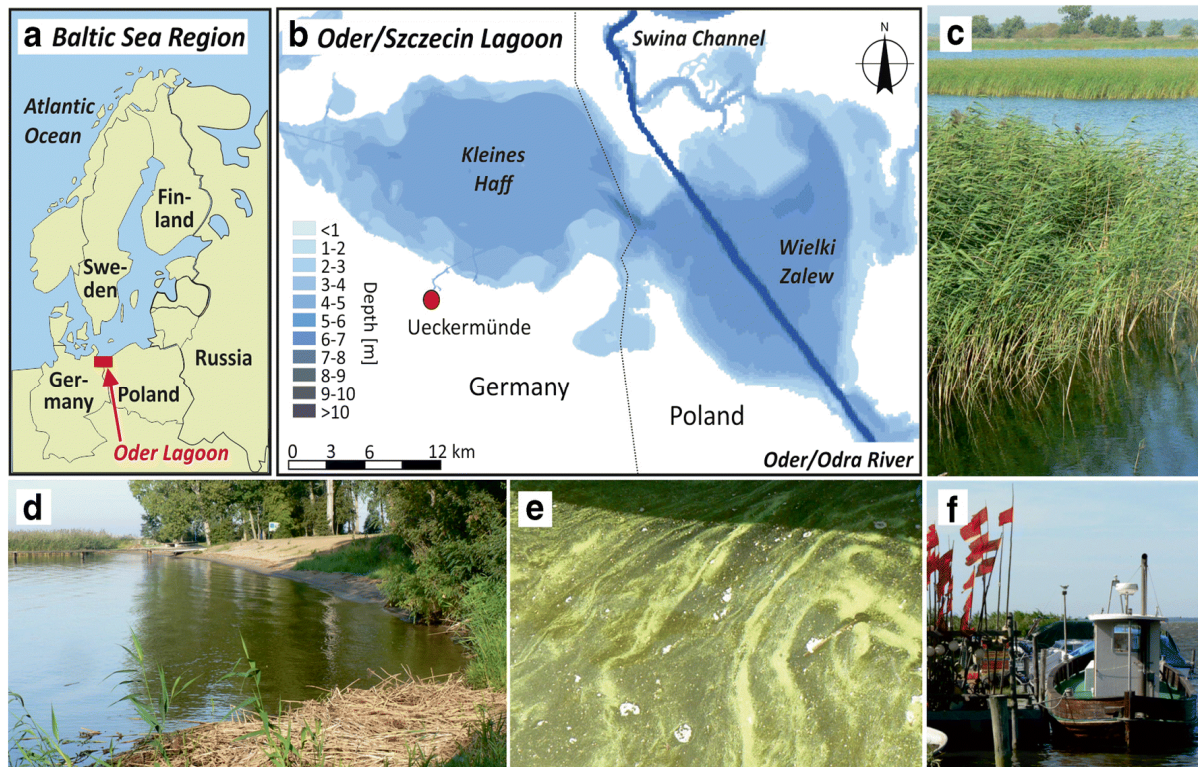
Η λιμνοθάλασσα Berre (Provence, Γαλλία), μια από τις μεγαλύτερες υφάλμυρες λιμνοθάλασσες της Μεσογείου (155km²) στα Ν.Α παράλια της Γαλλίας, ρυπάνθηκαν από αστικά και βιομηχανικά λύματα, κυρίως από το 1966 με την εκτροπή του ποταμού Durance. Αυτό οδήγησε από 10 σε 49 και από 8 σε 31 φορές αύξηση των εισροών γλυκού νερού και ιλός, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος έχει αποφορτίσει σημαντικές εισροές εμπλουτισμένου γλυκού νερού στη λιμνοθάλασσα από το 1966. Λόγω αυτών των υψηλών εισροών θρεπτικών συστατικών, αρκετά είδη φυτοπλαγκτού ανθίζουν τακτικά στη λιμνοθάλασσα την άνοιξη, το καλοκαίρι ή το φθινόπωρο. Η κορύφωση της φυτοπλαγκτονικής βιομάζας (> 150 μg Chl-*a*/ dm³) ακολουθείται από έντονη ετερότροφη δραστηριότητα, που οδηγούν στην κατανάλωση οξυγόνου (O₂) με υποξικά ή ανοξικά επεισόδια (Dugenne *et al.*, 2015).

Ωστόσο, από το 2000, η δημιουργία μυδοκαλλιέργειών *Mytilus galloprovincialis* εντός της λιμνοθάλασσας- οδήγησε σε μείωση της θολερότητας και ελαφριά, θετική εξέλιξη, που θα μπορούσε να είναι ο προάγγελος μιας αντίστροφης μετατόπισης του συστήματος και προς την περιβαλλοντική αποκατάστασή της (Bernard *et al.*,2007).

ΣΤ) Λιμνοθάλασσα Oder (Γερμανία)

Στο Πλαίσιο Προσέγγισης Συστημάτων (SAF) με μια ολοκληρωμένη Οικολογική-Κοινωνική-Οικονομική εκτίμηση εφαρμόστηκε η καλλιέργεια του μύδιου ζέβρα (*Dreissena polymorpha*) στη μεγάλη λιμνοθάλασσα Oder (Szczecin), στη νότια Βαλτική Θάλασσα για την αντιμετώπιση του ζητήματος του ευτροφισμού (Εικόνα 14). Με έκταση 687 km², η Oder Lagoon είναι μια από τις μεγαλύτερες λιμνοθάλασσες στην Ευρώπη, που μοιράζεται μεταξύ της Γερμανίας (Kleines Haff, 277 km²) και της Πολωνίας (Wielki Zalew, 410 km²). Ο ευτροφισμός σε αυτή, εμποδίζει την υδατοκαλλιέργεια και τα μύδια ζέβρα θεωρούνται ως πιθανό μέτρο για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων (Schernewski *et al.*,2019).

Τρία εναλλακτικά σενάρια αναπτύχθηκαν σε αλληλεπίδραση με τους τοπικούς ενδιαφερόμενους: (i) Η παραγωγή μυδιών ως φρέσκων ζωοτροφών και γεύματος σε εμπορική βάση δεν φαινόταν κερδοφόρα, λόγω της περιορισμένης αγοράς φρέσκων μυδιών (ζωολογικοί κήποι, υδατοκαλλιέργεια) και των χαμηλών τιμών για βιολογικές ζωοτροφές. (ii) Η καλλιέργεια μυδιών για τη βελτίωση της διαφάνειας και της ελκυστικότητας των υδάτων για κολύμβηση κοντά σε παραλίες είχε μόνο περιορισμένο δυναμικό (βελτίωση 0,2 m του βάθους (δίσκος Secchi)). Μια υψηλότερη βιομάζα μυδιών θα αύξανε τον κίνδυνο προσωρινής υποξίας, και (iii) Οι εκμεταλλεύσεις μυδιών για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης (σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο της ΕΕ για τα ύδατα) υποστηρίζοντας την αποκατάσταση των μακροφυτών θεωρήθηκαν ως το πιο ελπιδοφόρο σενάριο. Οι προσομοιώσεις μοντέλων, τα πειράματα και η βιβλιογραφία επιβεβαιώνουν ότι οι συνθήκες για μια φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση μυδοκαλλιέργειας στη λιμνοθάλασσα, είναι κατάλληλη (Schernewski *et al.*, 2019).



Εικόνα 14:Θέση της Όντερ / Szczecin λιμνοθάλασσας (α), βαθυμετρία (β), εντοπώσεις από τη λιμνοθάλασσα: κλίμακα ζώνης (γ), μικρές παραλίες (δ) κοινά μπλε-πράσινα φύκη τον Αύγουστο (ε) και τοπική αλιεία (f) © Schernewski *et al.*, 2019.

Τα μύδια ζέβρα (*Dreissena polymorpha*) είναι άφθονα στη λιμνοθάλασσα (Radziejewska *et al.*, 2009; Wolnomiejski & Woźniczka 2008) και διαθέτουν υψηλό δυναμικό καθαρισμού (Newell 2004; Fenske 2005; Schories *et al.*, 2006; Stybel *et al.*, 2009; Zaiko *et al.*, 2009). Για το σκοπό αυτό, οικολογικό μοντέλο επεκτάθηκε από μια μονάδα μυδιών και ένα οικονομικό μοντέλο. Οι προσομοιώσεις του μοντέλου έδειξαν, ότι η εκτροφή μυδιών στη λιμνοθάλασσα θα μπορούσε να θεωρηθεί μόνο ως υποστηρικτικό μέτρο για τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων. Μια μέγιστη σε έκταση μυδοκαλλιέργεια που έχει δημιουργηθεί στη λιμνοθάλασσα, έχει τη δυνατότητα να αφαιρέσει 1000 t_N και 70 t_P, περίπου το 2% των ετήσιων φορτίων θρεπτικών ουσιών (Schernewski *et al.*, 2012).

Το μέσο ετήσιο συνολικό φορτίο θρεπτικών ουσιών (2010-2014) στη λιμνοθάλασσα είναι περίπου 60.000 τόνοι ολικού αζώτου (N) και 3.000 τόνοι συνολικού φωσφόρου (P), (Pastuszak *et al.*, 2018). Η απόρριψη του ποταμού Oder/Odra κυριαρχεί στους

προϋπολογισμούς των υδάτων της λιμνοθάλασσας (μέση απόρριψη 530 m³/s) και συνεισφέρει περισσότερο από το 95% των συνολικών φορτίων θρεπτικών ουσιών. Είναι υπεύθυνη για τον έντονο ευτροφισμό (μέση ετήσια διαφάνεια νερού 0,9 m) και για τα συχνά γαλαζοπράσινα φύκη το καλοκαίρι. Λόγω του ρηχού της βάθους (μέσο βάθος 3,7 m, μέγιστο φυσικό βάθος 8,5 m), ο μέσος χρόνος ανταλλαγής νερού της λιμνοθάλασσας είναι μόνο περίπου 55 ημέρες (Radziejewska & Schernewski, 2008).

Τρία κανάλια συνδέουν τη λιμνοθάλασσα με τη Βαλτική Θάλασσα. Η χαμηλή μέση αλατότητας -περίπου 1,5 psu- δείχνει τη μικρή επίδραση της Βαλτικής Θάλασσας (6 psu). Λόγω της χαμηλής αλατότητας, τα μύδια ζέβρα (*Dreissena polymorpha*) είναι τα μόνα που μπορούν να τραφούν στη λιμνοθάλασσα (Wolnomiejski & Witek, 2013). Σχηματίζουν αρμαθιές μυδιών σε όλα τα μέρη της λιμνοθάλασσας, με εκτιμώμενη συνολική βιομάζα περίπου 68.000 τόνους (Radziejewska *et al.*, 2009, Wolnomiejski & Wozniczka 2008). Το μύδι ήταν κοινό σε όλη τη Βόρεια Γερμανία πριν από την τελευταία εποχή των παγετώνων και επαναποικίστηκε στη λιμνοθάλασσα Oder τον 19^ο αιώνα (Fenske 2003; Stybel *et al.*, 2009). Ως εκ τούτου, θεωρούνται τα μύδια ζέβρα ως φυσικά απαντώμενα είδη.

Αν και δεν είναι παγκοσμίως γνωστές οι εφικτές προσεγγίσεις καλλιέργειας μυδιών ζέβρας, ωστόσο η καλλιέργεια μυδιών με ζέβρα φαίνεται να είναι το κατάλληλο μέτρο για την αφαίρεση θρεπτικών συστατικών, την αύξηση της διαύγειας του νερού και τη βελτίωση της ποιότητας του οικοσυστήματος, αλλά το ποσοτικό δυναμικής του στη λιμνοθάλασσα Oder είναι περιορισμένο. Σε μικρότερα υδάτινα σώματα με λιγότερα εξωτερικά φορτία θρεπτικών ουσιών, όπως λίμνες ή δεξαμενές, η καλλιέργεια μυδιών ζέβρας μπορεί να είναι μια κατάλληλη επιλογή διαχείρισης ποιότητας ύδατος. (Mc Laughlan & Aldridge 2013), αλλά λείπουν πρακτικές εμπειρίες πεδίου.

Στην Oder λιμνοθάλασσα, η καλλιέργεια μυδιών θα μπορούσε να εφαρμοστεί για συγκεκριμένους τοπικούς σκοπούς, όπως η παραγωγή ζωοτροφών μικρής κλίμακας, η βελτίωση της διαφάνειας του νερού στις παραλίες ή ως περιβαλλοντικό μέτρο για την ανάκτηση των μακροφυτών. Η καλλιέργεια μυδιών ζέβρα στη λιμνοθάλασσα δεν θα ήταν κερδοφόρα ως επιχείρηση, επειδή η αγορά **μυδιών ως** φρέσκων ζωοτροφών, είναι περιορισμένη (πάρκα ζώων, υδατοκαλλιέργεια) και η παραγωγή αλεύρων μυδιών θα απαιτούσε μεγάλη παραγωγή.

Από πρακτική άποψη, οι θετικές επιπτώσεις των εκμεταλλεύσεων μυδιών στη διαφάνεια των υδάτων είναι προς το παρόν πιο σημαντικές. Ακόμη και για τη δημιουργία αγροκτημάτων μυδιών στο περιβάλλον των παραλιών για τη βελτίωση της διαφάνειας των υδάτων κολύμβησης, θεωρήθηκε μια αξιόλογη επιλογή από τους τοπικούς και περιφερειακούς φορείς μας. Ωστόσο, η πιθανή βελτίωση της διαφάνειας του νερού (δείκτης Secchi) φαίνεται να περιορίζεται σε περίπου 20 cm. Μια υψηλότερη βιομάζα μυδιών μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και να αυξήσει τον κίνδυνο υποξίας.

Τα πιο πολλά υποσχόμενα κατά την άποψη των ενδιαφερομένων είναι οι κινητές εκμεταλλεύσεις μυδιών, οι οποίες αυξάνουν τη διαφάνεια των υδάτων σε ρηχά σημεία (βάθος νερού κάτω από 2 m) και ξεκινούν την ανάκαμψη των βυθισμένων μακροφυτών, χωρίς να ενοχλούν τα ήδη καθιερωμένα υποβρύχια μακρόφυτα. Αυτές οι εκμεταλλεύσεις μυδιών θα μπορούσαν ενδεχομένως να μετακινηθούν σε άλλα μέρη μόλις αποκατασταθούν τα μακρόφυτα. Μια προσωρινή εγκατάσταση θεωρήθηκε ως σημαντικό πλεονέκτημα, διότι περιορίζει τις πιθανές τοπικές αρνητικές επιπτώσεις των μυδιών σε ιζήματα και η επαναχρησιμοποίηση σε διαφορετικό μέρος θα μειώσει το κόστος. Ωστόσο, αυτό δεν έχει δοκιμαστεί μέχρι τώρα και απαιτούνται επιπλέον πειράματα πεδίου για να επιβεβαιωθεί η καταλληλότητα μιας τέτοιας προσέγγισης.

Η έρευνα στην Oder Lagoon (λιμνοθάλασσα) δείχνει ότι το SAF εφαρμόζεται σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες και ότι οι επαναλαμβανόμενες εφαρμογές μπορεί να είναι χρήσιμες. Σε αυτήν τη μελέτη, εστίασαμε σε μια τοπική προσέγγιση. Βασίζεται σε πολύ συγκεκριμένα εναλλακτικά σενάρια (σύνολα μέτρων) για σαφώς καθορισμένους σκοπούς, καλύπτοντας μια περιοχή εστίασης μόλις 150 km².

