

# Μείωση της χημικής ρύπανσης μέσω καινοτόμων και φυσικών μεθόδων επεξεργασίας υδάτων



## RHE-MEDIation

Το έργο RHE-MEDIation<sup>1</sup>, το οποίο χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα «Ορίζοντας Ευρώπη» της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι ένα τριετές έργο (2023-2026) που συντονίζεται από τη RINA Consulting SpA και στοχεύει στην αποσυμφόρηση της Μεσογείου Θάλασσας από τη χημική ρύπανση, μέσω της δοκιμής και της επικύρωσης μιας καινοτόμου τεχνολογίας αποκατάστασης: των φωτοβιοαντιδραστήρων με βάση τις μικροάλγες. Αυτοί οι φωτοβιοαντιδραστήρες ενσωματώθηκαν στα υπάρχοντα συστήματα επεξεργασίας νερού/λυμάτων για να βελτιώσουν την απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών, βαρέων μετάλλων και παντοτινών χημικών ουσιών. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης κινητά και σταθερά συστήματα ανίχνευσης για τον εντοπισμό και τη μέτρηση χημικών ουσιών σε γλυκά ύδατα, λύματα και θαλάσσια ύδατα. Τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες μεταφορτώνονται στη διαδικτυακή πύλη δεδομένων του Ευρωπαϊκού Δικτύου Θαλάσσιων Παρατηρήσεων και Δεδομένων (EMODnet) για να συμβάλουν στο Ψηφιακό Δίδυμο του Ωκεανού.

Το παρόν έγγραφο παρουσιάζει τα κύρια αποτελέσματα του έργου RHE-MEDIation που σχετίζονται με τις πολιτικές.

## Οργανισμοί-εταίροι του RHE-MEDIation

Η κοινοπραξία RHE-MEDIation αποτελείται από 11 εταιρείες που εκπροσωπούν μεγάλες επιχειρήσεις, τον ακαδημαϊκό κόσμο, ερευνητικούς οργανισμούς, ΜΜΕ, εταιρείες διαχείρισης νερού και λυμάτων και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Θαλασσών. SMEs, water and wastewater management companies, and the European Marine Board.



## Αποσυμφόρηση της Μεσογείου Θάλασσας από τη χημική ρύπανση

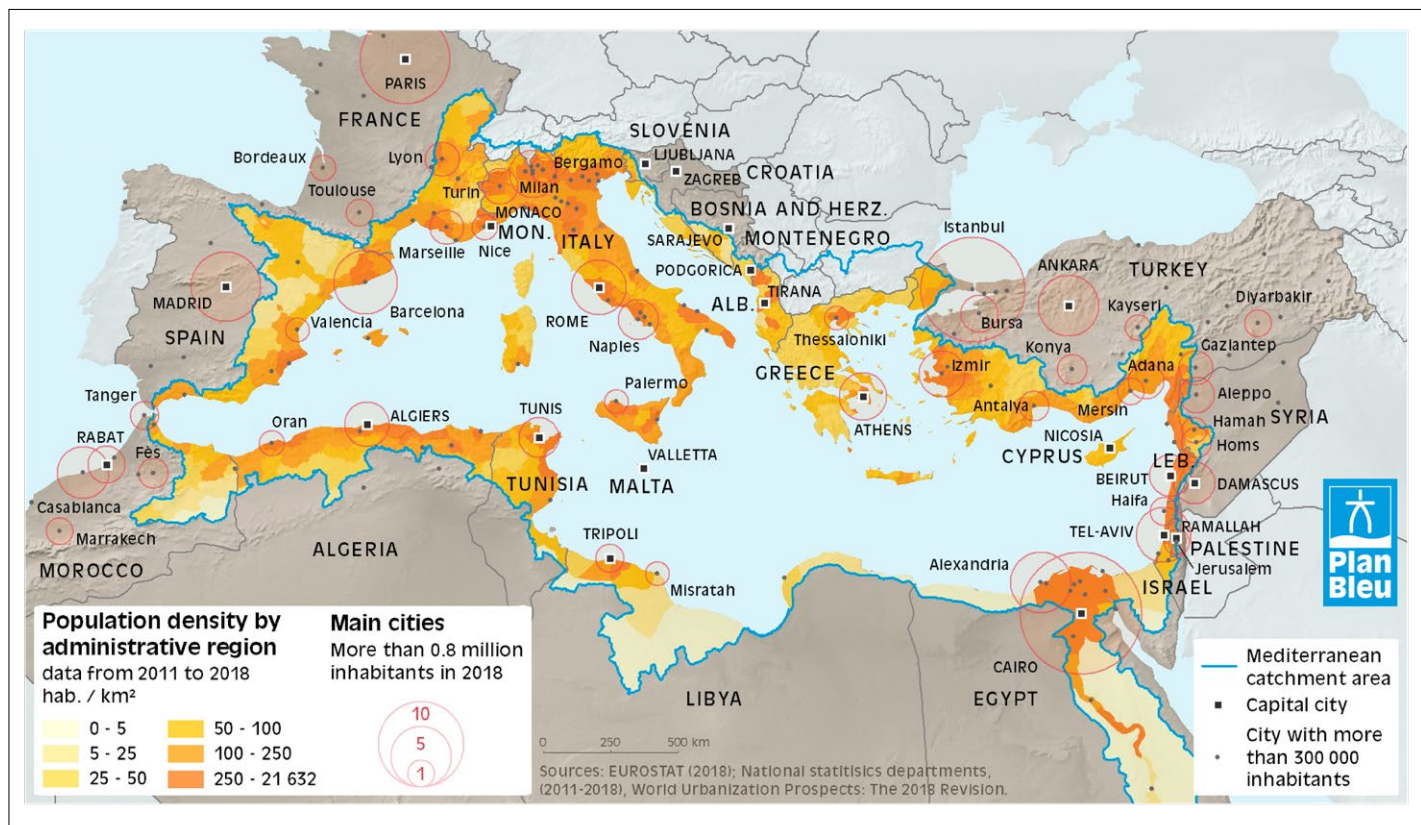
Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι μια ημίκλειστη λεκάνη (Εικόνα 1), με περίπου 250 εκατομμύρια κατοίκους σε παράκτιες περιοχές, και φιλοξενεί το ένα τρίτο των τουριστών παγκοσμίως κάθε χρόνο (360 εκατομμύρια το 2024<sup>2</sup>). Αυτή η περιοχή χαρακτηρίζεται επίσης από υψηλά επίπεδα γεωργικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων και έντονη θαλάσσια κυκλοφορία. Η μοναδική της γεωγραφία και ωκεανογραφία παγιδεύει τους ρύπους, γεγονός που, σε συνδυασμό με την υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, τη βαριά βιομηχανία και, ενίοτε, την αναποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων, έχει ως αποτέλεσμα τη **σημαντική θαλάσσια ρύπανση**. Οι ρύποι προέρχονται από χερσαίες πηγές, μέσω σημείων απόρριψης και χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, από την επιφανειακή απορροή ποταμών και μέσω ατμοσφαιρικής εναπόθεσης. Άλλοι ρύποι προέρχονται απευθείας από θαλάσσιες δραστηριότητες, όπως η ναυτιλία, η εξόρυξη και η εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου (UNEP/MAP και Plan Bleu, 2020).

