ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ & ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
Μ.Δ.Ε. «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ & ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»

«Προσομοίωση φυσικοχημικών φαινομένων σε εργαστηριακή κλίμακα, αντιδραστήρας WEEE – μίγματος που πλαισιώνει το Sea Diamond»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχαηλάκης Στυλιανός

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΞΕΚΟΥΚΟΥΛΩΤΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΕΝΙΕΡΗ ΔΑΝΑΗ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Χανιά

Απρίλιος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η υλοποίηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την αμέριστη βοήθεια και επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ευάγγελου Γιδαράκου, καθώς φυσικά και όλων των υπολοίπων μελών, φοιτητών, καθηγητών και ερευνητών, που μετείχαν στο ερευνητικό πρόγραμμα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ναυαγίου του Sea Diamond.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ξεχωριστά τον κ. Εμμανουήλ Μπενιουδάκη και όλους τους υπόλοιπους τεχνικούς, με τη δουλειά και τη βοήθεια των οποίων κατασκευάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία ο αντιδραστήρας για την πραγματοποίηση των πειραμάτων.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στα μέλη του εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την άριστη συνεργασία και το άκρως συναδελφικό κλίμα.

Τέλος δεν θα μπορούσα φυσικά να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ανιδιοτελή και αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και σε κάθε βήμα της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, η οποία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, αποτελεί μέρος του ερευνητικού προγράμματος «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond - Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (παρούσες και μελλοντικές)».

Πρωταρχικός σκοπός της εν λόγω διατριβής, ήταν η κατασκευή μίας δεξαμενής προσομοίωσης των φυσικοχημικών συνθηκών, στις οποίες βρίσκεται μέχρι και σήμερα το Κ/Ζ Sea Diamond, σε εργαστηριακή κλίμακα. Δημιουργήθηκε λοιπόν ένας αυτοσχέδιος αντιδραστήρας, ώστε να αναπαραχθούν οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, ενώ χρησιμοποιήθηκε πραγματικό θαλασσινό νερό για την πλήρωσή του, με στόχο την καλύτερη προσέγγιση των φυσικοχημικών παραμέτρων.

Ακολούθως επιλέχθηκαν ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, αντιπροσωπευτικές του εξοπλισμού του πλοίου, οι οποίες τοποθετήθηκαν στον αντιδραστήρα για μεγάλο χρονικό διάστημα και εξετάστηκε η απελευθέρωση βαρέων μετάλλων στο θαλασσινό νερό λόγω της διάβρωσης των, με τη λήψη δειγμάτων από τον αντιδραστήρα.

Τέλος πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση του συνόλου των αποτελεσμάτων, δίνοντας έμφαση στα βαρέα μέταλλα που αποτελούν μεγαλύτερο κίνδυνο για τον άνθρωπο αλλά και το φυσικό περιβάλλον.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εισροή σε ένα θαλάσσιο οικοσύστημα ορισμένης ποσότητας μιας ουσίας θα πρέπει να αξιολογείται πάντα σε σχέση με τις φυσικές εισροές. Οι κύριες πηγές φυσικών εισροών βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο οικοσύστημα προέρχονται από την αποσάθρωση και διάβρωση των πετρωμάτων, την ηφαιστειακή δραστηριότητα, από πυρκαγιές δασών καθώς και από σκόνη μεταφερόμενη μέσω του αέρα. Μάλιστα, για ορισμένα από τα βαρέα μέταλλα, οι φυσικές πηγές εισροής μπορεί να υπερέχουν των ανθρωπογενών. Όσον αφορά τώρα τις οδούς εισροής βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον, η κατακρήμνιση ή εναπόθεση (υγρή ή ξηρή) από την ατμόσφαιρα προς την επιφάνεια των θαλασσών, αποτελεί ίσως μια από τις σημαντικότερες οδούς εισροής. Άλλη σημαντική οδός εισροής είναι και οι απορροές των ποταμών, ενώ ελάσσονος σημασίας εισροές προέρχονται από την απευθείας διάθεση στο θαλάσσιο περιβάλλον εκροών βιολογικών καθαρισμών, αστικών και βιομηχανικών λυμάτων. Στις μέρες μας, οι τρεις κύριες κατηγορίες ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον που προκαλούν ανησυχία στην επιστημονική κοινότητα η οποία μελετά τη θαλάσσια ρύπανση, είναι τα απόβλητα, τα θρεπτικά συστατικά (φωσφορικά, νιτρικά, κλπ) και οι συνθετικές οργανικές ενώσεις. Τα βαρέα μέταλλα σε παγκόσμια κλίμακα δεν θεωρούνται ως η πλέον σημαντική πηγή ανησυχίας και η επίδρασή τους είναι σημαντική μόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις όπως είναι για παράδειγμα περιοχές που επιβαρύνονται με εκροές αποβλήτων από ορυχεία.