Η τοπική εφαρμογή του SAF μπορεί να θεωρηθεί ως γενικό παράδειγμα για άλλες περιπτώσιολογικές μελέτες, ακόμη και για εκείνους που αντιμετωπίζουν πολύ διαφορετικά θέματα. Τα σενάρια που αναπτύχθηκαν για την εκτροφή μυδιών πρέπει να ικανοποιούν τα ενδιαφέροντα για άλλα εσωτερικά παράκτια ύδατα της Βαλτικής, όπως η λιμνοθάλασσα Curonian ή η λιμνοθάλασσα Vistula, και τα σενάρια καθώς και η αξιολόγηση του ESE, μπορούν επίσης να μεταφερθούν σε μεγάλο βαθμό. Μια εφαρμογή SAF που ασχολείται με χωρικά μεγαλύτερα ή και πιο περίπλοκα ζητήματα (π.χ.

χωροταξικός σχεδιασμός), σίγουρα θα απαιτούσε μια επίσημη πολιτική δέσμευση και μια πιο επίσημη διαδικασία εμπλοκής των ενδιαφερομένων για να είναι σε θέση να ακολουθήσει όλα τα βήματα μιας διαδικασίας SAF που είναι ενεργή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αρκετών χρόνων (Schernewski *et al.*, 2019).

Z) Λιμνοθάλασσα Ria Formosa (Πορτογαλία)

Η λιμνοθάλασσα Ria Formosa παράγει το 80% των οστρακοειδών που καταναλώνονται στην Πορτογαλία (Duarte *et al.*, 2019). Δείγματα ύδατος συλλέχθηκαν σε τέσσερις σταθμούς στη Ria Formosa κάθε δύο εβδομάδες, με χαμηλή και υψηλή παλίρροια, πάνω από ένα χρόνο. Από μια εσωτερική ζώνη της λιμνοθάλασσας, έκαναν δειγματοληψία ύδατος καθημερινά, σε χαμηλή και υψηλή παλίρροια, σε τρεις παλιρροιακούς κύκλους. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι τα θρεπτικά συστατικά στα ύδατα της λιμνοθάλασσας ποικίλλουν ανάλογα με την εποχή και την παλίρροια. Ενώ τα νιτρικά άλατα είναι υψηλότερα το χειμώνα/άνοιξη, αυξάνονται με την εισροή θαλασσινού νερού, οι συγκεντρώσεις φωσφορικών και πυριτικών τείνουν να κυμαίνονται κυρίως με την παλίρροια, εμφανίζοντας υψηλότερες τιμές σε περιόδους χαμηλής παλίρροιας. Ως εκ τούτου, τα νιτρικά άλατα φαίνεται να εισάγονται από τα παράκτια ύδατα, ενώ η βενθική αναγέννηση είναι πιθανόν ο κύριος παράγοντας που ελέγχει τα επίπεδα φωσφορικών, πυριτικών και αμμωνίου στη λιμνοθάλασσα (Falcao *et al.*, 1990). Τα μύδια παρουσιάζουν την ικανότητά προειδοποίησης, για την παρουσία μολυσματικών ουσιών. Η προσέγγιση αυτή, εξετάζει ταυτόχρονα τις απαντήσεις προστασίας και βλαβερών συνεπειών και αποκάλυψε, επίσης, τη χρησιμότητά της στην απορρύπανση (Maria *et al.*, 2009).

Σε έρευνα του Asmus *et al.*, (2000) και στη διάρκεια ενός ετήσιου κύκλου, οι ρυθμοί ροής οξυγόνου, νιτρικών, νιτρωδών, αμμωνίου, φωσφορικών και πυριτικών μετρήθηκαν στη Ria Formosa (Algarve, Πορτογαλία). Η ροή νιτρικού άλατος κατευθύνθηκε κυρίως από τη στήλη νερού στις βενθικές κοινότητες στη Ria Formosa. Στη Ria Formosa, οι συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών ήταν χαμηλότερες πιθανώς λόγω της ισχυρής ανταλλαγής νερού με τα ύδατα του Ατλαντικού. Οι υψηλές θερμοκρασίες και η έντονη

ηλιακή ακτινοβολία είχαν μεγαλύτερη επίδραση στις ροές νιτρικών αλάτων στη Ria Formosa. Στην περιοχή μελέτης, η ροή οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών συσχετίστηκε με τη θερμοκρασία. Επιπλέον, οι ρυθμοί ροής επηρεάστηκαν έντονα από τα βιοτικά συστατικά και τα επίπεδα ευτροφισμού. Κυρίως σε εύκρατες περιοχές, οι ροές υλικών αυξάνονται με τη θερμοκρασία, ενώ σε θερμότερες περιοχές, οι ροές αμμωνίου και φωσφόρου μεταξύ ιζήματος και νερού ήταν γενικά χαμηλότερες (Asmus *et al.*, 2000).

Το *Mytilus galloprovincialis* είναι ένα από τα πρόσφατα δίθυρα είδη που παράγονται στην Πορτογαλία υπεράκτια. Η ανάπτυξη, ο δείκτης κατάστασης και η σύνθεση λιπαρών οξέων του μυδιού που παράγεται σε βάθος 2 και 13 m συγκρίθηκαν σε παραγάδια στη νότια ακτή της Πορτογαλίας (Ria Formosa). Για κάθε βάθος, πραγματοποιήθηκε παρακολούθηση αρκετών παραμέτρων ποιότητας νερού, όπως θερμοκρασία, θολότητα, θρεπτικά συστατικά και χλωροφύλλη-*a*. Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της ανάπτυξης μυδιών σε διαφορετικά βάθη. Στην πρώτη δειγματοληψία, το μέσο μήκος του κελύφους ήταν 24 mm, φτάνοντας τα 50 mm 9 μήνες μετά. Παρατηρήθηκε υψηλή διασπορά μήκους μυδιών λόγω αργών καλλιεργητών. Ο δείκτης συνθηκών δείχνει μια τυπική εποχική διακύμανση, με υψηλές τιμές το φθινόπωρο και τα τέλη της άνοιξης και ελάχιστες τιμές τον Ιανουάριο. Η ανάλυση λιπαρών οξέων δεν αποκάλυψε διαφορές τόσο στα βάθη, όσο και στα επίπεδα DHA (8,71 mg/g) ήταν γενικά υψηλότερα από το EPA (5,90 mg/g). Η ποιότητα του νερού αποκάλυψε λίγες διαφορές στις περιβαλλοντικές συνθήκες στη στήλη νερού, οι οποίες μπορεί να εξηγήσουν τις ομοιότητες μεταξύ της ποιότητας των μυδιών που παράγονται σε διαφορετικά βάθη. Με βάση αυτά τα δεδομένα, η παράκτια παραγωγή μυδιών σε αυτήν την περιοχή μπορεί να γίνει σε αυτό το εύρος βυθίσεων 2 και 13 m, χωρίς να επηρεάζεται η ανάπτυξη και η σύνθεση λιπαρών οξέων (Araújo *et al.*, 2020).

Η περιοχή καλλιέργειας επηρέασε επίσης την ανάπτυξη μυδιών. Οι διαφορές στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη-*a* και στην ταχύτητα του νερού, που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του φυτοπλαγκτού, ήταν οι κύριοι παράγοντες που διέπουν τη διακύμανση του ρυθμού ανάπτυξης και του δείκτη κατάστασης (Camacho *et al.*, 1995).

Η) Η λιμνοθάλασσα της Sacca di Goro (Ιταλία)

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε δύο περιοχές της λιμνοθάλασσας Sacca di Goro (Ιταλία), (Εικόνα 15), το 2005, δείχνει ότι από την καλλιέργεια του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* επηρεάστηκε η υδάτινη στήλη και το βένθος. Η καλλιέργεια μυδιών προκάλεσε έντονη βιοδιάθεση οργανικής ύλης στα υποκείμενα ιζήματα, τα οποία διεγείρουν τη ζήτηση οξυγόνου ιζημάτων και ρυθμούς αναγέννησης ανόργανου αζώτου και φωσφόρου σε σύγκριση με τον κοντινό σταθμό ελέγχου. Συνολικές βενθικές ροές ($-11,4 \pm 6,5 \text{ mmol O}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$, $1,59 \pm 0,47 \text{ m mol NH}_4^+\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ και $94 \pm 42 \text{ μmol PO}_4^{3-}\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$) στο μύδι είναι από τις υψηλότερες που έχουν καταγραφεί ποτέ για μια υδατοκαλλιεργημένη περιοχή και αμφισβητούν την πεποίθηση, ότι η εκτροφή υποειδών διήθησης έχει εγγενώς χαμηλότερες επιπτώσεις από την εκτροφή ψαριών (Nizzoli *et al.*, 2005).

Οι επί τόπου επώσεις ανέπαφων σχοινιών μυδιών έδειξαν, ότι η εν λόγω κοινότητα ήταν ένας τεράστιος «νεροχύτης» για οξυγόνο και σωματιδιακή οργανική ύλη, και, εξίσου, μεγάλη πηγή διαλυμένου ανόργανου αζώτου και φωσφορικού στη στήλη νερού. Συνολικά, μια τετραγωνική έκταση της εκμετάλλευσης του Άμσελ (σχοινιά μυδιών και υποκείμενο ιζήμα), εκτιμάται ότι έχει ζήτηση οξυγόνου $46,8 \text{ mmol m}^2\text{h}^{-1}$ και μπορεί να αναγεννήσει ανόργανο άζωτο και φωσφόρο με ρυθμούς $8,5$ και $0,3 \text{ mmol m}^2\text{h}^{-1}$, με τα σχοινιά μυδιών να κυμαίνονται 70 και άνω του 90% της συνολικής ροής οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών. Ακόμη και αν ληφθεί υπόψη ότι εντός της καλλιεργούμενης περιοχής της λιμνοθάλασσας, Sacca di Goro, υπάρχουν $15-20 \text{ μ}^2$ ελεύθερης κυκλοφορίας νερού, για κάθε ένα σχοινί καλυμμένο με μύδια, τα σχοινιά μυδιών θα αποτελούσαν το κυρίαρχο στοιχείο της συνολικής ροής οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών. Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν, ότι είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η δραστηριότητα των καλλιεργημένων οργανισμών και της επιφυτικής τους κοινότητας κατά την αξιολόγηση των επιπτώσεων της καλλιέργειας οστρακοειδών (Nizzoli *et al.*, 2005).



Εικόνα 15: Περιοχή Sacca di Goro (Italia) στην οποία με την καλλιέργεια του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* επηρεάστηκε η υδάτινη στήλη και το βένθος (διαμόρφωση από © Viaroli, 2008).

Συνολικά, ενώ η βόσκηση από την κοινότητα σχοινίων μυδιών θα μπορούσε να λειτουργήσει ως έλεγχος από πάνω προς τα κάτω στο φυτοπλαγκτόν, το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης που καταναλώνεται ανακυκλώνεται γρήγορα στη στήλη νερού ως ανόργανα θρεπτικά συστατικά, τα οποία αναμένεται να διεγείρουν την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Κατά συνέπεια, η καθαρή επίδραση της καλλιέργειας μυδιών στη δυναμική του φυτοπλαγκτού, μπορεί να είναι η αύξηση του κύκλου εργασιών του φυτοπλαγκτού και της συνολικής παραγωγής, παρά ο περιορισμός της βιομάζας φυτοπλαγκτού (Nizzoli *et al*, 2005).

4.4 Παραδείγματα εφαρμοζόμενων πρακτικών, για την αντιμετώπιση ευτροφισμού σε περιπτώσεις τοξικού φυτοπλαγκτού και έλεγχος αποτελεσματικότητάς τους

Όπως αναφέρθηκε στις παραπάνω ενότητες, οι ερυθρές παλίρροιες και το τοξικό φυτοπλαγκτόν (Εικόνα 6), είναι ένα φυσικό φαινόμενο που συνδέεται με περιβαλλοντικά προβλήματα ευτροφισμού με επιβλαβείς ανθίσεις του φυτοπλαγκτόν και των μακροφυκών (γνωστό ως “Harmful algal blooms”). Με τη βιοαποικοδόμηση του φυτοπλαγκτού δημιουργούνται τέτοιες συνθήκες στα νερά, που θέτουν σε κίνδυνο τα

ψάρια και τους άλλους υδρόβιους οργανισμούς. Οι ανθίσεις φυκών παρατηρήθηκαν το 1638 από τους ψαράδες στα βορειοδυτικά της Ισλανδίας. Τα φιορδ ήταν χρωματισμένα με κόκκινο «αίμα» και κατά τη διάρκεια της νύχτας παρήγαγαν ένα είδος φωσφορισμού. Οι ψαράδες πίστευαν, ότι το τα χρώματα μπορεί να οφείλονται στο αίμα των φαλαινών καταπολέμησης ή σε ορισμένα θαλάσσια έντομα ή φυτά (Olafsson & Palmsson, 1772). Η πρώτη επιστημονική έκθεση των κατοικίδιων ζώων που πεθαίνουν από δηλητηρίαση ως συνέπεια του πόσιμου νερού, που επηρεάστηκε από μπλε/πράσινα φύκια, η άνθιση έγινε το 1878 στη λίμνη Αλεξάνδρεια της Αυστραλίας (Volterra *et al.*, 2002).

Το φαινόμενο του τοξικού φυτοπλαγκτού έχει αρνητικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα σε οικολογικό επίπεδο (διαταράσσεται η ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος). Μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στον κλάδο της αλιείας, αλλά αφορά άμεσα και τη δημόσια υγεία (Orth & Moore, 1984; Kosenius, 2010; Genitsaris *et al.*, 2019). Υποστηρίζεται, ότι το μύδι (είδους *Mytilus galoprovincialis*) μπορεί να αφομοιώσει υψηλές συγκεντρώσεις τοξικού φυτοπλαγκτού από εστίες που εντοπίζονται επιβλαβείς ανθίσεις, ειδικότερα για το τοξικό είδος φυτοπλαγκτού *Dinophysis acuminata* (Morosño *et al.*, 2003).

Όταν υψηλές συγκεντρώσεις αυτού, συσσωρεύονται σε βρώσιμους ιστούς μυδιών μπορούν να προκληθούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Επομένως, όταν τα μύδια περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις τοξινών είναι ακατάλληλα προς βρώση (Andres *et al.*, 2019). Αναμφίβολα, η άσκηση της επαγγελματικής δραστηριότητας που σχετίζεται με την εκτροφή των οστρακοειδών επιτυγχάνεται για την παραγωγή βρώσιμων μυδιών με υψηλό οικονομικό ενδιαφέρον.

Εξετάζοντας στο σύνολο τους παράγοντες αυτούς, υπάρχει υψηλή πολυπλοκότητα στη λήψη αποφάσεων και στον καθορισμό μιας εφαρμογής, όπου να χαρακτηρίζει τις πρακτικές ως επιτυχημένες ή μη με σκοπό την αφομοίωση του τοξικού φυτοπλαγκτού μέσω ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας, επομένως επιβάλλεται περαιτέρω διερεύνηση. Οι υψηλοί ρυθμοί καθίζησης κάτω από ένα μύδι μπορούν να οδηγήσουν σε οργανικό εμπλουτισμό σε τέτοιο βαθμό που ο σχηματισμός θειούχων και η εξάντληση του οξυγόνου αναστέλλουν τη συζευγμένη διαδικασία νιτροποίησης-απονιτροποίησης (Holmer *et al.*, 2015; Petersen *et al.*, 2019a). Ακολούθως, γίνεται η μείωση του νιτρικού άλατος σε αμμώνιο (DNRA), η κυρίαρχη διαδικασία (Christensen *et al.*, 2003). Εάν η απονιτροποίηση

αναστέλλεται, είναι πιθανό να υπάρξει μεγαλύτερη κατακράτηση αμμωνίου εντός του συστήματος. Ταυτόχρονα, το φωσφορικό συνδέεται με μεταλλικές ενώσεις στο ίζημα και μπορεί να απελευθερωθεί στη στήλη νερού με αποτέλεσμα την εξάντληση του οξυγόνου (Holmer *et al.*, 2003). Έτσι, η αυξημένη απελευθέρωση N και P από το ίζημα έχει προταθεί θεωρητικά, για την εξουδετέρωση της επίδρασης της απομάκρυνσης N και P με ενσωμάτωση στη βιομάζα μυδίων (Stadmark & Conley 2011). Ωστόσο, το μέγεθος της απονιτροποίησης αντιπροσώπευε το 2% της συνολικής αφαίρεσης N κατά τη συγκομιδή μυδίων για μια τυπική εκμετάλλευση Limfjorden και <1% της συγκομιδής μυδίων με σκοπό τον μετρίασμό των θρεπτικών στοιχείων στο νότιο κόλπο Kattegat (Hylén *et al.*, 2020).