Για την πρόληψη και την εξάλειψη της ρύπανσης στη Μεσόγειο Θάλασσα, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) δρομολόγησε τον «Φάρο της Μεσογείου» (Mediterranean Lighthouse) στο πλαίσιο της **αποστολής της ΕΕ για την «Αποκατάσταση των ωκεανών και των υδάτων μας έως το 2030»<sup>3</sup> (Restore our Ocean and Waters by 2030)**. Τα πιλοτικά προγράμματα «Lighthouses» (Φάροι) της αποστολής για τους ωκεανούς προσωθούν, αναπτύσσουν και υλοποιούν δραστηριότητες σε όλες τις θάλασσες και τις λεκάνες απορροής ποταμών της ΕΕ για την υποστήριξη της εφαρμογής, της περιφερειακής δέσμευσης και της συνεργασίας. Το έργο RHE-MEDIation υποστηρίζει τον «Φάρο της Μεσογείου» για την πρόληψη, την ελαχιστοποίηση και τον έλεγχο της ρύπανσης, καθώς και για την εξάλειψη και την αποκατάσταση των υφιστάμενων εστιών ρύπανσης στη Μεσόγειο.

<sup>1</sup> <https://rhemediation.eu/>

<sup>2</sup> IUCN, IATUR, IDDRI & eco-union. (2025). Βιώσιμος μπλε τουρισμός στη Μεσόγειο: Τάσεις, προκλήσεις και πολιτικές κατευθύνσεις. Πρωτοβουλία μπλε τουρισμού. Κέντρο Μεσογειακής Συνεργασίας της Διεθνούς Ένωσης για την Προστασία της Φύσης (IUCN), Μάλαγα, Ισπανία. <https://bluetourisminitiative.org/main-publications/sustainable-blue-tourism-in-the-mediterranean-trends-challenges-and-policy-pathways/>

<sup>3</sup> [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/restore-our-ocean-and-waters\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/restore-our-ocean-and-waters_en)



Εικόνα 1. Πυκνότητα πληθυσμού ανά διοικητική περιφέρεια και κύριες πόλεις στη λεκάνη απορροής της Μεσογείου. (Πηγή: EUROSTAT, 2018· Εθνικές στατιστικές υπηρεσίες, 2011-2018· UNDESA, World Urbanization Prospects: The 2018 Revision)

Στο πλαίσιο της Σύμβασης της Βαρκελώνης<sup>4</sup>, η ΕΕ και τα λοιπά συμβαλλόμενα μέρη δεσμεύτηκαν να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη, τη μείωση, την καταπολέμηση και την εξάλειψη της ρύπανσης στη Μεσόγειο Θάλασσα στον μέγιστο δυνατό βαθμό. Το Πρωτόκολλό της για την προστασία της Μεσογείου Θάλασσας από τη ρύπανση από χερσαίες πηγές και δραστηριότητες μεταφράζει αυτές τις δεσμεύσεις σε συγκεκριμένους στόχους για τη μείωση και τη σταδιακή εξάλειψη ουσιών που είναι τοξικές, ανθεκτικές και επιρρεπείς σε βιοσυσσώρευση, όπως οι έμμονοι οργανικοί ρύποι (POP), τα θαλάσσια απορρίμματα και ο υδράργυρος.

Στην ΕΕ, οι στόχοι αυτοί υλοποιούνται μέσω ενός συνόλου δεσμευτικών ρυθμιστικών μέσων, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για τη μείωση της ρύπανσης στα οικοσυστήματα θαλάσσιων και γλυκών υδάτων. Η **Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ)**<sup>5</sup> επισημαίνει τις δράσεις που απαιτούνται για την πρόληψη του ευτροφισμού που προκαλείται από θρεπτικές ουσίες, την εξάλειψη ή/και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των μικρορύπων και των παντοτινών χημικών ουσιών και τη διατήρηση καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης στα ευρωπαϊκά ύδατα. Η **Οδηγία-Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (ΟΠΘΣ)**<sup>6</sup> προβλέπει όρια και κριτήρια αξιολόγησης για την παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που διασφαλίζουν ότι τα βαρέα

μέταλλα, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ), τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB) και τα φυτοφάρμακα δεν επηρεάζουν την καλή περιβαλλοντική κατάσταση (ΚΠΚ) των ευρωπαϊκών θαλάσσιων υδάτων.

Η **Ευρωπαϊκή Στρατηγική για την Ανθεκτικότητα των Υδάτων 2025** περιγράφει δράσεις για την επίτευξη τριών βασικών στόχων για την αποκατάσταση και την προστασία του κύκλου των υδάτων, από την πηγή έως τη θάλασσα:

- 1) δημιουργία μιας έξυπνης για το νερό οικονομίας για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας,
- 2) προσέλκυση επενδύσεων και προώθηση του κλάδου του νερού της ΕΕ και
- 3) εξασφάλιση καθαρού και οικονομικά προσιτού νερού και αποχέτευσης για όλους.

Παράλληλα, η ΕΕ προωθεί μια κυκλική προσέγγιση για την επεξεργασία των υδάτων και των αποβλήτων: ο **κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων**<sup>7</sup> ενθαρρύνει τη χρήση ανακτημένων υδάτων για την άρδευση καλλιεργειών και για σχετικές βιομηχανικές δραστηριότητες, μειώνοντας παράλληλα τη χρήση συνθετικών λιπασμάτων και τη ζήτηση γλυκού νερού. Η αναθεωρημένη **Οδηγία για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (ΟΕΑΛ)**<sup>8</sup> ενισχύει τις απαιτήσεις για παρακολούθηση, σύνταξη εκθέσεων και μείωση της ρύπανσης στην πηγή. Απαιτεί

<sup>4</sup> <https://www.unep.org/unepmap/who-we-are/barcelona-convention-and-protocols>

<sup>5</sup> Οδηγία 2000/60/ΕΚ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60>

<sup>6</sup> Οδηγία 2008/56/ΕΚ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/56>

<sup>7</sup> Κανονισμός (ΕΕ) 2020/741 <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/741>

<sup>8</sup> Οδηγία 2024/3019 <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/3019>

τριτοβάθμια επεξεργασία<sup>9</sup> για την απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών, ώστε να αποφευχθεί ο ευτροφισμός, καθώς και μείωση των μικρορύπων μέσω τεταρτοβάθμιας επεξεργασίας. Επιπλέον, απαιτεί από τις μονάδες επεξεργασίας να συλλέγουν και να επεξεργάζονται τα λύματα σε όλες τις αστικές περιοχές με περισσότερους από 1.000 κατοίκους έως το 2035, να είναι ενεργειακά ουδέτερες και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2045. Επιπλέον, προωθεί την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υδάτων σε περιοχές που αντιμετωπίζουν λειψυδρία, όπως η Μεσόγειος.

Αυτές οι πολιτικές και οι κανονισμοί θέτουν **πολλές απαιτήσεις για την επεξεργασία των υδάτων. Επιπλέον, απαιτούνται περιοδικές αναβαθμίσεις για την υλοποίηση εξατομικευμένων και μακροπρόθεσμων λύσεων**, ιδίως για τη συμμόρφωση με τις αυστηρότερες απαιτήσεις της αναθεωρημένης Οδηγίας για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι περίπου το 80% των ευρωπαϊκών θαλάσσιων οικοσυστημάτων που αξιολογήθηκαν διαπιστώθηκε ότι διαταράσσονται από ρύπους (ΕΟΠ, 2019).