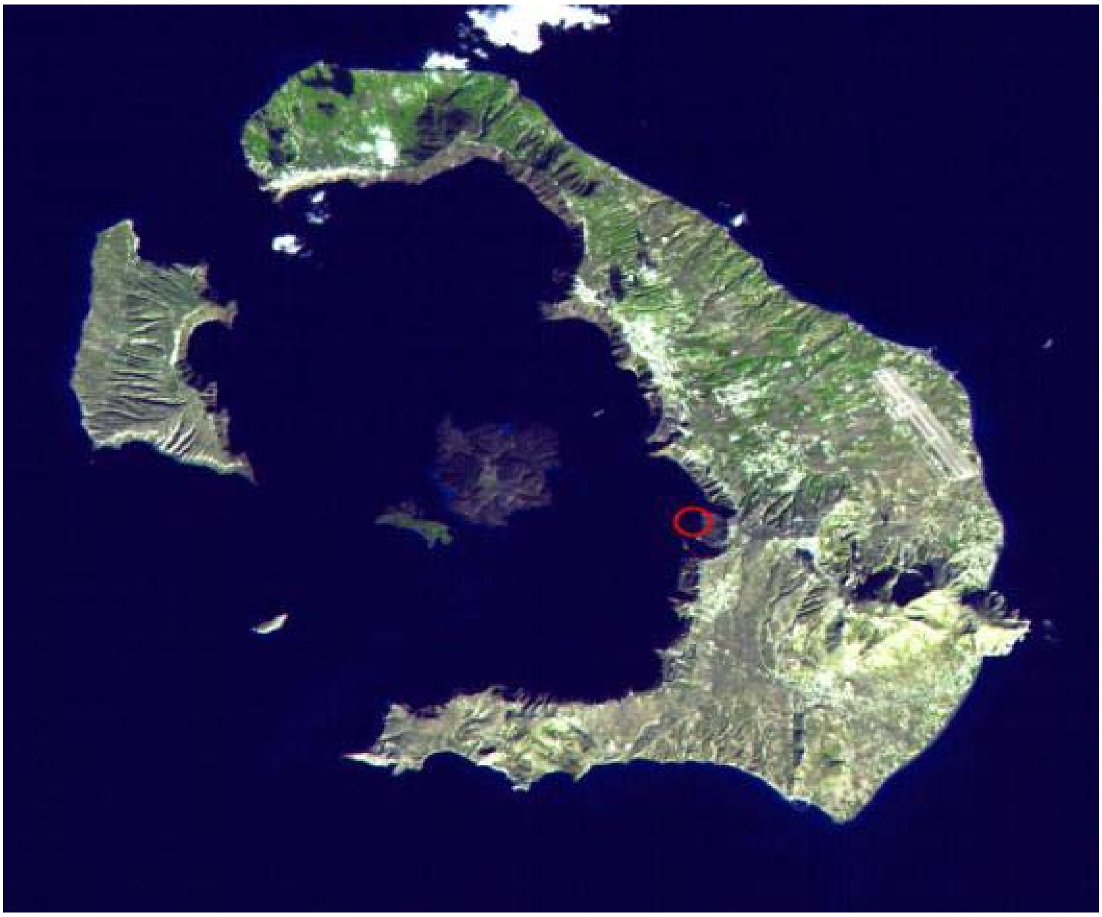
Ένα βασικό χαρακτηριστικό της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα, είναι η μη ομοιόμορφη και μάλλον ιδιότυπη συμπεριφορά κάθε μετάλλου στο θαλάσσιο περιβάλλον, που είναι συχνά απρόβλεπτη όχι μόνο ως προς τις βιολογικές και τοξικολογικές ιδιότητες, αλλά και ως προς τις καθαρά γεωχημικές και φυσικοχημικές ιδιότητες.