Αυτό υποδηλώνει, ότι ακόμη και αν πραγματοποιηθεί πλήρης αναστολή της απονιτροποίησης, θα εξακολουθεί να υπάρχει ένα σημαντικό δίκτυο N-απομάκρυνσης (Petersen *et al.*, 2019a). Οι περισσότερες μελέτες σχετικά με τις βενθικές επιπτώσεις δείχνουν γενική αύξηση των ποσοστών απονιτροποίησης σε μονάδες μυδοκαλλιέργειας (Nizzoli *et al.*, 2006; Carlsson *et al.*, 2012; Holmer *et al.*, 2015). Εξαιρέσεις οφείλονταν σε περιοχές με περιορισμένες τρέχουσες ταχύτητες, υπερβολική εκμετάλλευση σε περιορισμένο χώρο και υπάρχουσες συνθήκες περιβάλλοντος χαμηλού οξυγόνου (Gilbert *et al.*, 1997; Christensen *et al.*, 2003; Carlsson *et al.*, 2012). Ως εκ τούτου, συνιστάται για το μετρίασμό του ευτροφισμού να τοποθετούνται μυδοκαλλιέργειες σε περιοχές με επαρκείς ρυθμούς ροής ($> 0,02 \text{ ms}^{-1}$) ή να τις επανατοποθετούν τακτικά, για να αποφύγουν τον κίνδυνο εξάντλησης οξυγόνου και αυξημένου σχηματισμού θεικών ενώσεων σε ιζήματα (Petersen *et al.*, 2012).

Σε εκβολές ποταμών και άλλα υδάτινα στρώματα με χαμηλό χρόνο παραμονής, η διήθηση μυδίων μεγάλης κλίμακας μπορεί δυνητικά να συλλαμβάνει και να διατηρεί θρεπτικά συστατικά (είτε τοπικά, είτε από πιο ανοιχτό νερό) μέσω της βιοδιάθεσης, κάτι που θα συνέβαινε διαφορετικά μεταφέροντάς το (επένδυση πλαγκτόν) από το υδατικό σύστημα (Cranford *et al.*, 2007). Σε αυτήν την περίπτωση, η εκμετάλλευση των μυδοκαλλιεργειών μπορεί να συμβάλει στην αύξηση του ποσοστού κατακράτησης των θρεπτικών ουσιών και, συνεπώς, στην τοπική μείωση του ευτροφισμού γύρω από τα αγροκτήματα μυδίων μετρίασμού του ευτροφισμού. Κατά συνέπεια, θα γίνει εξαγωγή

θρεπτικών συστατικών από το υδατικό σύστημα γεγονός που με τη σειρά του θα μειώσει τον ευτροφισμό στο παρακείμενο υδατικό σύστημα (Petersen & Taylor, 2020).

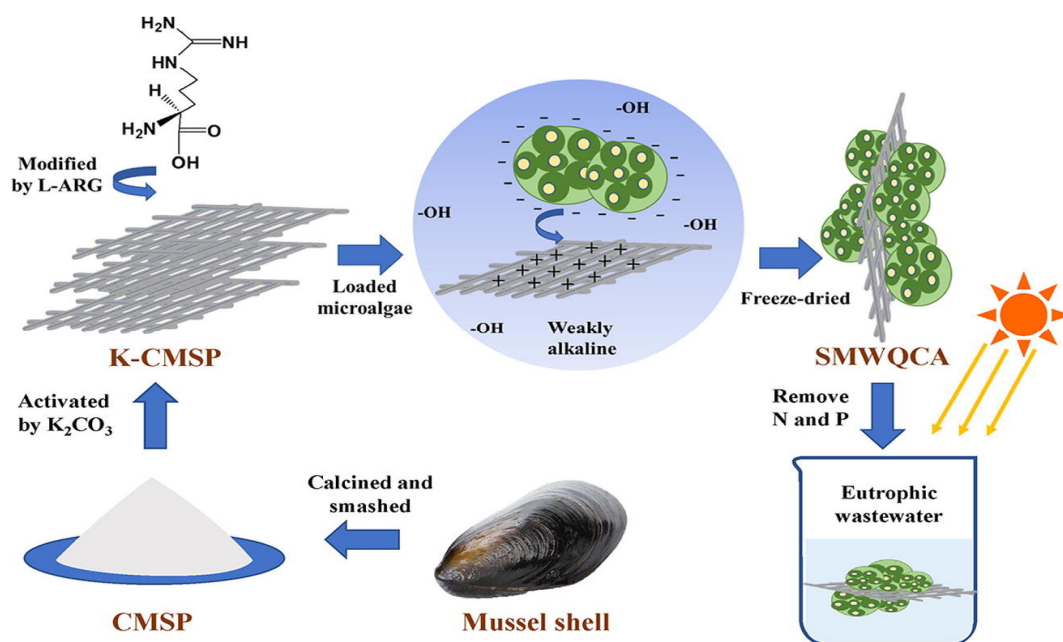
Ειδικότερα, μια επιτυχημένη πρακτική και μέτρα που θα μπορέσουν να εφαρμοστούν είναι το να μειωθεί η διάχυτη διασπορά θρεπτικών συστατικών με τη μείωση άσκησης της γεωργίας, η αποκατάσταση του περιβάλλοντος με αναδασώσεις, ώστε να περιοριστούν τα φαινόμενα ευτροφισμού (Petersen *et al.*, 2016; Hasler *et al.*, 2015). Με αυτό τον τρόπο, η διάχυτη διασπορά θρεπτικών συστατικών στο περιβάλλον θα περιορίζεται και θα μένει σταθερή, χωρίς να επιβαρύνεται επιπλέον. Μολαταύτα, το υδάτινο περιβάλλον παραμένει ευτροφικό με υψηλή τοξικότητα και η δυνητική χρήση ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας -σε περιορισμένο χρονικό διάστημα- για να μειωθούν τα κυριότερα θρεπτικά συστατικά που ευθύνονται για τον ευτροφισμό, προκαλώντας ταχεία ανάπτυξη τοξικού φυτοπλαγκτού βρίσκονται σε έξαρση (Matisson & Lindén, 1983).

Τα μέσα πρόληψης ευτροφισμού που είναι απαραίτητα πέρα και πριν λύση της μυδοκαλλιέργειας, είναι:

- Ορθολογική χρήση (λιγότερο ογκώδης και πιο στοχευμένη τόσο στις περιοχές που πρέπει να αντιμετωπιστούν όσο και ανάλογα με τον καιρό) λιπασμάτων στη γεωργία, η οποία απαιτεί ανάλυση της αγρονομικής αξίας των εδαφών.
- αντικατάσταση των φωσφορικών αλάτων στα απορρυπαντικά από άλλους αβλαβείς παράγοντες κατά της ασβεστοποίησης (ζεόλιθοι),
- απομάκρυνση οργανικής ύλης καθώς και αζώτου και φωσφόρου με την επεξεργασία απορρίψεων σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (κροκίδωση, καθίζηση, διήθηση, απονιτροποίηση, αποφωσφορική).

Μια καινοτόμα δημοσιευμένη εργασία σχετικά με τα μύδια και τη χρησιμοποίησή τους για την αποτελεσματική μείωση N και P παρουσιάστηκε πρόσφατα (Jil. *et al.*, 2019). Συγκεκριμένα, κονιορτοποιήσαν κέλυφος μυδιών και διάσπαρτο το τοποθέτησαν σε ένα πορώδες CMSP (Εικόνα16). Ενεργοποιήθηκε με K_2CO_3 (K-CMSP) και αυτή η πορώδης επιφάνεια K-CMSP τροποποιήθηκε από *L*-αργινίνη (*L*-ARG), για να καταστήσει την πορώδη βιομάζα μια θετικά φορτισμένη επιφάνεια. Αυτή χρησιμοποιήθηκε καινοτόμα

ως φορέας, για την ακινητοποίηση των μικροφυκών με προσρόφηση μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων. Οι πόροι και οι επιφανειακές δομές των CMSP και K-CMSP χαρακτηρίστηκαν από XRD, FTIR, BET και SEM. Η επιφανειακή μορφολογία των ακινητοποιημένων μικροφυκών απεικονίστηκε χρησιμοποιώντας ανεστραμμένο οπτικό μικροσκόπιο και SEM. Διαπιστώθηκε, ότι τα μικροφύκη θα μπορούσαν να επιβιώσουν για 60 ημέρες και το ποσοστό απώλειας της χλωροφύλλης-*a* που διατηρήθηκε στους -24°C , ήταν το χαμηλότερο, 44,73%. Τα μικροφύκη θα μπορούσαν να αναβιώσουν σε φυσιολογικό επίπεδο ανάπτυξης εντός 10 ημερών και η περιεκτικότητα σε κύτταρα των φυκών ήταν η υψηλότερη στους 25°C , $2,8022 \times 10^6$ κελί/mL. Στους 25°C , ο υψηλότερος ρυθμός απομάκρυνσης των N και P λήφθηκε περίπου 95,0% και 88,63%, αντίστοιχα.



Εικόνα 16: Χρήση κονιορτοποιημένου κελύφους μυδιών (διαμόρφωση από © Jil, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1 Διερεύνηση της περιβαλλοντικής κατάστασης των Ελληνικών υδάτινων οικοσυστημάτων, παραδείγματα από τον Ελλαδικό χώρο

Ολοένα και περισσότερο στις ημέρες μας επικεντρώνεται το ενδιαφέρον, αλλά και η ανάγκη, για τη διερεύνηση της περιβαλλοντικής κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων στην ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου, συμπεριλαμβανόμενου και των μυδοκαλλιεργειών που συνυπάρχουν σε αυτά. Αναμφίβολα, οι επιπτώσεις της εντατικής μυδοκαλλιέργειας επιφέρουν μεταβολές τόσο στο τροφικό πλέγμα, όσο και στο υδάτινο οικοσύστημα. Επίσης, το 90% της Εγχώριας παραγωγής ζωντανών μυδιών καλλιεργείται στα νερά της Βόρειας Ελλάδας. Τα δεδομένα των θρεπτικών συστατικών της υδάτινης μάζας σε συνδυασμό με την δομή της μακροβενθικής κοινότητας του Κόλπου του Μαλιακού, του Δυτικού Αιγαίου, αντικατοπτρίζουν με σαφήνεια μια ευτροφική κατάσταση στο συγκεκριμένο υδάτινο οικοσύστημα (Ναουμίδου Ε., 2008).

Στην ευρύτερη περιοχή του Βορείου Αιγαίου σχετικά με την περιβαλλοντική κατάσταση του οικοσυστήματος πραγματοποιήθηκε μία προκαταρκτική έρευνα, ωστόσο χαρακτηρίζεται ως ελλιπής μιας και δεν περιλαμβάνει την περιβαλλοντική κατάσταση του βένθους και δεν δύναται να συγκριθούν με άλλες σχετικές προηγούμενες μελέτες σε παρόμοια υδάτινα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένου και της βιομηχανίας που συνυπάρχει σε αυτά (Moriki *et al.*, 2008). Αργότερα, άλλη μελέτη συμπλήρωσε τα ανωτέρω σχετικά κενά δίδοντας βασικές πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις των παράκτιων μυδοκαλλιεργειών του είδους *Mytilus galloprovincialis* (Neofitou *et al.*, 2013).

Στον κόλπο του Μαλιακού -στις περισσότερες περιπτώσεις-, η συγκέντρωση των θρεπτικών ουσιών και χλωροφύλλης-*a* στο χώρο της μυδοκαλλιέργειας ήταν χαμηλότερες από εκείνες που παρατηρούνται στις θέσεις παρατήρησης. Η στατιστική ανάλυση της συγκέντρωσης όλων των θρεπτικών συστατικών και της χλωροφύλλης-*a* ανέδειξε σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τόπων μυδοκαλλιέργειας και εποχών, οι οποίες σε όλες τις περιπτώσεις ήταν χρονικές. Επιπλέον, δεν βρέθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τοποθεσιών και εποχών για όλες τις παραμέτρους ιζήματος και βενθικής

κοινότητας, εκτός από το δείκτη ποικιλομορφίας Shannon - Wiener και τον πλούτο των ειδών (Neofitou *et al.*, 2013).

Οι σημαντικές αλληλεπιδράσεις που εντοπίστηκαν στα βιοτικά δεδομένα ήταν χρονικές. Η ανάλυση των ποσοστών ομοιότητας αποκάλυψε ορισμένη διακύμανση της βενθικής μακρομοριακής κοινότητας κατά τη διάρκεια του συνολικού έτους δειγματοληψίας, κυρίως λόγω χρονικών και όχι χωρικών επιδράσεων. Η ανάλυση συστάδων και η πολυδιάστατη γραφική παράσταση κλιμάκωσης έδειξαν το σαφή διαχωρισμό του χώρου εκμετάλλευσης και των θέσεων ελέγχου στις περισσότερες εποχές. Όλα τα παραπάνω δείχνουν, ότι πιθανώς η εκτροφή μυδιών ήταν ευεργετική για την τροφική κατάσταση του Μαλιακού κόλπου και ότι υπήρχε ελάχιστη περιβαλλοντική πίεση, που προκλήθηκε από την καλλιέργεια οστρακοειδών(μυδιών) στο γύρω βενθικό περιβάλλον (Neofitou *et al.*, 2013).

Σχεδόν στο σύνολο των περιπτώσεων που αναλύονται στη μελέτη των Neofitou *et al.*, (2013), οι συγκεντρώσεις των φυσικοχημικών στοιχείων διατηρούνταν σε χαμηλά επίπεδα κυρίως στις περιοχές των μυδοκαλλιεργειών συγκριτικά με τις περιοχές ελέγχου. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα των στατιστικών συσχετίσεων για το σύνολο των θρεπτικών στοιχείων έδειξαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις στα σημεία των δειγματοληψιών. Όλα αυτά τα ευρήματα που παραθέτονται είναι πολύ σημαντικά για τον Μαλιακό κόλπο του Δυτικού Αιγαίου, έναν κόλπο στον οποίο απορρίπτονται πολλά θρεπτικά συστατικά από το Σπερχειό και δημιουργούν ευτροφισμό υψηλότερο σε σχέση με εκείνους των ολιγότροφων υπεράκτιων συστημάτων του Αιγαίου. Οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών αυτού του κόλπου είναι αρκετές (Stergίου *et al.*, 1997). Οι δειγματοληψίες βρίσκονταν στο εσωτερικό τμήμα του Κόλπου του Μαλιακού, του Δυτικού Αιγαίου που δέχεται τις απορρίψεις του Σπερχειού (Εικόνα 17).

Εν τούτοις, οι ποσότητες της οργανικής ύλης δεν είχαν στατιστική διαφορά ανάμεσα στις περιοχές των μυδοκαλλιεργειών και περιοχής ελέγχου. Παρατηρείται ότι το φορτίο οργανικής ύλης του ποταμού Σπερχειού είναι αρκετά υψηλότερο σε σχέση με αυτό της περιοχής των μυδοκαλλιεργειών. Επομένως, μια μικρή πηγή οργανικής ύλης στην περιοχή των μυδοκαλλιεργειών μπορεί να περάσει απαρατήρητη (Neofitou *et al.*, 2013). Αναφέρεται πως η ελάχιστη, η μέγιστη και η μέση ποσότητα φυτοπλαγκτού

παρατηρήθηκε μειωμένη στις περιοχές μυδοκαλλιεργειών συγκριτικά με την περιοχή ελέγχου. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις άνθρακα καταγράφηκαν τους καλοκαιρινούς μήνες στο σύνολο των τοποθεσιών που μελετήθηκαν, αλλά η στατιστική ανάλυση δεν παρουσίαζε σημαντικές διαφορές όσον αφορά στην συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα.