Η πρόκληση για τη διαχείριση της ρύπανσης των υδάτων στη **Μεσόγειο Θάλασσα** δεν οφείλεται στην έλλειψη επιστημονικών γνώσεων ή πολιτικών πλαισίων, αλλά στην **ανομοιόμορφη εφαρμογή και επιβολή** τους, η οποία επιδεινώνεται από τις **μεγάλες διαφορές στην οικονομική ικανότητα μεταξύ των μεσογειακών χωρών** (Ziveri et al., 2023). Παρά τις υφιστάμενες

## Η προσέγγιση RHE-MEDiation

Πολλές μονάδες επεξεργασίας λυμάτων δεν είναι ακόμη σε θέση να επιτύχουν τους αυξανόμενους στόχους μείωσης της ρύπανσης. Παράλληλα, **τα πλαίσια της ΕΕ για τα λύματα και την προστασία των υδάτων δεν αναγνωρίζουν ακόμη ούτε παρέχουν κίνητρα για την εφαρμογή καινοτόμων και βασισμένων στη φύση τεχνολογιών επεξεργασίας, όπως οι φωτοβιοαντιδραστήρες με βάση τις μικροάλγες**. Αυτοί οι φωτοβιοαντιδραστήρες μπορούν να μειώσουν το άζωτο και τον φώσφορο, να αποτρέψουν τον ευτροφισμό και να συμβάλουν στην καλή ποιότητα των υδάτων, ωστόσο δεν έχουν ακόμη δοκιμαστεί ευρέως σε εξωτερικούς χώρους (Sarker & Kararaju, 2023), ιδίως όσον αφορά τη μείωση των PFAS, των PCB, των PAH και των μετάλλων. Έχουν διεξαχθεί μόνο περιορισμένες έρευνες για φαρμακευτικές ουσίες, όπως η ιβουπροφαίνη και η δικλοφενάκη (αντιφλεγμονώδη) και η καρβαμαζεπίνη (αντισπασμωδικό) (García-Galán et al., 2021), καθώς και για φυτοφάρμακα, όπως η προπανίλη και η ακεταμιπρίδη (Avila et al., 2022).

Το έργο RHE-MEDiation διεύρυνε τις γνώσεις σχετικά με την ικανότητα των φωτοβιοαντιδραστήρων να απομακρύνουν βιομηχανικές χημικές ουσίες (όπως τις PFAS), μέταλλα,

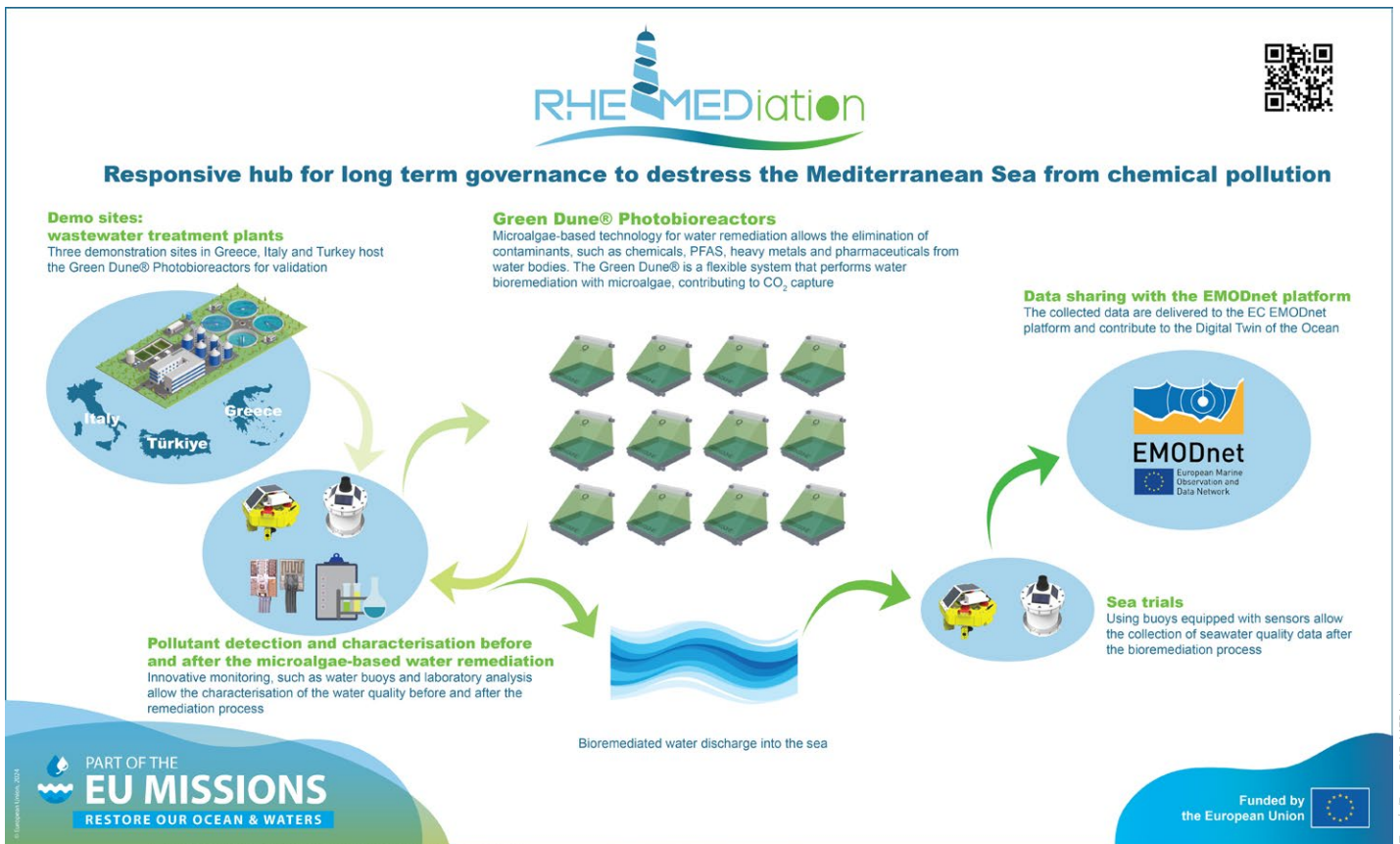
πολιτικές δεσμεύσεις, το 21% των λυμάτων στην περιοχή υποβάλλεται μόνο σε βασική επεξεργασία και λιγότερο από το 8% υποβάλλεται σε τριτοβάθμια επεξεργασία (UNEP/MAP και Plan Bleu, 2020). Επιπλέον, ενώ η Οδηγία για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (UWWTD) θεσπίζει έναν γενικό στόχο πολιτικής για την επίτευξη απομάκρυνσης ρύπων κατά 80% για ουσίες όπως οι υπερφθοροαλκυλιωμένες και πολυφθοροαλκυλιωμένες ουσίες (PFAS), τα φαρμακευτικά προϊόντα, τα μικροπλαστικά και οι χημικές ουσίες στα προϊόντα προσωπικής περιποίησης, το ρυθμιστικό της πλαίσιο στερείται εκτελεστών στόχων, ειδικών για κάθε ένωση, για πολλές από αυτές τις εξαιρετικά ποικίλες χημικές ενώσεις (π.χ. υπάρχουν περίπου 10.000 διαφορετικές ενώσεις PFAS).

Παρόλο που οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων αυξάνουν την ικανότητά τους να επεξεργάζονται ή να εξαλείφουν ορισμένες ουσίες, πιθανότατα δεν θα υπάρξουν ποτέ οι κατάλληλοι τεχνολογικοί ή οικονομικοί πόροι για την απομάκρυνση του 100% της ρύπανσης που προέρχεται από τα ύδατα. Ως εκ τούτου, **η πρόληψη της ρύπανσης πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα**. Οι εν λόγω δράσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν τη μείωση και τη σταδιακή κατάργηση γνωστών επιβλαβών ουσιών στην πηγή, την υποχρεωτική και αυστηρά επιβαλλόμενη διενέργεια εκτιμήσεων περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων (συμπεριλαμβανομένης της υγείας) για νέες ουσίες, καθώς και την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση ρύπανσης λόγω ατυχήματος (UNEP/MAP και Plan Bleu, 2020).