Ωστόσο, στην περίπτωση ενός ναυαγίου, έχει δειχθεί ότι αποτελεί μια σημειακή πηγή σημαντικής ποσότητας βαρέων μετάλλων, τα οποία σε ορισμένο βάθος χρόνου θα απελευθερωθούν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ιδιαίτερα δε, όταν αυτό είναι ένας κλειστός κόλπος, ο οποίος επιπλέον δέχεται σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις εξαιτίας της αυξημένης κίνησης π.χ. ενός λιμανιού. Επίσης, όπως σε περιοχές ηφαιστειακής δραστηριότητας, υπάρχουν ενεργές υδροθερμικές πηγές οι οποίες εκλύουν σημαντικές ποσότητες σιδήρου, μαγγανίου και αρσενικού και χαμηλές ποσότητες άλλων βαρέων μετάλλων. Έτσι, σε ένα περιβάλλον που εκ των πραγμάτων δέχεται εξωτερικές περιβαλλοντικές πιέσεις και επιπλέον επιβαρύνεται από μια μακροπρόθεσμη πηγή πρακτικά μη βιοδιασπόντων και ως εκ τούτου μόνιμων ρύπων, η λογική της άπειρης «ρυποχωρητικότητας» της θάλασσας πρέπει να τεθεί σε ένα εννοιολογικό πλαίσιο αμφισβήτησης.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το μεσημέρι της Μεγάλης Πέμπτης στις 5 Απριλίου 2007, το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond της εταιρείας Louis Cruises Co. βυθίστηκε στη θαλάσσια περιοχή της Καλντέρας στη Σαντορίνη και συγκεκριμένα στον όρμο Αθηνιός.



Εικόνα 2.1 Το σημείο στο οποίο βυθίστηκε το κρουαζιερόπλοιο Sea Diamond.

Άμεση συνέπεια του δυστυχήματος αποτέλεσε η σταδιακή διαρροή στο θαλάσσιο περιβάλλον ενός μέρους της συνολικής ποσότητας των καυσίμων, τα οποία υπολογίζονται στους 450 τόνους, ενώ πλήθος άλλων ρυπογόνων και επικίνδυνων ουσιών περιλαμβάνονται στο κουφάρι του πλοίου. Το ναυάγιο βρίσκεται βυθισμένο σε βάθος 150 μέτρων με την πλώρη προς τα κάτω, με κλίση 16° και πλευρική κλίση 40° προς τα δεξιά.

Εικόνα 2.2. Το πλοίο Sea Diamond λίγο μετά την πρόσκρουση σε ύφαλο.

Την αμέσως επόμενη μέρα του ναυαγίου τα πρώτα σημάδια θαλάσσιας ρύπανσης ήταν ορατά με πολυάριθμες πετρελαιοκηλίδες να κάνουν τη εμφάνιση τους στη θαλάσσια περιοχή της καλντέρας στο συγκεκριμένο όρμο. Άμεση ήταν και η προσπάθεια απορρύπανσης των ακτών, καθώς ειδικά απορρυπαντικά σκάφη με διαχωριστές θαλάσσιου νερού από πετρελαιοειδή και δίχτυα περίφραξης πετρελαιοκηλίδων (αντιρρυπαντικό φράγμα, το οποί υφίσταται μέχρι και σήμερα), άρχισαν τις εργασίες στον τόπο του ναυαγίου.

Εικόνα 2.3. Το πλοίο Sea Diamond στο βυθό της Καλντέρας.