Εικόνα 17: Αγωγός εργοστασίου χαρτοποιίας που πηγαίνει στον Σπερχειό και στο Μαλιακό (αριστερά) και το σημείο συνάντησης της γερμανικής τάφρου με τον υπερχειλιστή (ή μεσαία ανακουφιστική τάφρος) του Σπερχειού (δεξιά). Στη γερμανική τάφρο χύνονται τα λύματα του βιολογικού της Λαμίας μετά την επεξεργασία τους. © Νέλλη Ψαρρού.

Η συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα επικουρεί σε σημαντικό βαθμό στην υγεία της βενθικής κοινότητας, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως "δείκτης υγείας της βενθικής κοινότητας", που επίσης συσχετίζεται με την βενθική ποικιλομορφία (Kalantzi & Karakassis, 2006). Τα δεδομένα των ερευνητών Moriki *et al.* (2008) και Neofitou *et al.*, (2013) συμφωνούν, αλλά και αναφέρουν, ότι η διήθηση του νερού στις μυδοκαλλιεργείες συμβάλλουν στην μείωση της χλωροφύλλης-*a*. Τα μύδια, επομένως, θα μπορούσαν να αποδειχθούν χρήσιμα για τη μείωση του οργανικού φορτίου σε ευτροφικές υδάτινες στήλες, λόγω της υψηλής διηθητικής ικανότητας που διαθέτουν. Ακόμα και σε βραχυπρόθεσμες εισροές θρεπτικών συστατικών από ποτάμια σε παράκτια οικοσυστήματα μπορούν να προκληθούν τα γνωστά προβλήματα ανάπτυξης ανθίσεων φυτοπλαγκτού (Hama & Handa, 1994; Malej *et al.*, 1995; Shiah *et al.*, 1996).

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, σημαντικές είναι οι διαφοροποιήσεις που εντοπίστηκαν στις βιοτικές παραμέτρους δεδομένων, στις οποίες σημειώθηκε παροδικότητα στο σύνολο των περιπτώσεων. Ο μέσος όρος των παραμέτρων σχετικά με

τα δεδομένα των βενθικών πληθυσμών ήταν αρκετά πιο χαμηλός (της τάξης του 12%) για τις περιοχές των μυδοκαλλιεργειών, σε σχέση με αυτές των περιοχών ελέγχου.

Οι απορρίψεις των ιζημάτων του Σπερχειού ποταμού μπορούν να καθορίσουν τη σύνθεση των ειδών στα εσωτερικά ύδατα του κόλπου, αλλά οι επιπτώσεις των μυδοκαλλιεργειών μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές στην δομή της βενθικής κοινότητας (Akoumianaki & Nicolaidou, 2007). Κάποια από τα υδρόβια είδη, με χαρακτηριστική περίπτωση το μαλάκιο *Turritella communis*, τροφοδοτούνται με αιωρούμενη οργανική ύλη από τα ιζήματα. Οι αναλύσεις ANOSIM και SIMPER έδειξαν διακόμανση της βενθικής μακρομοριακής κοινότητας για το σύνολο των δειγματοληψιών για ένα έτος, για λόγους χρονικών και μη χωρικών αποτελεσμάτων (Simboura & Zenetos, 2002).

Στο Θερμαϊκό κόλπο έχουν εντοπισθεί τα τοξικά φύκη *Dinophysis acuminata* (HAB's), τα οποία χαρακτηρίζονται ως ένα παγκόσμιο πρόβλημα με οικολογικές και οικονομικές διαστάσεις. Τα αστικά λύματα, αλλά και οι ουσίες (π.χ. N) που μεταφέρονται με τα νερά των ποταμών, που εκβάλλουν στο Θερμαϊκό, διαταράσσουν την ισορροπία του περιβάλλοντος. Αυτό έχει αποτέλεσμα να πολλαπλασιάζονται τα φύκη που παράγουν τοξίνες, όπως είναι οι δινομαστιγωτές που έχουν εντοπισθεί στον κλειστό κόλπο του Θερμαϊκού (Pirini *et al.*, 2011). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάποια από τα τοξικά επιβλαβή είδη που μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της ερυθρής παλίρροιας στην Ελλάδα, όπως και για το είδος *Noctiluca scintillans* που εντείνεται στο κόλπο της Θεσσαλονίκης (Genitsaris *et al.*, 2019).

Στο Βορειοδυτικό Κόλπο Θεσσαλονίκης και σχετικά με τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών για ανάπτυξη μυδιών στα παράκτια νερά του, οι μετρήσεις των θρεπτικών ουσιών και χλωροφύλλης-*a* λαμβάνονταν σε μηνιαία βάση κατά μήκος μιας πειραματικής γραμμής μυδιών, που αναπτύσσονται σε εναιώρηση και στην ανοιχτή θάλασσα, έξω από την περιοχή της εντατικής καλλιέργειας μυδιών. Τα αποτελέσματα βασίζονται στον υπολογισμό της αναλογίας N: P, $f = \text{NO}_3\text{-N} / (\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{+N})$ αναλογία και μετρήσεις χλωροφύλλης-*a*. Ο λόγος N : P ήταν υψηλός καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, δείχνοντας περιορισμό φωσφορικών, ενώ ο λόγος *f* αποκάλυψε χαμηλές τιμές «νέου» αζώτου, που εισέρχονται στο σύστημα (είσοδος νιτρικού). Σύμφωνα με τις μετρήσεις της χλωροφύλλης-

α τα παράκτια ύδατα είναι περιστασιακά ολιγοτροφικά, ενώ τα κύτταρα φυτοπλαγκτού ήταν ως επί το πλείστον φυτοπλαγκτόν (<0,45 μm) μέσω της κλασμάτωσης του μεγέθους. Η παραγωγικότητα στην περιοχή μειώθηκε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν η επαναλαμβανόμενη κυκλοφορία των υδάτων στην ξηρά είναι δυσμενής για εξωτερικές πηγές θρεπτικών ουσιών, με αποτέλεσμα την περιορισμένη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών για ανάπτυξη φυτοπλαγκτού και συνεπώς, δημιουργώντας κίνδυνο μειωμένης παραγωγής μυδιών (Moriki *et al.*, 2019).

Περαιτέρω, έχουν μελετηθεί και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μυδοκαλλιεργειών και υδροδυναμικής μέσω μαθηματικής προσομοίωσης σε σύνολο δεδομένων πεδίου, όπως για παράδειγμα, οι καιρικές παράμετροι, όπου καταγράφηκαν ακραία βιολογικά γεγονότα που σχετίζονται με μυδοκαλλιέργειες. Αναμφίβολα, η εφαρμογή των συγκεκριμένων μαθηματικών μοντέλων συμβάλλει στην αποτελεσματικότητα της βιώσιμης διαχείρισης των μυδοκαλλιεργειών, σε σχέση με την υδροδυναμική και οικοϋδραυλική του υδάτινου οικοσυστήματος στις περιοχές εκμετάλλευσης των μυδοκαλλιεργειών. Για την περίπτωση των μυδοκαλλιεργειών της Χαλάστρας ΒΔ κόλπου Θεσσαλονίκης, αυτές παρουσίασαν ακόμη μικρότερη ροή ρευμάτων ($0-8/1.5 \text{ cm s}^{-1} \pm 0.011$ στη Χαλάστρα και $0-10/1.9 \text{ cm s}^{-1} \pm 0.015$ στη Λουδία). Αυτό το γεγονός αποδεικνύει ότι οι συγκεκριμένες μυδοκαλλιέργειες είναι πιο επιρρεπείς σε δυσμενή φαινόμενα (Galinou-Mitsoudi *et al.*, 2006). Περαιτέρω, η ποσότητα της διαθέσιμης τροφής στις μυδοκαλλιέργειες του ΒΔ κόλπου Θεσσαλονίκης εκφρασμένη ως χλωροφύλλη-*a*, επειδή είναι η χαμηλότερη από περιοχές με μυδοκαλλιέργειες στη Μεσόγειο, φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη των μυδιών. Τα μύδια της περιοχής Χαλάστρας διατηρούν με τάσεις μείωσης, την ήδη χαμηλή τους ποιότητα από το 2000 σε σχέση με την κατάστασή τους το 1996.

Το επιφανειακό στρώμα στο εσωτερικό του Θερμαϊκού χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό διαλυμένου οξυγόνου. Μετρήσεις τριών ετών (1997-1999) εντός του κόλπου έδειξαν, ότι το διαλυμένο οξυγόνο ήταν $2,6-7,6 \text{ ml l}^{-1}$ (Karageorgis, 2001). Σύμφωνα με Moriki *et al.*, (2007), οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στα ΝΔ του Θερμαϊκού κόλπου ήταν εξαιρετικά χαμηλές (από $1,8-6,2 \text{ ml O}_2/\text{l}$), κυρίως κοντά στον πυθμένα. Τα θρεπτικά άλατα στην περιοχή του κόλπου εμφανίζουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις, οι οποίες οφείλονται στις εισροές των ποταμών. Επίσης, παρουσιάζουν μεγάλες χρονικές

διακυμάνσεις, επειδή οι κυριότερες πηγές των νιτρικών και φωσφορικών είναι η γεωργία, με αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών συγκέντρωσης το καλοκαίρι λόγω αρδεύσεων, ενώ τον Νοέμβριο- Δεκέμβριο λόγω βροχοπτώσεων (ΕΚΘΕ, 2001). Οι τιμές των θρεπτικών στην Χαλάστρα είναι χαρακτηριστικές των παράκτιων περιοχών (αρκετά υψηλές) επειδή οι περιοχές αυτές επηρεάζονται από ανθρωπογενείς δράσεις και εισροές των ποταμών. Συγκριτικές μετρήσεις τη περίοδο 1995-1996 (Κράββα, 2000) με το 2000 έδειξαν, ότι τα νιτρικά και τα νιτρώδη κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα, ενώ οι μέγιστες τιμές φωσφορικών αυξήθηκαν κατά 100μg/l και των αμμωνιακών μειώθηκαν κατά 15 μg/l (ΕΚΘΕ, 2001). Τα νιτρικά άλατα αυξάνονται το Σεπτέμβριο, τον Οκτώβριο και το Νοέμβριο, που συμπίπτει με την άνθιση του φυτοπλαγκτού. Μειώνονται σταδιακά από το Μάρτιο προς Μάιο και διατηρούν χαμηλές τιμές το καλοκαίρι. Τα νιτρώδη διατηρούνται σταθερά και έχουν καταγραφεί υψηλές τιμές τον Οκτώβριο. Τα αμμωνιακά και πυριτικά εμφανίζουν σταδιακή αύξηση το Σεπτέμβριο. Τα φωσφορικά είναι γενικώς αυξημένα με μέγιστα τον Ιούνιο και το Φθινόπωρο. Επίσης, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζει την αύξηση των μυδιών αποτελεί η διαθεσιμότητα τροφής (φυτοπλαγκτόν-χλωροφύλλη-*a*), (Okumus, 2001). Σύμφωνα με το ΕΚΘΕ (2001), η ευρύτερη περιοχή των μυδοκαλλιεργειών την περίοδο του 2000 που πραγματοποιήθηκε η μελέτη τους, παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις φυτοπλακτικής βιομάζας και στηρίζει μεγάλη παραγωγή μυδιών ανά έτος. Η χλωροφύλλη-*a*, ως δείκτης της φυτοπλακτικής βιομάζας, διατηρούμενος σε επίπεδα γύρω στο 1 μg l⁻¹, μπορεί να υποστηρίξει ρυθμό αύξησης μυδιών >2 mm/μήνα (Stirling & Okumus, 1995).

Η πρώτη καταγραφή εμφάνισης άνθισης του είδους *Dinophysis* στην Ελλάδα ήταν το έτος 2000 στο Θερμαϊκό κόλπο, το οποίο προκάλεσε Διαρροϊκό Σύνδρομο (DSP) στους ανθρώπους (200 άτομα νοσηλεύθηκαν), με παράλληλες απώλειες παραγωγής στη καλλιέργεια οστράκων, αξίας περίπου 5 εκατομμυρίων ευρώ. Είδη με μορφολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα παρόμοια με το *D. acuminata* είχαν επικρατήσει σ' αυτήν την άνθιση. Η μεγαλύτερη αφθονία του *D. acuminata* (85,4×10³ κύτταρα l⁻¹) εμφανίστηκε το Φεβρουάριο του 2000. Το 2001, υψηλοί αριθμοί του *D. acuminata* (5×10³ κύτταρα l⁻¹) καταγράφηκαν τον Απρίλιο σε χαμηλά επίπεδα θερμοκρασίας (13-16°C), ενώ το 2002, ο μέγιστος αριθμός (37×10³ κύτταρα l⁻¹) των ίδιων ειδών βρέθηκε το Φεβρουάριο στους 11,5-

12,5°C). Όλες οι ανθίσεις του *Dinophysis* παρέμειναν περίπου για 4 μήνες, ενώ θεωρείται ότι η θερμοκρασία του νερού είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την αφθονία του *Dinophysis* (Koukaras & Nikolaidis, 2004).

Η καλλιέργεια δίθυρων μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα ροής των ρευμάτων με συγκεκριμένες κατευθύνσεις του νερού και έτσι, όταν προκαλούνται έντονα καιρικά φαινόμενα μεταβάλλονται τα πρότυπα της διάβρωσης και της καθίζησης των στερεών σωματιδίων, καθώς και η ποσότητα της διαθέσιμης τροφής για τη σίτιση των καλλιεργούμενων υδρόβιων οργανισμών (FAO, 2015b). Μάλιστα, τα καιρικά φαινόμενα, προκαλούν μειωμένη ροή των ρευμάτων, επομένως μπορούν να προκληθούν ανάλογα προβλήματα στην παραγωγική διαδικασία και διαχείριση των μυδοκαλλιεργειών, καθώς επίσης και μεταβολές στους πληθυσμούς των βενθικών κοινοτήτων. Επομένως, η κατανομή της επάρκειας της τροφής μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στη μείωση της συγκομιδής δίθυρων (Carrington, 2002).

Περαιτέρω, με την αύξηση των συγκεκριμένων τριβών προκαλείται επιβράδυνση της τρέχουσα ροής του ρευστού (NCMR, 2001) και οι τιμές του συντελεστή διασποράς της περιοχής των μυδοκαλλιεργειών εκτιμάται 100 φορές υψηλότερος σε σχέση με αυτές των περιοχών εκτός των μυδοκαλλιεργειών (Neofitou *et al.*, 2013). Επίσης, η τρέχουσα ροή ήταν ανάλογη της έντασης των καιρικών συνθηκών, ιδιαίτερα για τον παράγοντα του ανέμου, και στις περιοχές εκμετάλλευσης των μυδοκαλλιεργειών σημειώθηκε ακόμα μεγαλύτερη μείωση του ρέοντος νερού. Οι τιμές των μυδοκαλλιεργειών, χαρακτηρίζονται ως πολύ χαμηλές ($>5 \text{ cm s}^{-1}$), τιμές με ή χωρίς την παρουσία των μυδοκαλλιεργειών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διασπορά των βρώσιμων θρεπτικών συστατικών από το χώρο εκμετάλλευσης των μυδοκαλλιεργειών στα εσωτερικά ύδατα (Inglis *et al.*, 2003).