**φυτοφάρμακα και φαρμακευτικές ουσίες** (Εικόνα 2). Η ευέλικτη, κλιμακούμενη και βιώσιμη διαμόρφωση της προσέγγισης RHE-MEDiation μπορεί να υποστηρίξει τους μικρούς και μεσαίους δήμους ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της οδηγίας για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (UWWTD), καθώς και στους υφιστάμενους και μελλοντικούς περιβαλλοντικούς στόχους. **Το σύστημα μπορεί να απομακρύνει βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη (δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων), ρύπους (τριτοβάθμια επεξεργασία) ή να επεξεργάζεται επιφανειακά ύδατα**. Παρόλο που τα λύματα δεν είναι κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση (πόσιμα), θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για απόρριψη στο περιβάλλον και για πιθανές μη πόσιμες εφαρμογές (π.χ. άρδευση, εφόσον τα επεξεργασμένα ύδατα συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του κανονισμού της ΕΕ για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων), με πρόσθετη απολύμανση για τη διασφάλιση της μικροβιολογικής ασφάλειας. Πρόκειται για μια λύση βασισμένη στη φύση και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, για την υποστήριξη του Σχεδίου Δράσης της ΕΕ για τη Μηδενική Ρύπανση<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Διαδικασία μετά τη δευτερογενή επεξεργασία, με στόχο την απομάκρυνση ρύπων που δεν απομακρύνθηκαν επαρκώς από προηγούμενες επεξεργασίες (π.χ. ίχνη οργανικών ουσιών, αιωρούμενα στερεά, διαλυμένα στερεά, μέταλλα).

<sup>10</sup> Ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής COM/2021/400: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021DC0400>



Εικόνα 2. Γραφική αναπαράσταση των κύριων τεχνικών στοιχείων του συστήματος RHE-MEDIation.

Η τεχνολογία αποκατάστασης βασίζεται στον φωτοβιοαντιδραστήρα BLUEMATER<sup>11</sup> Green Dune® (Εικόνα 3): μια μονάδα επεξεργασίας που μεγιστοποιεί την ανάπτυξη των μικροαλγών που υπάρχουν στο νερό, βελτιστοποιώντας την αναλογία επιφάνειας προς όγκο και επιτρέποντας την αποτελεσματική διείσδυση του φωτός. Για να αναπτυχθούν, τα μικροάλλα χρησιμοποιούν το φυσικό ηλιακό φως, τα θρεπτικά συστατικά που υπάρχουν στο νερό (άζωτο, φώσφορο) και την οργανική ύλη. Εάν χρειαστεί, εγχύονται φυσαλίδες αερίου στον φωτοβιοαντιδραστήρα για την αποτελεσματική κατανομή των θρεπτικών ουσιών και του CO<sub>2</sub>, και την αποτροπή της καθίζησης στον πυθμένα του αντιδραστήρα. Οι ρύποι που υπάρχουν στο νερό μεταβολίζονται από τα μικροάλλα, αποθηκεύονται στα κύτταρά τους ή προσκολλώνται στις μεμβράνες τους.

Για την παρακολούθηση της δυναμικής των ρύπων σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιούνται σταθερές και κινητές μονάδες παρατήρησης και αισθητήρες. Οι σταθερές μονάδες, οι οποίες αναπτύχθηκαν από την MDM<sup>12</sup>, εγκαθίστανται στην είσοδο και την έξοδο των φωτοβιοαντιδραστήρων και παρακολουθούν τις αλλαγές στο νερό εντός του συστήματος. Ένας συμπαγής, πολυπαραμετρικός αισθητήρας νερού με έξυπνο καλώδιο, ο οποίος αναπτύχθηκε από τη SENSICHIPS<sup>13</sup>, εκπαιδεύεται με τη χρήση μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση επικίνδυνων ουσιών, όπως βαρέα μέταλλα και φαρμακευτικές ουσίες. Αυτοί οι προηγμένοι αισθητήρες και άλλα ενσωματωμένα αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου παρακολουθούν κρίσιμες παραμέτρους (π.χ. pH, θερμοκρασία)

σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας γρήγορες, απομακρυσμένες ρυθμίσεις στους φωτοβιοαντιδραστήρες (π.χ. αλλαγή του ρυθμού ροής) για μέγιστη αποδοτικότητα.

Διατίθενται δύο μορφές κινητών θαλάσσιων επιφανειακών μονάδων από την MDM:

- 1) Θαλάσσια μη μηχανοκίνητα πλωτά συστήματα χαμηλού κόστους (Εικόνα 4) που τοποθετούνται σε προκαθορισμένη παράκτια περιοχή για τη συλλογή δεδομένων χαμηλής συχνότητας, τα οποία μεταφορτώνονται σε μια υπηρεσία cloud και
- 2) Αυτόνομα επιφανειακά οχήματα (ASV) που πραγματοποιούν δειγματοληψία υψηλής συχνότητας για τη χωρική αξιολόγηση του pH, της αλατότητας, του διαλυμένου οξυγόνου και άλλων οικολογικών δεικτών της ποιότητας του νερού.

Τόσο οι σταθερές όσο και οι κινητές μονάδες παρέχουν δεδομένα με γεωγραφική επισήμανση στο EMODnet<sup>14</sup> μέσω μιας αυτοματοποιημένης υπηρεσίας εισαγωγής δεδομένων που αναπτύχθηκε από τη RINA-C<sup>15</sup>.

Η προσαρμοστική τεχνολογία του RHE-MEDIation, η οποία βασίζεται σε μικροάλλα, είναι συμπαγής και αρθρωτή, και μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί στις υπάρχουσες υποδομές για να συμπληρώσει άλλες διαδικασίες επεξεργασίας νερού. Το σύστημα μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα με μικρότερο

<sup>11</sup> <https://www.bluemater.com/>

<sup>12</sup> <https://www.mdmteam.eu/>

<sup>13</sup> <https://www.sensichips.com/>

<sup>14</sup> <https://ingestion-erddap.emodnet-physics.eu/erddap/search/index.html>

<sup>15</sup> <https://www.rina.org/>



**Εικόνα 3.** Φωτοβιοαντιδραστήρες GREEN DUNE® εγκατεστημένοι στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου Πεδίου, στην Ελλάδα

αποτύπωμα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους επεξεργασίας. Μπορεί να επεξεργαστεί έως και 3.000 m<sup>3</sup> λυμάτων ανά εκτάριο, απαιτώντας λιγότερο χώρο από τα συστήματα ενεργού ιλύος.

Η κεφαλαιουχική δαπάνη για τις τεχνολογίες RHE-MEDIation είναι παρόμοια με εκείνη της αντίστροφης όσμωσης και των παραδοσιακών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων. Το λειτουργικό κόστος του συστήματος RHE-MEDIation είναι

περίπου το μισό σε σχέση με το κόστος της αντίστροφης όσμωσης. Η κατανάλωση ενέργειας είναι ελάχιστη, καθώς το σύστημα λειτουργεί κυρίως μέσω ηλιαυτοματοποιημένων, παθητικών διεργασιών, και χρησιμοποιεί τη συνεχή ροή λυμάτων μέσω της βαρύτητας και το φυσικό φως του ήλιου. Οι μικροάλγες παράγουν οξυγόνο, το οποίο χρησιμοποιείται από τα βακτήρια για την αποσύνθεση των υπολειμματικών οργανικών ουσιών, μειώνοντας την ανάγκη για μηχανικό αερισμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκτιμώμενη μείωση του ενεργειακού κόστους κατά περίπου 75% σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων. Ως εκ τούτου, το σύστημα RHE-MEDIation μειώνει τις λειτουργικές δαπάνες, έχει πολύ χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα και διευκολύνει την επεξεργασία των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους.

