

**Εργαλεία γεωχωρικής εκτίμησης ρυπαντικού φορτίου λιμανιών και αντίστοιχων περιβαλλοντικών επιπτώσεων**

**Tools for the geospatial assessment of pollutant loads in ports and harbors as well as the respective environmental impacts**

**Φανή Σακελλαριάδου**

*Εργαστήριο Γεωχημικής Ωκεανογραφίας, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, Σχολή  
Ναυτιλίας και Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς  
[fsakelar@unipi.gr](mailto:fsakelar@unipi.gr)*

**Περίληψη**

Οι επιπτώσεις του ρυπαντικού φορτίου στο θαλάσσιο περιβάλλον έχουν ενταθεί την τελευταία δεκαετία λόγω της ανθρωπογενούς πίεσης στα θαλάσσια οικοσυστήματα ενώ πλήθος συμβάσεων προσπαθούν να ελέγξουν και να περιορίσουν τη θαλάσσια ρύπανση. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί το παράκτιο περιβάλλον και ειδικότερα οι περιοχές των λιμανιών λόγω του εύρους και των συγκεντρώσεων του ρυπαντικού φορτίου που δέχονται. Δεδομένου του ρόλου των θαλάσσιων ιζημάτων σαν τον τελικό αποδέκτη των ρυπαντών που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον και της δράσης τους σαν δευτερογενείς ρυπαντικές πηγές, μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στις εργασίες βυθοκόρησης που συχνά επιτελούνται στα λιμάνια.

Σήμερα διαφαίνεται μια αυξανόμενη τάση για μια ολιστική προσέγγιση της λιμενικής υπηρεσίας και τα λιμάνια μπορούν να εφαρμόσουν ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Τα πολλαπλά οφέλη αυτής της εφαρμογής συμπυκνώνονται στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης, την πρόληψη της ρύπανσης και τη συμβολή στη διατήρηση της ενέργειας και των φυσικών πόρων.

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων των ρυπαντικών πηγών απαιτεί το διαχωρισμό τους σε ανθρωπογενείς και φυσικές. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν κατάλληλα εργαλεία, όπως η στατιστική επεξεργασία πολλαπλών μεταβλητών και διάφοροι βιολογικοί δείκτες. Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η χωρική απεικόνιση του ρυπαντικού φορτίου και για το λόγο αυτό απαιτείται η εφαρμογή GIS. Το αποτέλεσμα της χρήσης όλων αυτών των βοηθημάτων είναι η συστηματική παρακολούθηση της περιβαλλοντικής κατάστασης της λιμενικής περιοχής.

**Εισαγωγή**

Τα λιμάνια λόγω των αυξημένων επιπέδων ναυτιλιακών και άλλων βιομηχανικών δραστηριοτήτων θεωρούνται σαν περιοχές συσσώρευσης ρυπαντικού φορτίου. Ρυπαντές όπως αντιρρυπαντικά υφαλοχρώματα, υδρογονάνθρακες, υδατικά διαλύματα ποικίλων προελεύσεων που καταλήγουν στο περιβάλλον χωρίς να έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία καθώς επίσης φορτία προερχόμενα από διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες συσσωρεύονται στη στήλη νερού και καταλήγουν στα θαλάσσια ιζήματα. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει επίπεδα χρόνιας ρύπανσης προκαλώντας περιβαλλοντική και οικολογική υποβάθμιση της περιοχής με πιθανές σοβαρές επιπτώσεις στις θαλάσσιες βιοκοινωνίες (Sakellariadou, 2013).

**Νομοθετικό Πλαίσιο**

Οι επιπτώσεις της θαλάσσιας ρύπανσης έγιναν εμφανείς μετά το περιστατικό Μιναμάτα στην Ιαπωνία το 1956 που προκλήθηκε από τη διαρροή διμεθυλικού υδραργύρου στη θάλασσα από ένα χημικό εργοστάσιο προκαλώντας τη μόλυνση ολόκληρου του κόλπου Μιναμάτα. Αυτό οδήγησε στο θάνατο ψαριών, θαλάσσιων πτηνών και ανθρώπων, ενώ πολλαπλάσιος ήταν ο αριθμός εκείνων που είτε άμεσα είτε έμμεσα επηρεάστηκαν (Brown, 1987).