Πέρα από τις επιβλαβείς επιπτώσεις που προκαλούνται στην παραγωγική διαδικασία των μυδιών (πάχυνση), ο συνδυασμός των δυσμενών συνθηκών με τις μυδοκαλλιέργειες δημιουργούν έμμεσα προβλήματα στη μεταφορά του θρεπτικού φορτίου, εκτός των ορίων εκμετάλλευσης των μυδοκαλλιεργειών προς άλλες κατευθύνσεις. Ο όγκος των θρεπτικών συστατικών, η απόσταση που διανύουν μέσω των ρευμάτων, καθώς και οι συνθήκες που επικρατούν στο σημείο που θα οδηγηθούν, θα μεταβάλλουν τη φυσιολογική ή μη ανάπτυξη των γειτονικών οργανισμών (Moriki *et al.*,

2008). Δευτερευόντως, οι κυριότερες φυσικοχημικές παράμετροι που συνδέονται με το φαινόμενο του ευτροφισμού (η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών, η ελάττωση ή εξάντληση του διαθέσιμου οξυγόνου, τα βρώσιμα αιωρούμενα στερεά σωματίδια, η αφθονία του φυτοπλαγκτού, η συσχέτιση μεταξύ των μετρήσιμων παραμέτρων κατά τη διάρκεια ενός παραγωγικού κύκλου), είναι στοιχεία, που η συγκεκριμένη μελέτη έχει αναδείξει και μπορεί να προκαλέσει ανάλογο έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση.

5.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Το 2010 ψηφίστηκε από το Ευρωκοινοβούλιο η Οδηγία Πλαίσιο για τη Θάλασσα Στρατηγική (Marine Strategy Framework Directive 2010/477/EU, MSFD), η οποία έχει ενσωματωθεί στο Ελληνικό Δίκαιο (ΦΕΚ 2929/1-11-2012). Στο πλαίσιο της MSFD εξετάζονται όχι μόνο (όπως στην WFD) τα παράκτια και μεταβατικά νερά, αλλά και οι ανοικτές θάλασσες. Σε αυτή την Οδηγία ορίζονται 11 παράμετροι Ποιοτικής Περιγραφής (Descriptors), εκ των οποίων η παράμετρος Ποιοτικής Περιγραφής 05 αφορά τον ευτροφισμό. Εκεί ορίζεται, ότι για την επίτευξη καλής οικολογικής κατάστασης «ο ανθρωπογενής ευτροφισμός ελαχιστοποιείται, και ιδίως οι δυσμενείς επιπτώσεις του, όπως απώλειες της βιοποικιλότητας, υποβάθμιση του οικοσυστήματος, η έξαρση επιβλαβούς φυτοπλαγκτού και η έλλειψη οξυγόνου στον βυθό των θαλασσών». Σύμφωνα και με την εν λόγω οδηγία, τίθενται οι περιβαλλοντικοί στόχοι και δείκτες σε σχέση με τον ευτροφισμό, ως ακολούθως:

- Περιβαλλοντικοί στόχοι: (i) μείωση του εισερχόμενου στο θαλάσσιο περιβάλλον οργανικού φορτίου και θρεπτικών συστατικών από σημειακές και μη σημειακές πηγές, (ii) μείωση της νιτρορυπάνσης από γεωργικές δραστηριότητες προκειμένου να περιοριστούν τα φορτία θρεπτικών συστατικών, που καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες.
- Περιβαλλοντικοί δείκτες:
 - (i) συγκέντρωση χλωροφύλλης,
 - (ii) παρουσία επιβλαβών ειδών φυκών και
 - (iii) συγκέντρωση, παρουσία μακροφυκών.

Επίσης, τίθενται τα κάτωθι τρία κριτήρια, για την εκτίμηση του ευτροφισμού:

- *Κριτήριο 1*, Επίπεδα συγκεντρώσεων θρεπτικών: συγκεντρώσεις θρεπτικών στη στήλη του νερού, αναλογίες θρεπτικών (Si, N, P), ανά περίπτωση.
- *Κριτήριο 2*, άμεσες συνέπειες του εμπλουτισμού σε θρεπτικά: συγκεντρώσεις χλωροφύλλης στη στήλη του νερού, διαφάνεια του νερού σχετιζόμενη με τη αύξηση των αιωρούμενων φυκών (ανάλογα με την περίπτωση), αφθονία των ευκαιριακών μακροφυκών, αλλαγή στη σύνθεση της χλωρίδας (π.χ. ο λόγος διατόμων προς μαστιγωτά ή βενθικά προς πελαγικά) και επεισόδια ανθήσεων (Harmful algal blooms) επιβλαβών/τοξικών φυκών (λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων).
- *Κριτήριο 3*, έμμεσες συνέπειες του εμπλουτισμού σε θρεπτικά: αρνητικές επιπτώσεις στην αφθονία της πολυετούς θαλάσσιας βλάστησης (π.χ. φύκη Fucaceae, θαλάσσιο αγγειόσπερμα *Zostera* ή *Posidonia*) λόγω μειωμένης διαφάνειας του νερού, διαλυμένο οξυγόνο και οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις του λόγω αυξημένης αποσύνθεσης οργανικής ύλης και επιφάνεια της περιοχής που αφορά.

5.3 Ελληνική Νομοθεσία

Η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει την επιτυχή διατήρηση μιας καλής περιβαλλοντικής κατάστασης και τον περιορισμό των φαινομένων ευτροφισμού, ενώ η λύση των ελεγχόμενων καλλιεργειών πρέπει να συνδυάζεται και με τα ακόλουθα (ΦΕΚ 182/29-08-2014):

- Να μειωθούν οι θρεπτικές ουσίες, που εισέρχονται στη θάλασσα από τα ποτάμια.
- Να λειτουργεί ορθά το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων, για τον περιορισμό των θρεπτικών στοιχείων στις παράκτιες περιοχές με τις εκροές των αποβλήτων.
- Να περιοριστεί η χρήση του λιπάσματος στις αγροτικές εργασίες για να περιοριστεί το φορτίο θρεπτικών στοιχείων, που προέρχονται από τα κεκλιμένα εδάφη.
- Να μελετηθεί ο κύκλος του αζώτου και του φωσφόρου, ώστε να περιγραφεί η χρονική σύνδεση με την αφθονία στα είδη που υπάρχουν στο θαλάσσιο περιβάλλον, δίνοντας έμφαση σε παράκτιες ζώνες που έχουν επιβαρυνθεί.

Παράδειγμα μη επιτυχημένης πρακτικής θα μπορούσε να χαρακτηριστεί οποιαδήποτε λήψη απόψεων δίχως την εφαρμογή μέτρων αντιμετώπισης της διασποράς των λυμάτων, χωρίς την εφαρμογή των προβλεπόμενων νομοθετικά και επιστημονικά μέτρων αποκατάστασης του περιβάλλοντος. Επιπλέον, οποιαδήποτε χρήση μη ελεγχόμενης μυδοκαλλιέργειας ή χρήση μη ελεγχόμενου πολυτροφικού συστήματος (ΙΜΤΑ), χωρίς επιστημονική τεκμηρίωση βάσει σχετικής μελέτης που θα περιλαμβάνει στο σύνολο όλους αυτούς τους παράγοντες που αναφέρθηκαν σε αυτή την ενότητα, αποτελεί ενέργεια προς την ίδια αρνητική κατεύθυνση.

Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα

Οι ανθρωπογενείς πηγές μόλυνσης, όπως απορρίψεις μη επεξεργασμένων βιομηχανικών και οικιακών λυμάτων, προκαλούν ανισορροπία στο υδάτινο περιβάλλον, που προκύπτει από την υπερβολική παροχή θρεπτικών ουσιών κυρίως αζώτου (N) και φωσφόρου (P). Αποτέλεσμα της ρύπανσης, είναι τα φαινόμενα ευτροφισμού και της ερυθράς παλίρροιας. Επηρεάζονται τόσο τα ποτάμια, οι λίμνες, αλλά και τα παράκτια ύδατα. Περαιτέρω, τις τελευταίες δεκαετίες, σε πολλές χώρες όλου του κόσμου βιώνουν την εμπειρία κλιμακούμενων και με ανησυχητικές τάσεις περιβαλλοντολογικών προβλημάτων, τα οποία σχετίζονται με ανθίσεις επιβλαβών και τοξικών φυτοπλαγκτονικών (π.χ. *Dynophysis*) ειδών. Μερικά από αυτά τα επιβλαβή είδη σχηματίζουν εκτεταμένες γλοιώδεις μάζες κατά μήκος των ακτών.

Οι πλέον ευτροφικές παράκτιες περιοχές εμφανίζονται στις βόρειες ακτές της Μεσογείου (π.χ. Αδριατική), τη Βαλτική θάλασσα, ενώ είναι χαμηλό το ποσοστό των Ελληνικών θαλασσών με ευτροφικά φαινόμενα. Το θαλάσσιο περιβάλλον της Ελλάδας παρουσιάζεται γενικά oligοτροφικό και η ελληνική παραγωγή υποβαθμίζεται ποιοτικά, ποσοτικά και οικονομικά ενώ το θαλάσσιο περιβάλλον της καλλιέργειας παρουσιάζεται με σαφή σημεία υποβάθμισης (Κράββα, 2000; ΕΚΘΕ, 2001; Μωρική, 2007; Γαληνού-Μητσούδη *et al.*, 2013; Τσιάρας & Γαληνού - Μητσούδη, 2013).

Τα προβλήματα του ευτροφισμού και των ερυθρών παλίρροιών, μπορούν-ως ένα βαθμό- να αποφευχθούν από την ελεγχόμενη μυδοκαλλιέργεια. Αυτή θα επικουρεί στη μείωση του ευτροφισμού, για τον καθαρισμό των υδάτων στις παράκτιες περιοχές με τα εντοπισμένα φαινόμενα. Τα μύδια μέσω της διατροφής τους, αφομοιώνουν ή και συσσωρεύουν ουσίες που βρίσκονται στο περιβάλλον τους. Σημαντικές παράμετροι για τη διαφορετική απόκριση των παράκτιων οικοσυστημάτων (π.χ. μυδοκαλλιέργειας) στις δράσεις μείωσης των φορτίων θρεπτικών ουσιών αποτελεί η τεράστια ποικιλομορφία στις εκβολές και στις ακτές, στα γεωμορφολογικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά, καθώς και ο βαθμός και ο τύπος της ανθρωπογενούς διαταραχής (McLusky και Elliot 2004), αλλά και η ποιότητα νερού, η θερμοκρασία, η θολότητα, τα θρεπτικά συστατικά και τη χλωροφύλλη-*a*. Αυτές οι διαφοροποιήσεις είναι υπεύθυνες για την υψηλή μεταβλητότητα μεταξύ των παράκτιων συστημάτων και φυσικά στον τρόπο με τον οποίο πιθανοί μηχανισμοί φιλτραρίσματος (μύδια) επηρεάζουν τη δυναμική της συγκέντρωσης-

πρόληψης θρεπτικών στοιχείων N και P. Ο πιο σωστός τρόπος για τη διαφύλαξη της υγιεινής των μυδιών είναι η αποφυγή της μόλυνσης στην πηγή, δηλαδή η παραγωγή να γίνεται σε νερά καθαρά. Επίσης το είδος-ποικιλία του μυδιού διαφοροποιεί την ποιότητα φιλτραρίσματος και το ποσοστό (%) απομάκρυνσης των θρεπτικών ουσιών N και P από την υδάτινη στήλη.

Στις περιοχές μυδοκαλλιέργειας οι εγκαταστάσεις ποικίλλουν ως προς τη θέση, το μέγεθος και την απόσταση των μονάδων μεταξύ τους, το μήκος και την απόσταση των πλωτών γραμμών μεταξύ τους και μεταξύ των αρμαθιών, στοιχεία που είναι πολύ σημαντικά για την ποιότητα και ποσότητα της παραγωγής αλλά και την ποιότητα του περιβάλλοντος των μυδοκαλλιεργειών στην υδάτινη στήλη και το βυθό (Μωρίκη, 2007). Η κύρια επίπτωση από τη χρήση των πλωτών μεθόδων μυδοκαλλιέργειας είναι η καθίζηση σωματιδιακών υλικών, που προκύπτουν από το φιλτράρισμα των θρεπτικών στοιχείων και τις απεκκρίσεις (κόπρανα) των εκτρεφόμενων οργανισμών. Η υδρανάπαυση στις περιπτώσεις αυτές, βοηθάει στην αποκατάσταση των συνθηκών αποικοδόμησης του οργανικού υλικού, μέσω της τροφικής αλυσίδας και την κατά περίπτωση επαναφορά των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υδάτινου οικοσυστήματος. Επομένως, η χρήση των μυδιών ως φυσικά φίλτρα της υδάτινης στήλης, δυνητικά, αποτελεί αρωγό στη μείωση της ρύπανσης των υδάτων, αλλά δεν μπορεί να θεωρηθεί ένα μέτρο πρόληψης με σταθερά κριτήρια (Καραμανλής, 2018).

Υπό ιδανικές θερμοκρασιακές συνθήκες, τα δίθυρα έχουν την τάση να φιλτράρουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ουσιών. Σε μη ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες όμως, συμπεριλαμβανομένων των χαμηλών ή πολύ υψηλών συγκεντρώσεων φυκών, ο ρυθμός διήθησης μειώνεται. Η ανώτερη συγκέντρωση φυκών (*Rhodomonas salina*) στην οποία το μπλε μύδι (*Mytilus edulis*) παρουσιάζει τη μέγιστη ικανότητα διήθησης επί παρατεταμένο χρονικό διάστημα, ταυτοποιήθηκε μέσω βαθμιδωτής αύξησης της συγκέντρωσης φυκών, υπό σταθερές συνθήκες. Η χρονική διάρκεια πριν από την αρχόμενη μείωση κορεσμού μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης φυκών, και η μείωση της δραστηριότητας κορεσμού διήθησης βρέθηκε 5000 - 8000 κύτταρα mL⁻¹, που αντιστοιχεί σε 6,3-10,0 μg CHL/L. Η παραγωγή ψευδοκοπράνων αποκάλυψε, ότι η συγκέντρωση ενεργοποίησης για το σχηματισμό των ψευδοκοπράνων ήταν περίπου 12.000 κύτταρα mL⁻¹. Τα

ψευδοκόπρανα που παράγονται από κορεσμένα μύδια αποτελούνταν από στενά συσκευασμένα αχώνευτα κύτταρα φυκών, υποδεικνύοντας σοβαρή υπερφόρτωση του πεπτικού συστήματος, που προκαλείται από της υψηλές συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτού που τα μύδια δεν είναι προσαρμοσμένα, για να το αντιμετωπίσουν (Riisgård, 2011).

Σχετικά με τη χρήση των μυδιών, επισημαίνεται (Schernewski *et al.*, 2019):

- 1) Οι εφαρμογές με περιορισμένο χρόνο και πόρους θα πρέπει κατά προτίμηση να επικεντρώνονται σε τοπικό επίπεδο.
- 2) Οι τοπικές αιτήσεις θα πρέπει να διεξάγονται σε σύντομο χρονικό διάστημα, ιδανικά 1-2 χρόνια, για να προσελκύνονται οι ενδιαφερόμενοι, να διατηρείται η ομάδα σταθερή και να είναι σε θέση να σχεδιάζει βήματα για πιθανή εφαρμογή.
- 3) Η παροχή συγκεκριμένων και ρεαλιστικών εναλλακτικών σεναρίων και η παροχή οικολογικών και οικονομικών εκτιμήσεων για κάθε σενάριο επιτρέπει μια ταχύτερη και πιο συγκεκριμένη διαδικασία συμμετοχής των ενδιαφερομένων και με τη σειρά της μια ταχύτερη εφαρμογή SAF.
- 4) Πρέπει να δοθεί μια συγκεκριμένη πορεία εφαρμογής και ένα στοχευμένο πρόγραμμα χρηματοδότησης (Schernewski, *et al.*, 2019).