Οι φωτοβιοαντιδραστήρες Green Dune® χρειάζονται χημικές ουσίες μόνο για τη βαθμονόμηση, τη βελτιστοποίηση και τον καθαρισμό των μεμβρανών και, ανάλογα με το φορτίο άνθρακα των λυμάτων, ενδέχεται να χρειαστεί CO<sub>2</sub> για την ενίσχυση της ανάπτυξης των μικροαλγών κατά την εγκατάσταση. Η συχνότητα με την οποία πρέπει να καθαρίζονται οι φωτοβιοαντιδραστήρες ποικίλλει ανάλογα με το είδος των μικροαλγών που κυριαρχούν στο σύστημα. Η υπολειμματική ιλύς αποτελεί κυρίως συμπυκνωμένη βιομάζα μικροαλγών, η οποία μπορεί να αποτελέσει πηγή για δευτερογενή προϊόντα, όπως λιπάσματα ή βιοκαύσιμα (κυρίως βιοαιθανόλη και βιοαέριο). Ωστόσο, η ταξινόμηση και η διαχείριση της βιομάζας εξαρτώνται από την προέλευση των λυμάτων που πρόκειται να υποστούν επεξεργασία και από τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησής τους. Για παράδειγμα, τα προκαταρκτικά αποτελέσματα από το σύστημα RHE-MEDIation υποδεικνύουν ότι η συσσώρευση μετάλλων στη βιομάζα βρίσκεται εντός των ορίων που έχουν καθοριστεί από την οδηγία της ΕΕ για την ιλύ καθαρισμού λυμάτων<sup>16</sup> όσον αφορά την επαναχρησιμοποίησή της στη γεωργία, αλλά απαιτείται περαιτέρω έρευνα. Η βιομάζα μπορεί επίσης να αποτεφρωθεί (πυρόλυση) για την αποδόμηση ή τη συμπύκνωση των ρύπων και την παραγωγή πολύτιμου βιοξυλάνθρακα, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φίλτρο στην επεξεργασία λυμάτων.

## Προσαρμοστική προσέγγιση στις τοπικές και περιφερειακές πραγματικές συνθήκες

Ο αρθρωτός χαρακτήρας του συστήματος RHE-MEDIation το καθιστά επεκτάσιμο και προσαρμοστικό (Εικόνα 5). Ο ευέλικτος σχεδιασμός και η απλή ενσωμάτωση αυτού του συστήματος το καθιστούν ιδανικό για τη συμπλήρωση της επεξεργασίας λυμάτων σε μικρούς και μεσαίους δήμους σε αγροτικές ή απομακρυσμένες περιοχές, όπου ο χώρος δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα.

Με την αλλαγή της ροής εισόδου και της διάρκειας παραμονής του νερού, το σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί στις τοπικές και εποχικές διακυμάνσεις που προκαλούνται από τη φυσική και ποικιλόμορφη κοινότητα μικροαλγών που υπάρχει στα λύματα ή στα επιφανειακά ύδατα. Κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ηλιοφάνειας (π.χ. τον χειμώνα), η παραγωγικότητα μειώνεται, αλλά δεν σταματά, καθώς ορισμένα είδη μικροαλγών μπορούν να συνεχίσουν να επιβιώνουν με CO<sub>2</sub> και οργανικό

άνθρακα. Για την αντιστάθμιση της μειωμένης έντασης του φωτός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τεχνητός φωτισμός, αλλά αυτό απαιτεί διεξοδική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, της φύσης και του φορτίου των λυμάτων, της επιθυμητής ποιότητας του νερού που πρέπει να επιτευχθεί και της διαθεσιμότητας ενέργειας (π.χ. μέσω ηλιακών συλλεκτών). Η παραγωγικότητα μπορεί επίσης να επηρεαστεί προσωρινά από δυσμενείς καιρικές συνθήκες ή τοξικές διαταραχές (είσοδος τοξικών ουσιών στο σύστημα). Ωστόσο, οι φυσικές μικροάλγες και τα βακτήρια στους φωτοβιοαντιδραστήρες αναγεννώνται μέσα σε λίγες ημέρες, ενώ οι μικροάλγες που βασίζονται σε βιομεμβράνη παρέχουν πρόσθετη ανθεκτικότητα στην κοινότητα. Το σύστημα είναι επίσης εξοπλισμένο με μονάδα υπερδιήθησης, η οποία συγκρατεί τα μικροάλγη και τα βακτήρια εντός του συστήματος.

<sup>16</sup> Οδηγία του Συμβουλίου 86/278/ΕΕΚ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1986/278>

Το σύστημα RHE-Mediation έχει δοκιμαστεί σε τρεις πιλοτικές εγκαταστάσεις:

- Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου Πεδίου, το οποίο διαχειρίζεται η ΕΥΔΑΠ<sup>17</sup>, εξυπηρετεί διάφορους αστικούς δήμους, καθώς και κοντινές βιομηχανίες και επιχειρήσεις, και απορρίπτει λύματα στον Κόλπο της Ελευσίνας (Αττική, Ελλάδα). Σε αυτήν την περίπτωση, το σύστημα RHE-MEDIation εφαρμόστηκε ως μεταδευτεροβάθμια επεξεργασία, γεγονός που επέτρεψε την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του στην απομάκρυνση χημικών ρύπων που διαφεύγουν εν μέρει ή πλήρως από την παραδοσιακή επεξεργασία. Μετά την ανακύκλωση 3.500 m<sup>3</sup> λυμάτων, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν αποτελεσματική απομάκρυνση (50-100%) θρεπτικών ουσιών και μετάλλων (ψευδάργυρος και μόλυβδος), επιτυγχάνοντας μέγιστες αποδόσεις απομάκρυνσης >50% για περισσότερες από 100 φαρμακευτικές ενώσεις, βιομηχανικές χημικές ουσίες (συμπεριλαμβανομένων των PFAS), τεχνητές γλυκαντικές ουσίες, διεγερτικά, προϊόντα προσωπικής περιποίησης, φυτοπροστατευτικά προϊόντα, επιφανειοδραστικές ουσίες, PAH και PCB. Το σύστημα επεξεργάστηκε την ακεσουλφάμη (για την οποία υπάρχουν υποψίες ότι αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου) και τις φαρμακευτικές ουσίες τρικλοσάνη και ριφαξιμίνη κατά 100% σε όλες τις περιπτώσεις. Επίσης, πέτυχε μέγιστη απόδοση απομάκρυνσης 100% για το υπερφθοροδεκανοϊκό οξύ (PFDA), το υπερφθοροδωδεκανοϊκό οξύ (PFDoA), την ατενολόλη, την καφεΐνη, τη νικοτίνη, τη φλουδιοξονίλη, την τραζοδόνη, την πενταχλωροφαινόλη και την κλοπιδογρέλη. Επιπλέον, το σύστημα επεξεργάστηκε το υπερφθοροοκτανοσουλφονικό οξύ (PFOS) με μέγιστη απόδοση απομάκρυνσης 98% και το υπερφθορονονανοϊκό οξύ (PFNA) με μέγιστη απόδοση απομάκρυνσης 78%. Αυτά τα ποσοστά απομάκρυνσης ήταν σύμφωνα με την ενωσιακή και την εθνική νομοθεσία και τους περιβαλλοντικούς στόχους.
- Το Δημοτικό Κέντρο Προηγμένης Βιολογικής Επεξεργασίας Λυμάτων του Ντιλόβασι, το οποίο διαχειρίζεται η YURT MUH<sup>18</sup>, επεξεργάζεται οικιακά και βιομηχανικά λύματα και τα απορρίπτει στον Κόλπο της Ιζμίτ (Κοτζαελί, Τουρκία). Το σύστημα RHE-MEDIation εφαρμόστηκε μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία και δοκιμάστηκε με υψηλότερα οργανικά και αιωρούμενα φορτία. Μετά την ανακύκλωση 500 m<sup>3</sup> λυμάτων, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν αποτελεσματικά ποσοστά απομάκρυνσης θρεπτικών ουσιών (40-97%), μεταλλικών στοιχείων προτεραιότητας, όπως το νικέλιο, ο μόλυβδος και ο υδράργυρος (>50%), άλλων ρύπων, όπως οι PAH και τα φυτοφάρμακα (>50%), καθώς και υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης αιωρούμενων υλικών (73-95%), τα οποία πληρούν τα εθνικά όρια απόρριψης.
- Το φυτώριο Vivaio Leggiadrezze δοκίμασε το σύστημα για την επεξεργασία φυσικών υδάτων από τον ποταμό Galeso, τα οποία έχουν υποβαθμιστεί από παράνομους χώρους υγειονομικής ταφής στις όχθες του και απορρίπτονται στη Mar Piccolo (Τάραντας, Ιταλία). Το σύστημα RHE-MEDIation παρακολουθούσε συνεχώς τις θρεπτικές ουσίες και τις χημικές ενώσεις και επέδειξε μέσο ποσοστό απομάκρυνσης θρεπτικών ουσιών (>30%) και αποτελεσματική απομάκρυνση του βορίου (>20-70%).