Παρόλ' αυτά οι διαδικασίες για απάντληση των επιπλεόντων πετρελαιοειδών δεν συνεχίστηκαν σε καθημερινή βάση παρά τις συνεχείς διαμαρτυρίες τόσο των Θηραίων πολιτών όσο και των επιστημόνων που έκρουαν τον κώδωνα του κινδύνου για επέκταση της θαλάσσιας ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή **[1].** Επίσης, το πλωτό φράγμα που εγκαταστάθηκε και βρίσκεται μέχρι και σήμερα στην περιοχή για τη συλλογή των πετρελαιοειδών που απελευθερώνονται συνεχώς, αποδείχτηκε αναποτελεσματικό, καθώς εγκλωβίζει μόνο τα πετρελαιοειδή σφαιρικού σχήματος που ανέρχονται κάθετα από τον βυθό. Μάλιστα, σε περιπτώσεις έντονων ανέμων (κυρίως Νοτιοδυτικών) όπου επικρατούν μεγάλοι κυματισμοί, ο μηχανικός περιορισμός του πετρελαίου καθίσταται τεχνικά αδύνατος.

2.2. Η ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το θαλασσινό νερό περιέχει ανόργανα άλατα κυρίως χλωρίου και νατρίου (το 86% των διαλυμένων ουσιών στο θαλασσινό νερό) και η συγκέντρωση αυτών καθορίζει την αλατότητα του νερού. Επίσης, περιέχει σε μικρότερες ποσότητες άλατα φωσφόρου, αζώτου, πυριτίου, μαγνησίου, θειικά, ασβεστίου και καλίου. Το θαλασσινό νερό εμπλουτίζεται με άλατα αζώτου (νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά) και φωσφόρου κατά την αποικοδόμηση των περιττωμάτων και των νεκρών οργανισμών, τα οποία στη συνέχεια ανέρχονται στην επιφάνεια και χρησιμοποιούνται από τους φυτικούς οργανισμούς για την πρωτογενή παραγωγή. Επίσης κατά την ανάμιξή του με την ατμόσφαιρα εμπλουτίζεται σε οξυγόνο, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα.

Οξυγόνο παράγεται επίσης και κατά τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυκών και των ανώτερων φυτών της θάλασσας. Η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι υψηλότερη κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας (ευφωτική ζώνη), μιας και εκεί λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο ποσοστό της φωτοσύνθεσης. Διοξείδιο του άνθρακα παράγεται από την αναπνοή των οργανισμών σε όλα τα βάθη του νερού και από την αποσύνθεση των νεκρών οργανισμών στα μεγαλύτερα βάθη. Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για την αναπνοή των οργανισμών, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση και τη διατήρηση της οξύτητας (pH) του θαλασσινού νερού.

Κατά την αποδόμηση της οργανικής ύλης παράγεται επίσης μεθάνιο και υδρόθειο. Το οργανικό υλικό βρίσκεται στο θαλασσινό νερό είτε ως συστατικό των ιστών των ζωντανών οργανισμών είτε σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή ή σε μορφή συσσωματωμάτων. Το οργανικό υλικό παράγεται από τα φωτοσυνθετικά φύκη και τα φυτά της θάλασσας και με την κατανάλωση αυτών από τους ζωικούς οργανισμούς εισέρχεται στα τροφικά πλέγματα. Η διάσπαση των περιττωμάτων και των νεκρών φυτικών και ζωικών οργανισμών από τους αποδομητές μετατρέπει το οργανικό υλικό σε θρεπτικά άλατα που γίνονται ξανά διαθέσιμα στους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς **[2].**

Το θαλασσινό νερό περιέχει όλα σχεδόν τα γνωστά στοιχεία υπό μορφή ιόντων. Η πλειοψηφία όμως των στοιχείων αυτών είναι σε τόσο μικρές ποσότητες ώστε μπορούν να αγνοηθούν. Μια τυπική σύσταση του θαλασσινού νερού, από τη διεθνή βιβλιογραφία, δίνεται στον **Πίνακα 2.1.**

Πίνακας 2.1 Τυπική σύσταση θαλασσινού νερού

Είδος ιόντων	**Περιεκτικότητα (ppm)**
Νάτριο, Na^{+}	10561
Μαγνήσιο, Mg^{+}	1272
Ασβέστιο, Ca^{++}	400
Κάλιο, K^{+}	380
Χλώριο, Cl^{-}	18980
Θειικά, SO_4^{--}	2649
Όξινα ανθρακικά, HCO_3^{--}	142
Βρώμιο, Br^{-}	65
Άλλα στερεά	34
Σύνολο	34483