Σήμερα υπάρχει ένα ευρύ νομοθετικό πλαίσιο για να ρυθμίσει και να διαχειριστεί το παγκόσμιο θαλάσσιο περιβάλλον.

Διεθνείς Συμβάσεις για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης:

- Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS), 1982
- Παγκόσμια Σύμβαση για τη Βιοποικιλότητα (CBD), 2000
- Διεθνής Σύμβαση για την Επέμβαση στην Ανοικτή Θάλασσα σε Περίπτωση Απωλειών λόγω Πετρελαϊκής Ρύπανσης (INTERVENTION), 1969
- Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από Απορρίψεις Πλοίων και Αεροσκαφών, (Σύμβαση Όσλο), 1972
- Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία, 1973, όπως τροποποιήθηκε από το Πρωτόκολλο του 1978 (MARPOL)
- Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από Απορρίψεις Κατάλοιπων και Άλλων Υλών (Σύμβαση Λονδίνου), 1972 (και Πρωτόκολλο Λονδίνου, 1996)
- Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από Χερσαίες Πηγές (Σύμβαση Παρισιού), 1974
- Διεθνής Σύμβαση για την Προετοιμασία, Συνεργασία και Αντιμετώπιση της Ρύπανσης της Θάλασσας από Πετρέλαιο (Σύμβαση Λονδίνου, OPRC), 1990
- Σύμβαση για την Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του ΒορειοΑνατολικού Ατλαντικού (OSPAR Convention), 1992
- Πρωτόκολλο για την Ετοιμότητα, Συνεργασία και Αντιμετώπιση Περιστατικών Ρύπανσης της Θάλασσας από Επικίνδυνες και Επιβλαβείς Ουσίες (OPRC-HNS Protocol), 2000
- Διεθνής Σύμβαση για τον Έλεγχο Επιβλαβών Προστατευτικών Συστημάτων Υφαλοχρωματισμού σε Πλοία (AFS), 2001
- Σύμβαση Λονδίνου για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από την Απόρριψη Κατάλοιπων και Άλλων Υλών. Πλαίσιο Αξιολόγησης Υλικών Βυθοκορήσεων (LC-DMAF Convention), 2000
- Σύμβαση Όσλο-Παρισιού για την Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του ΒορειοΑνατολικού Ατλαντικού. Αναθεωρημένες Κατευθυντήριες Γραμμές για τη Διαχείριση Υλικού Βυθοκορήσεων (OSPAR Convention), 2004
- Διεθνής Σύμβαση για τον Έλεγχο και τη Διαχείριση Νερού και Ιζημάτων Έρματος Πλοίων, 2004
- Διεθνής Σύμβαση του Χονγκ Κονγκ για την Ασφαλή και Περιβαλλοντική Ανακύκλωση των Πλοίων, 2009.

Σχετικά με την Ευρωπαϊκή Ένωση, η σημαντικότερη νομοθεσία για το θαλάσσιο περιβάλλον περιλαμβάνει τα εξής:

- Ολοκληρωμένη Οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Πρόληψη και τον Έλεγχο της Ρύπανσης (IPPCD), 1996
- Οδηγία Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (MSFD), 2008
- Οδηγία για τους Οικοτόπους, 1992

#### Διαδικασίες εκβάθυνσης

Τα θαλάσσια ιζήματα δρουν σαν φυσικές παγίδες του υλικού που εισχωρεί στο θαλάσσιο περιβάλλον και κατ'επέκταση αποτελούν τον τελικό αποδέκτη των θαλάσσιων ρυπαντών. Η αλλαγή στις επικρατούσες φυσικοχημικές συνθήκες μπορεί να επιτρέψει την απελευθέρωση των ρυπαντών από τα ιζήματα και την εκ νέου είσοδο τους στη στήλη θαλάσσιου νερού. Με την έννοια αυτή, τα θαλάσσια ιζήματα δρουν σαν δευτερογενείς πηγές ρυπαντών. Ως εκ τούτου ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις διαδικασίες εκβάθυνσης που συχνά λαμβάνουν χώρα στα λιμάνια (Steyl et al, 2013). Οι βυθοκορήσεις γίνονται στα λιμάνια για να καλύψουν ανάγκες ναυσιπλοΐας, να ελεγχθούν και να περιοριστούν φαινόμενα πλημμυρών, να εξορυχθούν προσχωματικά κοιτάσματα, να προκύψει υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία της παραλίας, να γίνουν έργα κατασκευής και ανάκτησης, καθώς επίσης να προκύψει περιβαλλοντική βελτίωση της περιοχής μέσω επανορθωτικής βυθοκόρησης (ABP Research, 1999).

#### Σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης

Ακολουθώντας τις αρχές της βιωσιμότητας, δίνεται πλέον η δυνατότητα στα λιμάνια να υιοθετήσουν και να εφαρμόσουν ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης το οποίο συμβάλλει στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ενίσχυση της λειτουργικής απόδοσης. Η περιβαλλοντική διαχείριση στοχεύει στην επίτευξη και διατήρηση ισορροπίας μεταξύ περιβαλλοντικών, νομοθετικών και εμπορικών συμφερόντων. Ακολουθώντας ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης σε ένα λιμάνι, τα οφέλη που προκύπτουν είναι πολλαπλά, άμεσα και έμμεσα, όπως η πρόληψη της ρύπανσης, η μείωση της σπατάλης ενεργειακών αποθεμάτων και φυσικών πόρων, η βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης και η προληπτική διαχείριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Οι τεχνικές διαχείρισης που έχουν στη διάθεσή τους οι λιμενικές αρχές προκειμένου να εφαρμόσουν ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης περιλαμβάνουν τα εξής:

- PERS (Ports Environmental Review System) – SDM (Self Diagnosis Method). Το σύστημα PERS θεωρείται ένα ειδικό λιμενικό σύστημα που έχει αναπτυχθεί από λιμάνια για λιμάνια, βασίζεται σε επαγγελματικά δεδομένα βέλτιστης πρακτικής διεθνούς επιπέδου και βοηθά τα λιμάνια να εφαρμόσουν ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Η μέθοδος SDM (SDM Self Diagnosis Method, 2003) είναι ένα εργαλείο ελέγχου που υπολογίζει τη λιμενική απόδοση. Το σύστημα PERS και η μέθοδος SDM προσφέρονται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Θαλάσσιων Λιμένων (ESPO) σε όλα τα λιμάνια-μέλη του.
- ISO 14001 – EMAS, αμφότερα εθελοντικά εργαλεία. Το ISO 14001 είναι ένα διεθνές πρότυπο που καθορίζει τις απαιτήσεις ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης (ISO, 1996 a, b). Το σχήμα EMAS (EU Eco – Management and Audit Scheme) είναι ένα εργαλείο διαχείρισης για την αξιολόγηση, τον έλεγχο και τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων (IEMA, 2011).
- Βρετανικό Περιβαλλοντικό Πρότυπο BS7750, ένα πρότυπο εθελοντικής πρωτοβουλίας, σχεδιασμένο για να προσδιορίσει το σύστημα

περιβαλλοντικής διαχείρισης, να αξιολογήσει τις επιδόσεις του και να καθορίσει την πολιτική, τις πρακτικές και τους αντίστοιχους στόχους. Το πρότυπο. BS7750 εμφανίζει συμβατότητα με το ISO 14001 – EMAS.

- Βρετανικό Πρότυπο BS8555, ένα πρότυπο εθελοντικής πρωτοβουλίας που περιγράφει τον τρόπο για την εφαρμογή ενός γενικού συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμπεριλαμβάνοντας τη διαχείριση της αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων.