Οι πιλοτικές εγκαταστάσεις του συστήματος RHE-Mediation καταδεικνύουν την **απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών, μετάλλων και χημικών ουσιών από τα λύματα και τα φυσικά ύδατα, ανάλογα με τις συνθήκες, τις ενώσεις και την εποχή**. Ωστόσο, απαιτούνται περαιτέρω δοκιμές και βελτιστοποίηση για την αντιμετώπιση λειτουργικών προκλήσεων, όπως η απόφραξη των φίλτρων λόγω της αυξημένης εξάπλωσης των αλγών. Ορισμένες διακυμάνσεις στα αποτελέσματα μπορεί να οφείλονται σε λειτουργικές διακυμάνσεις κατά την εγκατάσταση του συστήματος και την αρχική λειτουργία του. Η διακύμανση μπορεί επίσης να οφείλεται στα διαφορετικά είδη μικροαλγών και βακτηρίων που υπάρχουν στα επεξεργασμένα ύδατα. Καθώς το σύστημα RHE-Mediation δοκιμάστηκε σε διάφορα περιβάλλοντα και εποχές, τα ευρήματα αναδεικνύουν τη δυναμική φύση των φωτοβιοαντιδραστήρων, καθώς η απομάκρυνση ρύπων, όπως ο φώσφορος, εξαρτάται από την κοινότητα των ειδών μικροαλγών. Τα υψηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης των ρύπων παρατηρήθηκαν γενικά το καλοκαίρι, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Είναι σημαντικό οι μελλοντικοί υπεύθυνοι υλοποίησης να αξιολογήσουν διεξοδικά:

- 1) τα χαρακτηριστικά των λυμάτων που πρόκειται να υποστούν επεξεργασία,
- 2) την επιθυμητή ποιότητα του νερού που πρέπει να επιτευχθεί και
- 3) την προβλεπόμενη χρήση του επεξεργασμένου νερού ή το σημείο απόρριψής του, ώστε να διασφαλιστεί ότι το σύστημα RHE-MEDIation καλύπτει τις ανάγκες τους.



**Εικόνα 4.** Κόμβος παρακολούθησης για τη συλλογή δεδομένων νερού κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής.

<sup>17</sup> <https://www.eydap.gr/en/home>

<sup>18</sup> <http://yurtmuhendislik.com.tr/>

Στο πλαίσιο του έργου RHE-MEDiation αναπτύχθηκαν επίσης **στρατηγικές αναπαραγωγής και χάρτες πορείας σε συνεργασία με τις τοπικές αρχές στη Βουλγαρία, την Αίγυπτο, τη Μολδαβία και το Μαρόκο**, οι οποίες επωφελήθηκαν από μια ευρωπαϊκή επιχορήγηση για να καταδείξουν τη σκοπιμότητα, τη δυνατότητα αναπαραγωγής και την κλιμάκωση της προσέγγισης RHE-MEDiation για την αντιμετώπιση της ρύπανσης στις επιλεγμένες τοποθεσίες τους. Αυτή η στοχευμένη συνεργασία ενίσχυσε τους δεσμούς μεταξύ της Ευρώπης και των γειτονικών της περιοχών, δρομολογώντας μια μακροπρόθεσμη συνεργασία στην περιοχή της Μεσογείου. Προσέφερε επίσης ευκαιρίες για την ενίσχυση της θεσμικής συνεργασίας μέσω τεχνικής βοήθειας, διαλόγου για τις πολιτικές και κοινών μηχανισμών μάθησης, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης σε εκπαιδευτικές ενότητες, συνεδριών ανταλλαγής απόψεων μεταξύ ομοτίμων σε δοκιμαστικές εγκαταστάσεις και πρακτικής υποστήριξης για την προσαρμογή των τεχνολογιών αποκατάστασης στις τοπικές περιβαλλοντικές και κανονιστικές συνθήκες. Διευκολύνθηκε η σύζευξη μεταξύ των παρόχων λύσεων και των περιφερειακών αρχών, γεγονός που επέτρεψε τον από κοινού σχεδιασμό σχεδίων υλοποίησης που λαμβάνουν υπόψη τόσο τα επιστημονικά δεδομένα όσο και τις εδαφικές προτεραιότητες, καθώς και

την αντιμετώπιση του κατακερματισμού των αρμοδιοτήτων διαχείρισης των υδάτων.

Ωστόσο, η αποτελεσματική υλοποίηση απαιτεί:

- 1) τεχνολογικές ικανότητες,
- 2) υποστηρικτικές δομές διακυβέρνησης,
- 3) θεσμική ετοιμότητα,
- 4) διυπηρεσιακό συντονισμό και
- 5) πολιτική δέσμευση για την επίτευξη μακροπρόθεσμων περιβαλλοντικών στόχων.

Για παράδειγμα, στις ευρωπαϊκές χώρες, οι δήμοι είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνοι για την επεξεργασία των υδάτων, ενώ σε χώρες εκτός ΕΕ, διάφορες αρχές, όπως υπουργεία ή μεμονωμένες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, ενδέχεται να μοιράζονται την ευθύνη. Η προσαρμοστικότητα είναι κίριας σημασίας για να διασφαλιστεί ότι οι μελλοντικές εγκαταστάσεις αναπαραγωγής θα προσαρμόσουν την παρέμβαση στο οικολογικό, κοινωνικό και ρυθμιστικό τους πλαίσιο, ενισχύοντας τη μακροπρόθεσμη επιτυχία και τη δυνατότητα κλιμάκωσης των δράσεων αποκατάστασης της ρύπανσης.

## Διακυβέρνηση χωρίς αποκλεισμούς μέσω της τοπικής ενδυνάμωσης

Η συστηματική συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών κατά τη διάρκεια του έργου RHE-MEDiation επέτρεψε την ενδυνάμωση σε όλα τα επίπεδα και πολλαπλασίασε την υποστήριξη, την αποδοχή και την υιοθέτηση της προσέγγισης σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Αυτό βασίστηκε στη συνεχή, πολυεπίπεδη συνεργασία με τους πολίτες και τα ενδιαφερόμενα μέρη, η οποία διασφάλισε ότι οι περιβαλλοντικές λύσεις ήταν τόσο νόμιμες όσο και βιώσιμες.