Η αποτελεσματικότητα του μυδιού -ως φυσικό φίλτρο θαλάσσιου ύδατος- είναι πράγματι πολυπαραγοντική και μη μοντελοποιήσιμη, λόγω αστάθμητων παραμέτρων που λέχθηκαν παραπάνω. Απαιτείται σημαντική εμπειρία καλλιέργειας για τον περιορισμό των κινδύνων απώλειας βιομάζας μυδιών, λόγω προβλημάτων σχετικά με την εγκατάσταση και τη συντήρηση της μυδοκαλλιέργειας. Είναι σημαντικό οι διαχειριστές εκμεταλλεύσεων μετριασμού να είναι γνώστες και έμπειροι. Παράλληλα πρέπει να γίνουν προσαρμογές και στη συλλογή όλου του οργανικού υλικού.

Καθίσταται σαφές, ότι για τη διατήρηση ή επίτευξη της καλής περιβαλλοντικής κατάστασης και τον περιορισμό εμφάνισης ευτροφικών επεισοδίων απαιτείται:

- η μείωση των εισερχόμενων στο θαλάσσιο περιβάλλον θρεπτικών συστατικών μέσω των ποτάμιων συστημάτων,

- η καθολική και ορθή λειτουργία των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων, για να περιοριστεί ο εμπλουτισμός σε θρεπτικά συστατικά των παράκτιων περιοχών από τις εκροές αποβλήτων,
- ο περιορισμός της χρήσης λιπασμάτων στις γεωργικές δραστηριότητες προκειμένου να περιοριστούν τα φορτία θρεπτικών συστατικών, που προέρχονται από την απόπλυση εδαφών,
- η μελέτη των κύκλων αζώτου-φωσφόρου και η περιγραφή της χλωριδικής σύνθεσης και αφθονίας των ειδών στο θαλάσσιο περιβάλλον, με έμφαση στις επιβαρυμένες παράκτιες περιοχές. Προφανώς, οι ιδιαίτερα επιβαρυμένες περιοχές αποτελούν προτεραιότητα στην εφαρμογή των μέτρων.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι παράκτιες και θαλάσσιες πολιτικές στοχεύουν όλο και περισσότερο στην προστασία του περιβάλλοντος και ο ευτροφισμός είναι μια παγκόσμια πρόκληση, ιδιαίτερα που πλήττει τα παράκτια θαλάσσια υδατικά συστήματα. Σε αυτό το πλαίσιο, η υδατοκαλλιέργεια μετριασμού μυδιών θεωρείται σήμερα ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την εξαγωγή θρεπτικών ουσιών από τέτοια υδατικά συστήματα. Η συνεχής πειραματική έρευνα και η συνεργασία με αντίστοιχους φορείς από άλλες ευρωπαϊκές χώρες μπορεί να αποτελέσει επίσης ένα ακόμα θετικό βήμα προς τη βελτίωση των μυδοκαλλιεργειών και την πρόβλεψη -όσο είναι δυνατόν- των αρνητικών φαινομένων.

Η μυδοκαλλιέργεια μέσα από ενδεδειγμένες μελέτες και οικονομικές αναλύσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί μιας και δυνητικά συντελεί στην καθαρότητα του νερού και δρα ανασταλτικά στην εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού και της ερυθράς παλίρροιας, με την προϋπόθεση, να υπόκεινται σε συνεχή και αυστηρό έλεγχο αλλά και να υλοποιούνται στοχευμένα και με περιορισμένο χρονικό ορίζοντα. Με οργανωμένα σχέδια υλοποίησης και συνεχούς επίβλεψης, δυνητικά υιοθετούν και εμπράκτως στοιχειοθετούν την ανάπτυξη αφενός της μυδοκαλλιέργειας αφετέρου δε, ελαχιστοποιούν εντοπιζόμενα -τοπικά- φαινόμενα του ευτροφισμού και ερυθράς παλίρροιας. Φαίνεται, λοιπόν, ότι με την εφαρμογή των ελεγχόμενων μυδοκαλλιεργειών, δυνητικά μπορεί να μετριαστεί το φαινόμενο του ευτροφισμού και οι συνέπειες του τόσο στην Ελλάδα και στη

Μεσόγειο, όσο και σε όλες τις παράκτιες περιοχές όπου παρατηρείται το φαινόμενο της ερυθράς παλίρροιας μόνο υπό προϋποθέσεις και κατά περίπτωση.

Κεφάλαιο 7ο: Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία:

- Akoumianaki I. & Nicolaidou A., (2007).** Spatial variability and dynamics of macrobenthos in a Mediterranean delta front area: the role of physical processes, *Journal of Sea Research*. 57 (2007) 47–64. doi:10.1016/j.seares.2006.07.003.
- Anderson M.D., Glibert P.M. & Burkholder J.M., (2002).** Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Nutrient Sources, Composition, and Consequences, *Estuaries Vol. 25*, No. 4b, p. 704–726 www.whoi.edu/cms/files/Anderson_et_al_2002_Estuaries_29903.pdf
- Andres J.K., Yñiguez A.T., Maister J.M., Turner A.D., Olano D.E.B., Mendoza J., Salvador-Reyes L., Azanza R.V., (2019).** Paralytic Shellfish Toxin Uptake, Assimilation, Depuration, and Transformation in the Southeast Asian Green-Lipped Mussel (*Perna viridis*). *Toxins*, 11 (8), page 468. doi: 10.3390/toxins11080468.
- Androulidakis Y., Kolovoyiannis V., Makris C., Krestenitis Y., Baltikas V., Stefanidou N., Chatziantoniou A., Topouzelis K., Moustaka-Gouni Maria., (2021).** Effects of ocean circulation on the eutrophication of a Mediterranean gulf with river inlets: The Northern Thermaikos Gulf, *Continental Shelf Research*, Volume 221, 104416. doi.org/10.1016/j.csr.2021.104416
- Araújo J., Soares F., Medeiros A., Bandarra N.M., Freire M., Falcão M. & Pousão-Ferreira P., (2020).** Depth effect on growth and fatty acid profile of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) produced on a longline off south Portugal, *Aquaculture International* volume 28, pages 927–946. doi.org/10.1007/s10499-019-00504-0
- Asmus R. M., Sprung M. & Asmus H., (2000).** Nutrient fluxes in intertidal communities of a South European lagoon (Ria Formosa) – similarities and differences with a northern Wadden Sea bay (Sylt-Rømø Bay). *Hydrobiologia* 436, 217–235. doi.org/10.1023/A:1026542621512
- Avramidis P., Bekiari V., Christodoulou D.G., Papatheodorou G., (2015).** Sedimentology and water column stratification in a permanent anoxic Mediterranean lagoon environment, Aetoliko Lagoon, western Greece. *Environ Earth Sci* 73, 5687–5701. doi.org/10.1007/s12665-014-3824-2
- Backer H., Leppänen J.-M., Brusendorff, A.C., Forsius K., Stankiewicz M., Mehtonen J., Pyhälä M., Laamanen M., Paulomäki H., Vlasov N., Haaranen T., (2010).** HELCOM Baltic Sea Action Plan – A regional programme of measures for the marine environment based on the Ecosystem Approach. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 642–649. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.11.01
- Bardach J.E., Ryther J.H. & McLamey W.O., (1972).** *Aquaculture. The farming and husbandry of freshwater and marine organisms.* Science Editions, John Wiley & Sons. New York-Chichester-Bisbane-Toronto.
- Bayne B.L. & Hawkins A.J.S., (1990).** Filter feeding in bivalve mollusks: controls on energy balance. In: J. Mellinger (eds). *Animal nutrition and transport processes*, Vol 1. Nutrition in wild and domestic animals. Karger Basel, pp. 70-83.
- Bendell-Young L.I. & Arifin Z., (2004).** Application of a kinetic model to demonstrate how selective feeding could alter the amount of cadmium accumulated by the blue mussel (*Mytilus trossulus*), *Journal of experimental Marine Biology and Ecology* 298: 21-33
- Bernard G., Boudouresque Ch.F., Picon Ph., (2007).** Long term changes in *Zostera* meadows in the Berre lagoon (Provence, Mediterranean Sea), *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73, 617-629
- Boesch D. F., (2019).** Barriers and Bridges in Abating Coastal Eutrophication, *Front.Mar.Sci.* 6, 123. doi.org/10.3389/fmars.2019.0012
- Borja A., Elliott M., Andersen J.H., Cardoso A.C., Carstensen J., Ferreira J.G., Heiskanen A.-S., Marques J.C., Neto J.M., Teixeira H., Uusitalo L., Uyarra M.C., Zampoukas N., (2013).** Good Environmental Status

- of marine ecosystems: What is it and how do we know when we have attained it? *Mar. Pollut. Bull.* 76, 16–27. doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2013.08.042.
- Bricker S.B., Suzanne B., Ferreira J.G., Zhu C. B., Rose J., Galimany E., Wikfors G., Saurel C., Landeck Miller R., Wands J., Trowbridge P., Grizzle R., Wellman K., Rheault R., Steinberg J.A., Davenport E., Ayvazian S., Chintala M., Tedesco M., (2017).** The role of shellfish aquaculture in reduction of eutrophication in an urban estuary. *Environmental Science & Technology*. DOI: 10.1021/acs.est.7b03970.
- Bricker S.B., Ferreira J.G., Simas T., (2003).** An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecol. Model.* 169,39–60. doi.org/10.1016/ S0304-3800(03)00199-6.
- Bricker S.B., Rice K.C., Bricker O.P., (2014).** From Headwaters to Coast: Influence of Human Activities on Water Quality of the Potomac River Estuary. *Aquat. Geochem.* 20, 291–323. doi.org/10.1007/s10498-014-9226-y
- Burkhard W.S., (1998).** Eutrophication history of Lake Arendsee (Germany). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Volume 140, Issues 1–4, Pages 85–96. doi:10.1016/s0031-0182(98)00033-9.
- Camacho A.P., Labarta U., Beiras R., (1995).** Growth of mussels (*Mytilus edulis galloprovincialis*) on cultivation rafts: influence of seed source, cultivation site and phytoplankton availability, *Aquaculture*, Volume 138, Issues 1–4, 1995, Pages 349–362, ISSN0044-8486, Doi.org/10.1016/0044-8486(95)01139-0
- Carlsson M.S., Holmer M., Petersen J.K., (2009).** Seasonal and spatial variations of benthic impacts of mussel longline farming in a eutrophic danish fjord, Limfjorden J. *Shellfish Res.*, 28 ,pp. 791–801
- Carlsson M., Engström P., Lindahl O., Ljungqvist L., Petersen J., Svanberg L., Holmer, M., (2012).** Effects of mussel farms on the benthic nitrogen cycle on the Swedish west coast. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 177–191. doi.org/10.3354/aei00039
- Carrington E., (2002).** The Ecomechanics of Mussel Attachment: From Molecules to Ecosystems. *Integrative and Comparative Biology*, Volume 42, Issue 4, August 2002, Pages 846–852. doi10.1093/icb/42.4.846.
- Chopin T., Buschmann A.H., Halling C., Troell M., Kautsky N., Neori A., Kraemer G.P., Zertuche-González J.A., Yarish C., Neefus C., (2001).** Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. *Journal of Phycology* 37: 975–986. doi:10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x.
- Christensen P.B., Glud R.N., Dalsgaard T., Gillespie P., (2003).** Impacts of longline mussel farming on oxygen and nitrogen dynamics and biological communities of coastal sediments. *Aquaculture* 218, 567–588. doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00587-2.
- Cranford P.J., Strain P.M., Dowd M., Hargrave B.T., Grant J., Archambault M.C., (2007).** Influence of mussel aquaculture on nitrogen dynamics in a nutrient enriched coastal embayment. *Marine Ecology Progress Series* 347, 61–78. doi.org/10.3354/meps06997.
- Cranford P.J., Reid G.K., Robinson S.M.C., (2013).** Open water integrated multi-trophic aquaculture: constraints on the effectiveness of mussels as an organic extractive component. *Inter-Research Science Publisher*. AEI 4:163-173. DOI: https://doi.org/10.3354/aei00081.
- Cranford P.J., (2019).** Magnitude and Extent of Water Clarification Services Provided by Bivalve Suspension Feeding, in: Smaal A.C., Ferreira J.G., Grant J., Petersen J.K., Strand, Ø. (Eds.), Goods and Services of Marine Bivalves. *Springer International Publishing*, Cham, pp. 119–141. doi.org/10.1007/978-3-319- 96776-9_8
- Daeschlein G., Fenske C., Scholz S. , Dahlke S. , Jünger A., Kramer M., (2015).** Filtration effects of zebra mussels on pathogens and total bacterial burden in the Odra Lagoon (South Baltic), *IWA Publishing*.
- Dahlbäck B. & Gunnarsson L.A.H., (1981).** Sedimentation and sulfate reduction under a mussel culture. *Marine Biology*. 63 (3), Page 269–275. doi:10.1007/bf00395996.
- Dassenakis M., Krasakopoulou E. & Matzara B., (1994).** Chemical characteristics of Aetoliko lagoon, Greece, after an Ecological Shock. *Marine Pollution Bulletin*, 28 (7): 427–433

- Diaz R.J., Rosenberg R., (2008).** Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems, *Science*, 321 pp. 926-929. doi.org/10.1126/science.1156401
- Dolch T., Schernewski G., (2003).** Hat Wasserqualität eine Bedeutung für Touristen? Eine Studie am Beispiel des Oderästuars. *Berichte Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Universität Kiel* 28:197-205
- Duarte C.M., Krause-Jensen D., (2018).** Intervention Options to Accelerate Ecosystem Recovery From Coastal Eutrophication. *Front.Mar.Sci.* 5,470. doi.org/ 10.3389/fmars.2018.00470
- Duarte N. R., Duart Della Permata., Da Silva M. M., Dores T. M. P., Alves M. C. N., Fernandes F. A. B., Dos Santos M.P., Chicharo L., (2019).** Ria Formosa Hydrodynamics and the Best Location for Shellfish, *INCREASE*, pp. 701-717 DOI: 10.1007/978-3-030-30938-1_54
- Dugenne M., Thyssen M., Garcia N., Mayot N., Bernard G., Grégori G., (2015).** Monitoring of a Potential Harmful Algal Species in the Berre Lagoon by Automated *In Situ* Flow Cytometry, *Marine Productivity: Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems*, pp 117-127
- El-Shenawy N.S., Greenwood R., Nabil Z.I., Hanna R.A., (2001).** Valve movement behaviour and byssal formation of the mussel, *Mytilus edulis* in relation to environmental toxins. *Environmental Earth Sciences* 9, *Egyptian Journal of Biology* 3: 63-71.
- Falcao M., Vale C., (1990).** Nutrient Variability in a Shallow Coastal Lagoon (Ria Formosa, Portugal), *Coastal and Estuarine Studies, Estuarine Water Quality Management*, pp. 321-326
- Fennel K. & Testa J.M., (2019).** Biogeochemical controls on coastal hypoxia, *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 11 pp. 105-130, 10.1146/annurev-marine-010318-095138
- Fenske C., (2003).** Die Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*) in Oderhaff und ihre Bedeutung für das Küstenzonenmanagement. - Dissertation an der Universität Greifswald. http://spicosa-inline.databases.euccd.de/files/documents/00000098_Fenske_DieWandermuschelimOderhaff.pdf. Accessed 3 Sept 2018
- Fenske C., (2005).** Renaturierung von Gewässern mit Hilfe der Wandermuschel *Dreissena polymorpha* (Pallas 1771). *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 14:55-68.
- Ferreira J.G., Andersen J.H., Borja A., Bricker S.B., Camp J., Cardoso da Silva, M., Garces, E., Heiskanen A.-S., Humborg C., Ignatiades L., Lancelot C., Menesguen A., Tett P., Hoepffner N., Claussen U., (2011).** Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine.Coastal and Shelf Science.* 93, 117-131. doi.org/10.1016/j.ecss.2011.03.014.
- Filippelli R., Termansen M., Hasler B., Timmermann K. & Petersen J. K., (2020).** Cost-effectiveness of mussel farming as a water quality improvement measure: Agricultural, environmental and market drivers. *Water Resources and Economics*, 32, [100168]. doi.org/10.1016/j.wre.2020.100168
- Franzo A., Cibic T., Del Negro P., Solidoro C., (2014).** Microphytobenthic response to mussel farm biodeposition in coastal sediments of the northern Adriatic Sea *Mar. Pollut. Bull.*, 79 pp. 379-388, 10.1016/j.marpolbul.2013.11.002
- Friedland R., Schernewski G., Gräwe, U., Greipsland I., Palazzo D., Pastuszak M., (2019).** Managing Eutrophication in the Szczecin (Oder) Lagoon-Development, Present State and Future Perspectives. *Front. Mar. Sci.* 5, 521. doi.org/ 10.3389/fmars.2018.00521
- Friligos N., (1987).** Eutrophication assessment in Greek coastal waters. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 15 (3), Pages 185-196. Doi:10.1080/02772248709357229.
- Friligos N., Gotsis-Skretas O., (1989).** Eutrophication and red tide in aegean coastal waters. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 24(3), 171-180. Doi:10.1080/02772248909357487.
- Friligos N., Barbetseas S., (1990).** Water masses and eutrophication in a Greek anoxic marine bay. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 28 (1), 11-23. Doi:10.1080/02772249009357587.