#### Γεωστατιστική επεξεργασία και βιοδείκτες

Η περιβαλλοντική κατάσταση επηρεάζεται τόσο από τις επιπτώσεις ανθρωπογενών δραστηριοτήτων όσο και από φυσικά αίτια. Είναι προφανής η ανάγκη εκτίμησης του μεγέθους της περιβαλλοντικής υποβάθμισης που προκύπτει από την καθεμιά από αυτές τις δύο ομάδες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως στατιστικές μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων ή/και κατάλληλοι βιολογικοί δείκτες (Steyl et al, 2013). Η στατιστική επεξεργασία πολλαπλών μεταβλητών περιλαμβάνει την ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis), την ανάλυση κατά συστάδες (Cluster Analysis) και την ανάλυση μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Squares Analysis). Η γεωστατιστική επεξεργασία παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις πηγές των ρυπαντών, τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των διαφορετικών ρυπαντικών φορτίων καθώς επίσης συμβάλλει στην ανάπτυξη μοντέλων διάχυσης και διασποράς του ρυπαντικού φορτίου. Οι βιολογικοί δείκτες αναφέρονται στο Θαλάσσιο Βιοτικό Δείκτη AZT (AZT's Marine Biotic Index), το Δείκτη Βενθικής Ποιότητας (Benthic Quality Index), το Δείκτη Βενθικής Απόκρισης (Benthic Response Index), το Σχετικό Βενθικό Δείκτη (Relative Benthic Index) και το Δείκτη Βιοτικής (Βιολογικής) Ακεραιότητας (Index of Biotic (Biological) Integrity). Αυτοί οι οικολογικοί βιοδείκτες εκτιμούν τη βιολογική υποβάθμιση που οφείλεται σε χημικούς ρυπαντές και συνεπώς συμβάλλουν σημαντικά στα θέματα περιβαλλοντικής προστασίας.

#### Χωρική απεικόνιση ρυπαντικού φορτίου

Ο χωρικός χαρακτήρας των επιπτώσεων της θαλάσσιας ρύπανσης απαιτεί τη χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ, GIS), δηλαδή μοντέλων δεδομένων με σχετικές πληροφορίες (Steyl et al, 2013). Τα GIS έχουν την ικανότητα να μετασχηματίζουν ένα σύνολο δεδομένων σε πιο χρήσιμα προϊόντα που επιτρέπουν στο χρήστη να αντιληφθεί υπάρχουσες σχέσεις και διαμορφωμένες συσχετίσεις. Ανάμεσα στις μεθόδους χωρικής απεικόνισης και ανάλυσης του ρυπαντικού φορτίου των ιζημάτων συμπεριλαμβάνονται η χαρτογράφηση και απεικόνιση καθώς επίσης οι γεωστατιστικές τεχνικές (συμπεριλαμβανομένων της χωρικής παρεμβολής, της εκτίμησης πυκνότητας και δυναμικού καθώς επίσης των δικτύων Voronoi που επιτρέπουν τη διαίρεση του χώρου σε έναν αριθμό περιφερειών).

#### Συμπεράσματα

Τα λιμάνια θεωρούνται περιοχές συσσώρευσης ρυπαντικού φορτίου και ως εκ τούτου δρουν σαν δευτερογενείς πηγές ρύπανσης επηρεάζοντας άμεσα και έμμεσα την περιβαλλοντική υγεία του αντίστοιχου παράκτιου οικοσυστήματος. Ανάμεσα στις τρέχουσες δυνατότητες ελέγχου και περιορισμού της ρύπανσης στις περιοχές λιμένων συγκαταλέγονται τόσο το ισχύον σχετικά αυστηρό θεσμικό πλαίσιο όσο και τα διαθέσιμα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η ανάγκη συστηματικής παρακολούθησης της περιοχής και προς την κατεύθυνση αυτή

σημαντικά βοηθήματα θεωρούνται τόσο η εφαρμογή γεωστατιστικής επεξεργασίας όσο και η χρήση κατάλληλων βιοδεικτών.

#### References

ABP Research (1999). Good practice guidelines for ports and harbours operating within or near UK marine Special Areas of Conservation. English Nature, UK Marine SACs Project.

Brown, A.C. (1987). Marine pollution and health in South Africa. *South African Medical Journal*, vol. 71, pp. 244 – 248.

Institute of Environmental Management and Assessment) (IEMA, 2011). Introducing EMAS [online] Available at: <http://www.iema.net/ems/emas>

ISO, (1996a). ISO14001 Environmental Management Systems. General Guidelines on Principles, Systems and Supporting Techniques.

ISO, (1996b). ISO14001 Environmental Management Systems. Specifications and Guidance for Use.

Sakellariadou, F. (2013). Evaluation of anthropogenic pollution in harbor areas. *International Journal of Maritime, Trade and Economic Issues*, vol. 1(1), pp. 71-80.

SDM (Self Diagnosis Method) (2003). Strategic analysis questionnaire for the (environmental) port manager. Ecoports Foundation. Version 2.0 (15 – 06 – 2003).

Steyl I., Sakellariadou F. & Bray S. (2013). Quantification of Pollution levels in harbour Sediments –a GeoSpatial Perspective, Tahoka Press, p. 122.