**Εικόνα 5.** Το σύστημα RHE-MEDiation εγκατεστημένο στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων του Ντιλόβασι, στην Τουρκία.

Για τη συνεργασία με τις τοπικές διοικήσεις, τις ομάδες της κοινωνίας των πολιτών, τη βιομηχανία και τους νέους (μαθητές και φοιτητές), διοργανώθηκαν έρευνες, άμεσες αλληλεπιδράσεις, εργαστήρια με συζητήσεις στρογγυλής τραπέζης και πρωτοβουλίες προβολής και ευαισθητοποίησης. Αυτές οι δραστηριότητες έδωσαν τη δυνατότητα στους ενδιαφερόμενους φορείς να εκφράσουν τις απόψεις τους σχετικά με τη χημική ρύπανση και να συμμετάσχουν στον σχεδιασμό των πιλοτικών δράσεων. Η επικύρωση για συγκεκριμένες εγκαταστάσεις μαζί με τα ενδιαφερόμενα μέρη επέτρεψε τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και την ευθυγράμμιση της παρακολούθησης και των κανονιστικών ρυθμίσεων, ενώ παράλληλα ενισχύθηκε η εμπιστοσύνη. Οι επακόλουθες δραστηριότητες συμμετοχής επεκτάθηκαν από το τοπικό στο εθνικό επίπεδο, όπου συζητήθηκαν τα οικονομικά εμπόδια και η ανάγκη για καλύτερες τεχνικές ικανότητες. Οι συζητήσεις δεν επικεντρώθηκαν μόνο στα άμεσα οφέλη, αλλά και στις ευρύτερες κοινωνικές επιπτώσεις της προσέγγισης RHE-MEDiation.

Ορισμένα πιθανά κοινωνικά οφέλη είναι μεταξύ άλλων τα εξής:

- Πρόσβαση σε καθαρότερο νερό·
- Λιγότερες οσμές και καλύτερη δημόσια υγεία για την τοπική κοινότητα χάρη στις βελτιωμένες υποδομές επεξεργασίας των υδάτων·
- Μείωση της πίεσης στα αποθέματα πόσιμου νερού, καθώς τα επεξεργασμένα λύματα που συμμορφώνονται με τη νομοθεσία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μη πόσιμες εφαρμογές·
- Συμβολή στην οικονομική ανάπτυξη μέσω της δημιουργίας τοπικών ευκαιριών απασχόλησης·
- Ασφαλέστερες συνθήκες εργασίας λόγω της μειωμένης χρήσης χημικών ουσιών·
- Συνεργασία με τοπικές βιομηχανίες και προμηθευτές για την ενίσχυση της βιωσιμότητας του κλάδου· και

- Προώθηση νέων τεχνολογιών στον κλάδο της επεξεργασίας των υδάτων, καθώς και για την παρακολούθηση.
- Η προσέγγιση RHE-MEDIation επέδειξε θετικές κοινωνικές επιπτώσεις στην τοπική κοινότητα, ενώ παράλληλα υπήρξε μακροπρόθεσμα οικονομικά συμφέρουσα.

## Προτάσεις

Η προσέγγιση RHE-MEDIation αντιμετωπίζει υφιστάμενους και αναδυόμενους ρύπους, συνάδει με τους στόχους της ΕΕ για τη ρύπανση και το κλίμα (π.χ. τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων) και επιτρέπει την αξιοποίηση της βιομάζας (π.χ. την παραγωγή βιοκαυσίμων από υπολείμματα λάσπης), προσφέροντας τόσο περιβαλλοντολογικά όσο και οικονομικά οφέλη.

Με βάση τα ευρήματα του έργου και την εμπειρία από τη δοκιμή μας καινοτόμου τεχνολογίας αποκατάστασης για την αποσυμφόρηση της Μεσογείου από τη χημική ρύπανση, οι ακόλουθες συστάσεις θα συμβάλουν στον εκσυγχρονισμό της επεξεργασίας λυμάτων και θα διευκολύνουν την υιοθέτηση της προσέγγισης RHE-MEDIation:

## Πρόληψη της ρύπανσης & μείωση των κινδύνων

- Η **Ευρωπαϊκή Επιτροπή** θα πρέπει να δώσει προτεραιότητα στη μείωση και τη σταδιακή κατάργηση γνωστών επιβλαβών ουσιών και να επιβάλει τη διενέργεια εκτιμήσεων των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων (συμπεριλαμβανομένης της υγείας) για τις νέες ουσίες, ως μέτρα πρόληψης της ρύπανσης.
- Οι **περιφερειακές και τοπικές αρχές** θα πρέπει να προωθήσουν την εφαρμογή της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο ως συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για τον εντοπισμό βλαβών σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων ή ατυχηματικής/παράνομης ρύπανσης από μη επεξεργασμένες επικίνδυνες/τοξικές ενώσεις ή ουσίες.

## Αναγνώριση της επεξεργασίας με βάση τις μικροάλγες

- Τα **κράτη-μέλη της ΕΕ και οι περιφερειακές και τοπικές αρχές** θα πρέπει να αναγνωρίσουν τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων με βάση τις μικροάλγες ως επιλογή δευτεροβάθμιας, τριτοβάθμιας, τεταρτοβάθμιας ή ολοκληρωμένης επεξεργασίας, προκειμένου να διευκολυνθεί η εφαρμογή της Οδηγίας για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (UWWTD) και του κανονισμού για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων και να συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων της Οδηγίας-Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ) και της Οδηγίας-Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (ΟΠΘΣ).
- Η **Ευρωπαϊκή Επιτροπή, τα κράτη-μέλη της ΕΕ και οι περιφερειακές και τοπικές αρχές** θα πρέπει να παρέχουν κίνητρα για τη σύναψη συμπράξεων μεταξύ δημόσιου, ιδιωτικού και ακαδημαϊκού τομέα, με σκοπό την περαιτέρω διερεύνηση της εφαρμογής της επεξεργασίας λυμάτων με βάση τις μικροάλγες σε διάφορους τομείς (π.χ. γεωργία, νοσοκομεία, σφαγεία και επεξεργασία κρέατος, καθώς και κλάδοι κλωστοϋφαντουργίας, φαρμακευτικής, τροφίμων και ποτών), την επιτάχυνση της υιοθέτησης καινοτόμων προσεγγίσεων για την επεξεργασία των υδάτων και τη διερεύνηση εναλλακτικών χρήσεων του νερού και της βιομάζας που προκύπτουν (π.χ. κατασκευές, ψύξη εξοπλισμού, παραγωγή ενέργειας).
- Η **Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τα κράτη-μέλη της ΕΕ** θα πρέπει να παρέχουν τεχνικές κατευθυντήριες γραμμές και οικονομικά κίνητρα για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των λυμάτων και τον καθορισμό των στόχων επεξεργασίας σε αγροτικές ή απομακρυσμένες μικρές και μεσαίες κοινότητες (με περισσότερους από 1.000 κατοίκους), με σκοπό την υιοθέτηση και την ενσωμάτωση μονάδων επεξεργασίας με βάση τις μικροάλγες στις υπάρχουσες υποδομές σε περιοχές όπου υπάρχει διαθέσιμος χώρος αλλά δεν υπάρχουν επαρκείς υποδομές επεξεργασίας λυμάτων.