- Genitsaris S., Stefanidou N., Sommer U., Moustaka-Gouni M., (2019).** Phytoplankton Blooms, Red Tides and Mucilaginous Aggregates in the Urban Thessaloniki Bay, Eastern Mediterranean. *Diversity*, 11 (8), 136. Doi:10.3390/d11080136.
- Gilbert F., Souchu P., Bianchi M., Bonin P., (1997).** Influence of shellfish farming activities on nitrification, nitrate reduction to ammonium and denitrification at the water-sediment interface of the Thau lagoon, France. *Mar Ecol Prog Ser* 151, 143–153.
- Gosling E. M., (2003).** Fisheries and Management of Natural Populations. In: *Bivalve Molluscs: biology, Ecology and Culture*. Blackwell, Oxford, 6, 439 pp.
- Haamer J., (1996).** Improving Water Quality in a Eutrophied Fjord System with Mussel Farming. *Ambio*, 25(5). Page 356–362. doi:10.2307/4314491.
- Hama J., Handa N., (1994).** Variability of the Biomass, Chemical Composition and Productivity of Phytoplankton in Kinu-ura Bay, Japan during the Rainy Season. *Estuarine coastal and shelf science*. Volume 39, Issue 5, November 1994, Pages 497-509 doi.org/10.1006/ecss.1994.1078.
- Hartstein N. D., Stevens C. L., (2005).** Deposition beneath long-line mussel farms *Aquac. Eng.*, 33 pp. 192–213, 10.1016/j.aquaeng.2005.01.002
- Hasler B., Hansen L. B., Andersen H. E., Konrad M., (2015).** Modelling af omkostningseffektive reduktioner af kvælstoftilførslerne til Limfjorden: Dokumentation af model og resultater. Not at fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus University. Pages 31.
- HELCOM, 2007.** Baltic Sea Action Plan. HELCOM Ministerial Meeting, Krakow, Poland.
- HELCOM, 2013.** HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration: Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan-Reaching a Good Environmental Status for a Healthy Baltic Sea.
- Holbach M., Maar M., Timmermann K., Taylor D., (2020).** A spatial model for nutrient mitigation potential of blue mussel farms in the western Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 736, [139624]. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139624
- Holdt S. L., Maeve D.E., (2014).** Cost-effective IMTA: a comparison of the production efficiencies of mussels and seaweed. *Journal of Applied Phycology*. Volume 26, pages 933–945 (2014). Doi:10.1007/s10811-014-0273-y.
- Holmer M., Ahrensberg N., Jørgensen N. P., (2003).** Impacts of mussel dredging on sediment phosphorus dynamics in a eutrophic Danish fjord. *Chemistry and Ecology* 19, 343–361. doi.org/10.1080/02757540310001596708
- Holmer M., Thorsen S. W., Carlsson M. S., Kjerulf P. J., (2015).** Pelagic and Benthic Nutrient Re-generation Processes in Mussel Cultures (*Mytilus edulis*) in a Eutrophic Coastal Area (Skive Fjord, Denmark). *Estuaries and Coasts* 38, 1629–1641. doi.org/10.1007/s12237-014-9864-8
- Hylén A., Bergström P., Kononets M.Y., Lindegarh M., Stedt A., Taylor D., (2020).** In situ characterization of sediment-water nutrient exchange in a mussel farm. *Biogeosciences* (in preparation).
- Hylén A., Taylor D., Kononets M., Lindegarh M., Stedt A., Bonaglia S., Bergström P., (2021).** In situ characterization of benthic fluxes and denitrification efficiency in a newly re-established mussel farm, *Science of The Total Environment*, Volume 782, 146853 doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146853
- Inglis G.J., Gust N., (2003).** Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. *Journal of applied Ecology*. 2003 40, 1077–1089. doi.org/10.1111/j.1365-2664.2003.00860.x
- Inglis G.J., Hayden B.J., Ross A. H., (2000).** An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture. Client Report: CHC00/69, Project No. MFE00505, *Ministry for Environment*, 31 pp.

- Ji L., Song W., Wei D., Jiang D., Cai L., Wang Y., Guo J., Zhang H., (2019).** Modified mussel shell powder for microalgae immobilization to remove N and P from eutrophic wastewater, *Bioresource Technology* v.284, Pages 36-42. doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.112
- Kagalou I., Papastergiadou E., Leonardos I., (2008).** Long term changes in the eutrophication process in a shallow Mediterranean lake ecosystem of W. Greece: Response after the reduction of external load. *Journal of Environmental Management*. 87(3), 497–506. Doi: 10.1016 /j.jenvman.2007.01.039
- Kalantzi I., Karakassis I., (2006).** Benthic impacts of fish farming: meta-analysis of community and geo-chemical data. *Marine Pollution Bulletin* 52(2006) 484–493 doi:10.1016/j.marpolbul.2005.09. 034.
- Kalpaxis D.L., Theos C., Xaplanteri M.A., Dinos G.P., Catsiki A.V. & Leotsinidis M., (2004).** Biomonitoring of Gulf of Patras, N. Peloponnesus, Greece. Application of a biomarker suite including evaluation of translation efficiency in *Mytilus galloprovincialis* cells. *Environmental Research* 94: 211-220.
- Karagiannis D., Vatsos I.N. & Angelidis P., (2010).** Effects of atrazine on the viability and the formation of byssus of the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Aquaculture International*. DOI:10.1007/s10499-010-9344-5
- Kosenius A.K., (2010).** Heterogeneous preferences for water quality attributes: The Case of eutrophication in the Gulf of Finland, the Baltic Sea. *Ecological Economics*. 69 (3) Page 528-538. doi:10.1016/j.ecolecon.2009.08.030.
- Kotta J., Futter M., Kaasik A., Liversage K., Rätsep M., Barboza F.R., Bergström L., Berg-ström P., Bobsien I., Díaz E., Herkül K., Jonsson P.R., Korpinen S., Kraufvelin P., Krost P., Lindahl O., Lindegarth M., Lyngsgaard M.M., Mühl M., Sandman A.N., Orav-Kotta H., Orlova M., Skov H., Rissanen J., Šiaulys A., Vidakovic A., Virtanen E., (2020).** Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of The Total Environment* 709, 136144. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136144
- Koukaras K. & Nikolaidis G., (2004).** Dinophysis blooms in Greek coastal waters (Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea). *J. Plankton Research* 26(4): 445-457. doi.org/10.1093/plankt/fbh042
- Kristensen P., Whalley C., Zal F.N.N., Christiansen T., (2018).** European Waters Assessment of Status and Pressures 2018, European Agency. doi.org/10.2800/303664
- Lazaridou E., Orfanidis S., Haritonidis S., Seferlis M., (1997).** Impact of eutrophication on species composition and diversity of macrophytes in the Gulf of Thessaloniki, Macedonia, Greece: First evaluation of the results of one year study. *Fresenius Environmental Bulletin*. 6 (1): Page 054-059.
- Lee C.K., Park T.G., Park Y.T., Lim W.A., (2013).** Monitoring and trends in harmful algal blooms and red tides in Korean coastal waters, with emphasis on *Cochlodinium polykrikoides*. *Harmful Algal*, 30 (2013), S3–S14. doi:10.1016/j.hal.2013.10.002.
- Livingstone D.R. & Pipe R.K., (1992).** Mussels and environmental contaminants: molecular and cellular aspects. In: Gosling, E. (Ed.), *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, Vol. 25; *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture*. Elsevier, Amsterdam, pp. 425–456
- Lundberg C., (2013).** Eutrophication, risk management and sustainability. The perceptions of different stakeholders in the northern Baltic Sea', *Marine Pollution Bulletin*, 66 (1-2) 143-150.
- Maar M., Larsen J., Dahl K., Riemann B., (2018).** Modeling the environmental impacts of future off-shore fish farms in the inner Danish waters. *Aquacult Environ Interact* 10, 115–133.
- Maar M., Taylor D., Darecki M., (2020).** Maps of particle depletion around different mussel farms (in-situ, satellite, modelling) with background and explanatory information (*Technical Report No. D4.1*). *Bonus Optimus*.

- Maria V.L., Santos M.A., Bebianno M.J., (2009).** Biomarkers of damage and protection in *Mytilus galloprovincialis* cross transplanted in Ria Formosa Lagoon, Portugal *Ecotoxicology* volume 18, pages 1018-1028
- Mason J., (1972).** The cultivation of the European mussel, *Mytilus edulis* Linnaeus, (ed. H. Barnes), *Oceanography and Marine Biology an Annual Review*, 10, 437- 460.
- Mattsson J. & Lindén O., (1983).** Benthic macrofauna succession under mussels, *Mytilus edulis* L. (Bivalvia), cultured on hanging long-lines Cultured on hanging long-lines, *Sarsia Taylor & Francis*, 68: 2, 97-102. doi:10.1080/00364827.1983.10420561.
- Mc Laughlan C., & Aldridge D. C., (2013).** Cultivation of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) within their invaded range to improve water quality in reservoirs. *Water Research*, 47 (13), 4357-4369. doi:10.1016/j.watres.2013.04.043.
- Mitraki C., Crisman L.T., Zalidis G., (2004).** Lake Koronia, Greece: Shift from autotrophy to heterotrophy with cultural eutrophication and progressive water-level reduction. *Limnologia*, 34(1-2), 0-116. doi.org/10.1016/S0075-9511(04)80029-X
- Moriki A. & Galinou-Mitsoudi S. & Petridis D. & Kosti D. & Savvidis Y. & Dimitriadis X. & Koutitas C. & Alvanou L., (2008).** Environmental Impacts of Intensive Mussel Culture in the Coastal Waters of the Gulf of Thessaloniki (N. Greece). *Fresenius Environmental Bulletin*. Volume 17 – No 11b.
- Moriki A., Antoniou A., Savvidis Y., Papadimitriou C.A., Stoilas V.O., (2019).** Nutrient Limitation in a Coastal System Influenced by Mussel Farming, River Outflow and On-shore Circulation of Waters. *Environ Process*. 6, 1019-1029. doi.org/10.1007/s40710-019-00391-w
- Moroño A., Arévalo F., Fernández M.L., Maneiro J., Pazos Y., Salgado C. & Blanco J., (2003).** Accumulation and transformation of DSP toxins in mussels *Mytilus galloprovincialis* during a toxic episode caused by *Dinophysis acuminata*. *Aquatic Toxicology*, 62 (4), 269-280. doi:10.1016/s0166-445x(02)00105-4.
- NCMR, (2001).** Pollution research and monitoring programme in the Aegean and Ionian Seas: *Technical Report*, Athens, p57.
- Neofitou N., Charizopoulos N., Vafidis D., Skordas K.L., Tziantziou & Neofitou C., (2013).** Mussel farming impacts on trophic status and benthic community structure in Maliakos Gulf (Eastern Mediterranean). *Aquaculture International*. 22, pages 843-857. Doi:10.1007/s10499-013-9712-z.
- Newell R., (2004).** Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension feeding bivalve mollusks: a review. *J Shellfish Res* 23:51-61
- Newton A., Icely J.D., Falcao M., Nobre A., Nunes J.P., Ferreira J.G., Vale C., (2003).** Evaluation of eutrophication in the Ria Formosa coastal lagoon, Portugal. *Continental Shelf Research*, volume 23, Issues 17-19, Pages 1945-1961. doi:10.1016/j.csr.2003.06.008.
- Nielsen P., Cranford P.J., Maar M., Petersen J.K., (2016).** Magnitude, spatial scale and optimization of ecosystem services from a nutrient extraction mussel farm in the eutrophic Skive Fjord, Denmark. *Aquaculture Environment Interactions* 8, 311-329. doi.org/10.3354/aei00175
- Nizzoli D., Welsh D.T., Bartoli M. & Viaroli P., (2005).** Impacts of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) farming on oxygen consumption and nutrient recycling in a eutrophic coastal lagoon, *Hydrobiologia* 550, 183-198.
- Nizzoli D., Welsh D.T., Fano E.A., Viaroli P., (2006).** Impact of clam and mussel farming on benthic metabolism and nitrogen cycling, with emphasis on nitrate reduction pathways. *Mar Ecol Prog Ser* 315, 151-165.
- Okumu Ü., Bascinar N., Zkan M.K., (2001).** The Effects of Phytoplankton Concentration, Size of Mussel and Water Temperature on Feed Consumption and Filtration Rate of the Mediterranean Mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) *Turk J Zool* 26 (2002) 167-172 T.BÜTAK

- Orfanidis S., Stamatis N., Ragias V. & Schramm W., (2005).** Eutrophication patterns in an eastern Mediterranean coastal lagoon: Vassova, Delta Nestos, Macedonia, Greece. *Mediterranean Marine Science*, Volume 6/2, 2005, 17-30. doi.org/10.12681/mms.183.
- Orth R.J., Moore K. A., (1984).** Distribution and abundance of submerged aquatic vegetation in Chesapeake Bay: An historical perspective. *Estuaries* Vol. 7, No. 4B, p. 531-540 December 1984. Doi:10.2307/1352058.
- Pastuszek M., Bryhn A., Hakanson L., Stalnacke P., Zalewski M., Wodzinowski T., (2018).** Reduction of nutrient emissions from Polish territory to the Baltic Sea (1988-2017) facing real environmental needs and international requirements. *Oceanol Hydrobiol Stud* 47 (2): 140-166
- Pearson T., Rosenberg R., (1978).** Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography marine biology annual review*.16, 229-311.
- Perona E., Bonilla I., Mateo P., (1998).** Epilithic cyanobacterial communities and water quality: an alternative tool for monitoring eutrophication in the Alberche River (Spain). *Journal of Applied Phycology*, 10(2), 183-191. doi:10.1023/a:1008051327689.
- Petersen J.K., Kjerulf J., Saurel C., Nielsen P., Timmermann K., (2016).** The use of shellfish for eutrophication control. *Aquaculture International*, 24 (3), 857-878. doi:10.1007/s10499-015-9953-0.
- Petersen J. K., Holmer M., Termansen M., Hasler B., (2019).** Nutrient Extraction Through Bivalves, in: Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, Jens K, Strand, Ø. (Eds.), Goods and Services of Marine Bivalves. Springer International Publishing, Cham, pp. 179-208. doi.org/10.1007/978-3-319-96776-9_10
- Petersen J.K., Loo L.O., Taylor D., (2019).** Evaluating chlorophyll depletion in mitigation mussel cultivation at multiple scales. *Aquac. Environ. Interact.* doi.org/10.3354/aei00312
- Petersen J.K. and Taylor D., (2020).** Policy guidelines for the implementation of mussel farming as a mitigation measure for coastal eutrophication in the West Baltic Sea, Danish Shellfish Centre, National Institute of Aquatic Resources, Denmark, ISBN: 978-87-7481-285-2
- Pinay G., Gascuel C., Ménesguen A., Souchon Y., Le Moal M., Levain A., Etrillard C., Moatar F., Pannard A., Souchu P., (2017).** L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité, Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea (France), 148 pages. <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/expertise-eutrophisation-synthese-148-p-2.pdf>
- Pipe R.K., Coles J.A., Carissan F.M.M., & Ramanathan K., (1999).** Copper induced immunomodulation in the marine mussel *Mytilus edulis*. *Aquatic Toxicology* 46: 43-54
- Pirini C.B., Karagiannakidou V. & Charitonidis S., (2011).** Abundance, diversity, and distribution of macrophyte communities in neighboring lakes of different trophic state and morphology in North-Central Greece. *Archives of Biological Sciences*.63, 763-774.
- Przedzimirska J., Olenycz M., Turski J., Pardus J., Lazić M., Matczak M., Zaucha J., Licznarska-Bereńiewicz J., Rakowska I., (2019).** Common methodological approach on addressing the mussel farms in maritime spatial plans (MSP), Maritime Institute of Gdańsk.
- Radziejewska T., Fenske C., Wawrzyniak-Wydrowska B., Riel P., Woźniczka A., Gruszka P., (2009).** The zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) and the benthic community in a coastal Baltic lagoon: another example of enhancement? *Mar Ecol* 30:138-150
- Radziejewska T., Schernewski G., (2008).** The Szczecin (Oder-) Lagoon. In: Schiewer U (ed) *Ecology of Baltic coastal waters*. Springer, Berlin, pp 115-129
- Rice A.M., (2000).** Environmental Impacts of Shellfish Aquaculture: Filter Feeding to Control Eutrophication. Michael A. Rice Department of Fisheries, Animal & Veterinary Science University of Rhode Island Kingston, RI 02881.
- Risgaard-Petersen N., (2003).** Coupled nitrification-denitrification in autotrophic and heterotrophic estuarine sediments: on the influence of benthic microalgae *Limnol. Oceanogr.*, 48 pp. 93-105

- Schernewski G., Friedland R., Carstens M., Hirt U., Leujak W., Nausch G., Neumann T., Petenati T., Sagert S., Wasmund N., von Weber M., (2015). Implementation of European marine policy: new water quality targets for German Baltic waters. *Mar Policy* 51:305–321.
- Schernewski G., Stybel N., Neumann T., (2012). Managing eutrophication: cost-effectiveness of Zebra mussel farming in the Oder (Szczecin) Lagoon. *Ecology and Society* 17(2):4.doi.org/10.5751/ES-04644-170204
- Schernewski G., Friedland R., Buer A.L., Dahlke S., Drews B., Höft S., Klumpe T., Schadach M., Schumacher J. & Zaiko A., (2019). Ecological-social-economic assessment of zebra-mussel cultivation scenarios for the Oder (Szczecin) Lagoon, *Journal of Coastal Conservation* 23, pages 913–929
- Schories D., Selig U., Schygula C., (2006). Nutzung mariner Organismen zur Senkung der Nährstoff-Belastung in den Küstengewässern an der Deutschen Ostseeküste – Potenziale und Grenzen. *Rostocker Meeresbiolog Beitr* 15:87–104
- Schultz Z.A., Steele A., Weig Barbara., (2019). How to turn Ecosystem Payments to Baltic Mussel Farms into reality, *SUBMARINER*, Network .
- Simboura N., Zenetos A., (2002). Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic Index. *Mediterranean marine science*. Vol 3, No 2. doi.org/10.12681/mms.249.
- Stirling H.P. & Okumus I., (1995). Growth and production of mussels (*Mytilus edulis* L.) suspended at salmon cages and shellfish farms in two Scottish sea lochs. *Aquaculture* 134: 193-210.
- Strand Ø., Ferreira, J. G., (2019). Introduction to Regulating Services. In: Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K., Strand, Ø. (Eds.), *Goods and Services of Marine Bivalves*. Springer International Publishing, Cham, pp. 115–117. doi. org/10.1007/978-3-319-96776-9_7
- Stybel N., Fenske C., Schernewski G., (2009). Mussel cultivation to improve water quality in the Szczecin lagoon. *J Coast Res SI* 56:1459–1463
- Tagliapietra D., Pavan M., Wagner C., (1998). Macrobenthic Community Changes Related to Eutrophication in Palude della Rosa (Venetian Lagoon, Italy), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47 (2), 217–226. doi:10.1006/ecss.1998.0340.
- Taylor D., Petersen J.K., Buer A.L., Ritzenhofen L., Bergström P., Lindegarth, M., (2019a). D3.1 Optimized Production of Mitigation Mussels, (*Technical Report No. D3.1*) *Bonus Optimus*.
- Taylor D., Saurel C., Nielsen P., Bak, F., Nielsen N., Petersen J., (2019b). Optimizing Production of Mitigation Mussels. Presented at the Aquaculture Europe, *European Aquaculture Society*, Berlin, Germany.
- Taylor D., Saurel, C., Nielsen P., Petersen J.K., (2019c). Production Characteristics and Optimization of Mitigation Mussel Culture. *Frontiers in Marine Science* 6, 698. doi.org/10.3389/fmars.2019.00698
- Taylor D., Jakobsen H.H., Darecki M., Saurel C., (2020a). Local features of phytoplankton depletion associated with mitigation mussel cultivation. *Limnology and Oceanography* (In preparation).
- Taylor D.P., Maar M., Darecki M., Ritzenhofen L., Buer A.L., Larsen J., Sagan S., Bergström P., Lindegarth M., Petersen J.K., (2020b). Demonstration of particle depletion in relation to mussel farms in different environments using in situ-, remote sensing- and model data. *Marine Environmental Research* (In preparation).
- Taylor D., Larsen J., Bue, A.-L., Friedland R., Holbach A., Petersen J.K., Nielsen P., Ritzenhofen L., Saurel, C., Maar, M., (2021). Mechanisms influencing particle depletion in and around mussel farms in different environments. *Ecological Indicators* 122, 107304. doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107304
- Thomman R.V., Mahony J.D. & Mueller R., (1995). Steady-state model of biota sediment accumulation factor for metals in two marine bivalves. *Environmental Toxicology & Chemistry* 14: 1989– 1998
- Thur Steven., (2017). Advancing coastal science, NCCOS(National Centers for Coastal Ocean Science)USA, 2017 – 2021

- Timmermann K., Maar M., Bolding K., Larsen J., Windolf J., Nielsen P., Petersen J.K., (2019).** Mussel production as a nutrient mitigation tool for improving marine water quality, *Aquacult Environ Interact* 11: 191-204. doi.org/10.3354/aei00306
- Van Geel B., Luuc R.M., Ralska-Jasiewiczowa M., Goslar T., (1994).** Fossil akinetes of *Aphanizomenon* and *Anabaena* as indicators for medieval phosphate-eutrophication of Lake Gosciaz (Central Poland, *Review of Palaeobotany and Palynology* 83, pp 97-105. doi:10.1016/0034-6667(94)90061-2.
- Volterra L., Boualam M., Ménesguen Alain., Duguet J. P., Duchemin J., Bonnefoy X., (2002).** Eutrophication and health, *World Health Organization*, 2002, Luxembourg, 28 pp., ISBN 92-894-4413-4
- Wasmund N., (2002).** Harmful algal blooms in coastal waters of the South-Eastern Baltic Sea. In: Schernewski G, Schiewer U (eds) *Baltic coastal ecosystems: structure, function and coastal zone management. CEEDS-Series*, Berlin, Springer
- Willén E., (1987).** Phytoplankton and reversed Eutrophication in Lake Mälaren, Central Sweden, 1965–1983. *British Phycological Journal*, 22 (2), 193–208. doi:10.1080/00071618700650241.
- Wolnomiejski N., Woźniczka A., (2008).** A drastic reduction in abundance of *Dreissena polymorpha* pall in the Skoszewska cove (Szczecin Lagoon, River Odra estuary): effects in the population and habitat. *Ecological Questions* 9(9):103–111
- Wolnomiejski N., Witek Z., (2013).** The Szczecin lagoon ecosystem: the biotic community of the great lagoon and its food web model. Versita Ltd, London, 289p
- Xavier D., Thyssen M., Garcia N., Mayot N., Bernard G., Grégori G., (2015).** Monitoring of a Potential Harmful Algal Species in the Berre Lagoon by Automated *In Situ* Flow Cytometry, *Marine Productivity: Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems*. pp 117-127
- Zaiko A., Daunys D., Olenin S., (2009).** Habitat engineering by the invasive zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Pallas) in a boreal coastal lagoon: impact on biodiversity. *Helgol Mar Res* 63:85–94
- Zingone A., Siano R., D’Alelio D., Sarno D., (2006).** Potentially toxic and harmful microalgae from coastal waters of the Campania region (Tyrrhenian Sea, Mediterranean Sea), *Harmful algal* 5 (3), 321-337. doi.org/10.1016/j.hal.2005.09.002
- Zingone A., Escalera L., Aligizak K., Fernández-Tejedor M., Ismae A., Montresor M., Mozetič P., Taş S., Totti C., (2021).** Toxic marine microalgae and noxious blooms in the Mediterranean Sea: A contribution to the Global HAB Status, *Harmful Algal*, Volume 102. doi.org/10.1016/j.hal.2020.101843

Βιβλία:

- Delamotte M. & Βαρδάλλα - Θεοδώρου E., (1994).** *Κοχύλια από τις Ελληνικές θάλασσες. Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, Αθήνα (320 σελίδες).*
- Galinou-Mitsoudi S., Savvidis Y. & Dimitriadis X., (2006).** Interaction between mussel cultures and hydrodynamics. A preliminary study in Thessaloniki & Thermaikos Gulfs. *Journal of Biological Research. BioMed Central*, volume 6
- Spencer B.E., (2002).** *Molluscan Shellfish Farming. Fishing News Books. Oxford. 1st Edition. Pages 296 pages. ISBN-13: 978-0852382912.*

Ελληνική Βιβλιογραφία:

- A. T. E. I. Θ., (2007).** Κυκλοφορία του νερού σε Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης.
- Βιδάλης K. & Αργυρίου Θ., (2006).** Υδατοκαλλιέργειες ασπονδύλων. Σημειώσεις TEI Μεσολογγίου, σελ. 76.
- Γαληνού-Μητσούδη Σ., (2003).** Εκτροφή Οστράκων, Σημειώσεις Θεωρίας Τεχνολογίας Αλιείας και Υδατοκαλλιέργειών, TEI Θεσσαλονίκης Ν. Μουδανιά (110 σελίδες).

- Καραμανλής Ξ., (2018).** Υδάτινο Περιβάλλον αλληλεπιδράσεις μεταξύ περιβάλλοντος και υδατοκαλλιεργειών, Α.Π.Θ, Τμήμα Κτηνιατρικής, Θεσσαλονίκη, σ.σ.61
- Κούγκολος Α., (2007).** Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Κουκάρας Κ., (2004).** Χωρο-χρονικές μεταβολές επιβλαβών ανθήσεων ειδών του γένους *Dinophysis* Ehrenberg στο Θερμαϊκό κόλπο. Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Τμήμα Βιολογίας, Θεσσαλονίκη, σελ. 168
- Κράββα Ν., (2000).** Γενετική σύσταση και αύξηση σε πληθυσμούς του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* στο Θερμαϊκό κόλπο. Διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 158 σελίδες.
- Μαβίδης Σ., Ευτροφισμός (2017).** Αίτια, επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα και αντιμετώπιση του φαινομένου, Ελληνικό ανοιχτό Πανεπιστήμιο.
- Ναουμίδου Ε., (2008).** Ανάλυση περιβαλλοντικών και υδρογραφικών παραμέτρων παρακτίων περιοχών Δ. Αιγαίου πελάγους, Π.Θ, Τμήμα Γεωπονικών Επιστημών, Βόλος, σ.σ 318.
- Νεοφύτου Χ., (2000).** Καλλιέργεια Οστρακοειδών-Καρκινοειδών. Πανεπιστημιακές παραδόσεις. Παπαναστασίου Δ., 1990. Τεχνολογία και Ποιοτικός Έλεγχος Αλιευμάτων, Ίων, Αθήνα, σ.σ 846
- Σκαρπής Α., (2014).** Μεσόγειος Θάλασσα, Π.Π, Τμήμα Ναυτιλίας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πειραιάς, σ.σ 123
- Στάικου Α., (2015).** Καλλιέργεια δίθυρων μαλακίων, Κάλλιπος, Αθήνα, σ.σ 30
- Υδατοκαλλιεργειών/μυδοκαλλιεργειών (ΠΟΑΥ) και Διαχειριστικές Παρεμβάσεις Χωροταξικής και Περιβαλλοντικής Βελτίωσης. Επιστ. Υπεύθ. Δρ. Α. Μωρίκη, Θεσ/νίκη, Ενδιάμεση Έκθεση, 164 σελίδες.
- Φώτης Δ.Γ., (1993).** Μαθήματα Περιβαλλοντικών νοσημάτων των ιχθύων. Α.Π.Θ., Τμήμα Κτηνιατρικής.
- Φώτης Γ., Καμαριανός Α., Καραμανλής Ξ., Σιούτας Α., Κιλικίδης Σ., (1994).** Περιβαλλοντικοί και άλλοι καταπονητικοί παράγοντες στην εκδήλωση της ερυθροδερματίτιδας του κυπρίνου (*Cyprinus carpio* L.) Δελτίο Ελλ. Κτην.Εταιρείας 45(2):150-154 (1994).
- Φώτης Δ.Γ., (1999).** Εκτροφή και παθολογία ιχθύων. Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη, σ.σ 382
- Φώτης Δ.Γ. & Αγγελίδης Γ.Π., (2003).** Εκτροφή και παθολογία ιχθύων. Τόμος Α' (Υδάτινο περιβάλλον, στοιχεία ιχθυολογίας, ιχθυοτροφία και ιχθυοπαθολογία). Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.
- Χατζικακίδης Α., (1951).** Εποχικά υδρολογικά έρευνα εις τας λιμνοθάλασσας Μεσολογίου-Αιτωλικού. Πρακτικά του Ελληνικού Υδροβιολογικού Ινστιτούτου, Τόμος V, Τεύχος 1.

Νομοθεσία Ευρωπαϊκή:

- FAO. 2002.** Year book annuaire. Fishery statistic scapture production.Vol. 94/1.
In: FAO Statistics Series, Rome, Italy, VII, 178. ISBN: 978925004772X
- FAO. 2015.** Cultured Aquatic Species Information Programme. *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) In: FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome, Italy (37 876t) and Greece (15 860 t).
- Οδηγία 2000/60/:** Εκ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.
- Οδηγία 2010/477/ΕΕ:** Απόφαση της Επιτροπής, της 1ης Σεπτεμβρίου 2010 , σχετικά με τα κριτήρια και τα μεθοδολογικά πρότυπα για την καλή περιβαλλοντική κατάσταση των θαλάσσιων υδάτων [κοινοποιηθείσα υπό τον αριθμό ΕΕ (2010) 5956].

Νομοθεσία Ελληνική:

Νόμος 4282/2014 (ΦΕΚ 182/ Α/29-8-2014): Ανάπτυξη υδατοκαλλιεργειών και άλλες διατάξεις.

Διαδίκτυο:

https://www.repubblica.it/green-and-blue/2021/04/27/news/trieste_la_crisi_climatica_colpisce_ancora_dopo_le_meduse_la_marea_rossa-298223477/

https://el.wikipedia.org/wiki/Ερυθρά_παλίρροια

<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/expertise-eutrophisation-synthese-148-p-2.pdf>