## Εναρμόνιση προτύπων, στόχων & κανονισμών

- Η **Ευρωπαϊκή Επιτροπή** θα πρέπει να θεσπίσει σαφείς και συγκεκριμένους στόχους και πρότυπα για την απομάκρυνση των ρύπων, όσον αφορά τα αποδεκτά επίπεδα εκπομπών των αναδυόμενων ρύπων (π.χ. φαρμακευτικές ουσίες, προϊόντα προσωπικής περιποίησης και PFAS), στις οδηγίες της ΕΕ για τα ύδατα, προκειμένου να διασφαλιστεί μια ενιαία αντιμετώπιση από τα κράτη-μέλη.
- Η **Ευρωπαϊκή Επιτροπή** θα πρέπει να εναρμονίσει τα πρότυπα σε επίπεδο ΕΕ σχετικά με τα επιτρεπόμενα επίπεδα ρύπων για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υδάτων και της βιομάζας (π.χ. ως λιπάσματα ή βιοκαύσιμα), προκειμένου να προωθήσει την επαναχρησιμοποίηση αυτών των προϊόντων στη γεωργία ή σε άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες.

## Παρακολούθηση & δείκτες

- Η **Ευρωπαϊκή Επιτροπή** θα πρέπει να αναπτύξει τυποποιημένες μεθόδους παρακολούθησης και σαφείς τεχνικές κατευθυντήριες γραμμές (π.χ. εργαστηριακές διαδικασίες) για να διασφαλίσει τη συμμόρφωση με τα καθορισμένα όρια εκπομπών ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των δεικτών απόδοσης για τη δέσμευση CO<sub>2</sub> από μικροάλγη και τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης της βιομάζας.

## Πηγές

Avila, R., García-Vara, M., López-García, E., Postigo, C., de Alda, M. L., Vicent, T., & Blázquez, P. (2022). Evaluation of an outdoor pilot-scale tubular photobioreactor for removal of selected pesticides from water. *Science of the Total Environment*, 804, 150040. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150040>

ΕΟΠ, 2019, Marine messages II — navigating the course towards clean, healthy and productive seas through implementation of an ecosystem-based approach, Έκθεση ΕΟΠ αριθ. 17/2019, Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/marine-messages-2>

García-Galán, M. J., Matamoros, V., Uggetti, E., Díez-Montero, R. & García, J. (2021). Removal and environmental risk assessment of contaminants of emerging concern from irrigation waters in a semi-closed microalgae photobioreactor. *Περιβαλλοντική έρευνα*, 194, 110278. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110278>

Sarker, N. K., & Kararaju, P. (2023). Μια κριτική ανασκόπηση της κατάστασης και της προόδου της καλλιέργειας μικροφυκών σε υπαίθριους φωτοβιοαντιδραστήρες που πραγματοποιήθηκε σε διάστημα 35 ετών (1986–2021). *Ενέργειες*, 16(7), 3105. <https://doi.org/10.3390/en16073105>

Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον / Σχέδιο Δράσης για τη Μεσόγειο και Plan Bleu (2020). Η κατάσταση του περιβάλλοντος και της ανάπτυξης στη Μεσόγειο. Ναϊρόμπι. <https://www.unep.org/unepmap/resources/2020-edition-state-environment-and-development-mediterranean-soed>

Ziveri, P., Grelaud, M., Pato, J. 2023, Research for REGI Committee – [Study on Actions of cities and regions in Mediterranean Sea area to fight sea pollution; Reducing marine litter and plastic pollution], European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL\\_STU\(2023\)733123](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2023)733123)



Πηγή: ΕΥΛΑΠ

## Ευχαριστίες

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Θαλασσών εκφράζει τις ευχαριστίες του στους συντάκτες και τους επιμελητές.

**Σύνταξη:** Ángel Muñiz Piniella, Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Θαλασσών.

**Συντονισμός και επιμέλεια:** Ángel Muñiz Piniella και Sheila J.J. Heymans, Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Θαλασσών.

**Επιμελητές:** Francesco Camonita, Δέσποινα Φάττα-Κασσίνου

**Πρόσθετες συνεισφορές:** Luca Ricci, Elisa Acciardo, Laura Magnasco, Rocio Milagros Renna, Lorenzo Ferlin (RINA-C)· Γιώργος Κατσούρας, Θεοδώρα Παραμάνα, Ανθή Υφαντή, Γεώργιος Τσατσανίφρος (ΕΥΔΑΠ)· Κωνσταντίνος Παρινός, Νίκος Στρεφτάρης, Ιωάννης Χατζηανέστης (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε)· Magda Di Leo, Marcella Narracci, Antonino Adamo (CNR)· Elif Atasoy Aytis, Mehmet Dilaver (TUBITAK MAM)· Luísa Barreira, Davide Liberti (CCMAR)· Nuno Gomes, Rita Polónia (BLUEMATER)· Roberto Simmarano (SENSICHIPS)· Angelo D'Amante (MDM)· Paula Kellett, Britt Alexander, Ana Rodriguez Perez και Fernanda Bayo Ruiz (European Marine Board).

**Σχεδιασμός:** Zoeck

**Γραφικά πληροφοριών:** Leonardo Corsi

**Εικόνες εξωφύλλου:** EMB, ΕΥΔΑΠ Α.Ε., YURT MUH, TUBITAK, MDM Team

**Μετάφραση:** Translated

## Διευθύνσεις επικοινωνίας για περισσότερες πληροφορίες

[info@marineboard.eu](mailto:info@marineboard.eu); [info@rhemediation.eu](mailto:info@rhemediation.eu)

## Λέξεις-κλειδιά

Χημική ρύπανση, αποκατάσταση με μικροάλγη, επεξεργασία υδάτων, συστήματα παρακολούθησης, συμμετοχή των πολιτών.

## Παράθεμα

RHE-MEDiation (2026). Reducing Chemical Pollution through Innovative Nature-Based Water Treatment. Ενημερωτικό δελτίο πολιτικής RHE-MEDiation, δημοσιευμένο από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Θαλασσών, Οστάνδη, Βέλγιο. ISBN: 9789464206425. Αναγν. ψηφ. αντικειμένου: 10.5281/zenodo.18504548.

## Πνευματικά δικαιώματα και χρήση

Η παρούσα είναι μια δημοσίευση ανοικτής πρόσβασης που διανέμεται σύμφωνα με τους όρους της άδειας Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). Επιτρέπεται η χρήση, η διανομή ή η προσαρμογή σε άλλα μέσα, υπό την προϋπόθεση ότι αναφέρονται οι αρχικοί συντάκτες και οι κάτοχοι των πνευματικών δικαιωμάτων, παρατίθεται η αρχική δημοσίευση, παρέχεται σύνδεσμος προς την άδεια Creative Commons και επισημαίνονται τυχόν αλλαγές που έχουν γίνει στο αρχικό περιεχόμενο. Δεν επιτρέπεται η χρήση, διανομή ή αναπαραγωγή που δεν συμμορφώνεται με τους παρόντες όρους.

## Δήλωση για την τεχνητή νοημοσύνη

Για τη γλωσσική επιμέλεια του παρόντος εγγράφου χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο τεχνητής νοημοσύνης Chat GPT. Η τεχνητή νοημοσύνη δεν έχει χρησιμοποιηθεί για καμία βασική εργασία σύνταξης κειμένου, όπως η παραγωγή επιστημονικών πληροφοριών, η σύνταξη ανασκόπησης βιβλιογραφίας, η εξαγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων ή η διατύπωση συστάσεων.

This Policy Brief was written by the EMB Secretariat and other partners in the RHE-MEDiation project.

PUBLISHED APRIL 2026

European Marine Board IVZW  
Belgian Enterprise Number: 0650.608.890  
Jacobsenstraat 1  
8400 Ostend Belgium  
Tel: +32 (0)59 56 98 00

[www.marineboard.eu](http://www.marineboard.eu)



**Funded by  
the European Union**