Στον **Πίνακα 2.1** δίνεται η περιεκτικότητα σε ppm των ιόντων επειδή αυτή είναι η μορφή που εμφανίζονται στο θαλασσινό νερό. Όπως αναμένεται η περιεκτικότητα σε νάτριο και χλώριο είναι η μεγαλύτερη αλλά βεβαίως περιέχονται και άλλα ιόντα πέραν των προαναφερόμενων, όπως ιωδίου, βαρίου, σιδήρου, αζώτου, φθορίου, βορίου σε διάφορες μορφές και συγκεντρώσεις της τάξης του 1ppm καθώς και πολλά άλλα σε μικρότερες ποσότητες (<0.01ppm).

2.3. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα μέταλλα και τα βαρέα μέταλλα αποτελούν φυσικά συστατικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος και απαντώνται στη θαλάσσια στήλη σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις [18]. Στον **Πίνακα 2.2** παρουσιάζονται τυπικές συγκεντρώσεις των διαλυμένων βαρέων μετάλλων σε επιφανειακά και βαθιά ύδατα ενώ στον **Πίνακα 2.3** τα όρια που θέτει η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος [69]. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι οι τιμές του **Πίνακα 2.2** είναι σε ng/l (για πυκνότητα θαλασσινού νερού περίπου 1kg/m^3 η τιμή αυτή είναι ισοδύναμη με ppt) ενώ αυτές του **Πίνακα 2.3** σε μg/l (μονάδα ισοδύναμη με ppb).

Πίνακας 2.2: Τυπικές συγκεντρώσεις διαλυμένων βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον σε καθαρά νερά **[3].**

Στοιχείο	**Τυπική συγκέντρωση κοντά στην επιφάνεια (ng/l)**	**Τυπική συγκέντρωση σε βαθιά νερά (ng/l)**
Μόλυβδος (Pb)	21-31	4
Ψευδάργυρος (Zn)	6.5-13	105
Χαλκός (Cu)	64-83	127
Υδράργυρος (Hg)	0.2-1.4	0.2
Κάδμιο (Cd)	0.1-1.1	39.3
Αρσενικό (As)	1.5	1.5
Μαγγάνιο (Mn)	55-165	14-27
Σίδηρος (Fe)	3-56	34-56
Χρώμιο (Cr)	182	234
Νικέλιο (Ni)	117	352

Πίνακας 2.3: Όρια (κριτήρια) ασφαλείας που θέτει η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος **[4].**

Στοιχείο	**Κριτήριο μέγιστης συγκέντρωσης (CMC[1], μg/l)**	**Κριτήριο συνεχούς συγκέντρωσης (CCC[2], μg/l)**
Κάδμιο (Cd)	40.0	8.8
Χαλκός (Cu)	4.8	3.1
Μόλυβδος (Pb)	210.0	8.1
Νικέλιο (Ni)	74.0	8.2
Χρώμιο (Cr(VI))	1100.0	50.0
Ψευδάργυρος (Zn)	90.0	81.0
Υδράργυρος (Hg)	1.8	0.94
Arsenic (As)	69	36

Ο **Πίνακας 2.4** παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις των κυριοτέρων βαρέων μετάλλων στη θαλάσσια στήλη σε διάφορες περιοχές του Ελλαδικού χώρου έτσι ώστε να υπάρχει άμεση σύγκριση μεταξύ των τιμών ανά την Ελλάδα, τον κόσμο, της μελέτης του Πολυτεχνείου Κρήτης από δειγματοληψίες στην περιοχή του ναυαγίου αλλά και της παρούσας μελέτης προσομοίωσης.

[1] **CMC:** Κριτήριο Μέγιστης Συγκέντρωσης (Criterion Maximum Concentration). Εκτίμηση της μέγιστης συγκέντρωσης μιας ουσίας στο νερό, στην οποία δύναται να εκτεθεί ένα υδάτινο σύστημα για σύντομο χρονικό διάστημα χωρίς την εκδήλωση «απαράδεκτων» επιδράσεων σε αυτό (οξεία τοξικότητα).

[2] **CCC:** Κριτήριο Συνεχούς Συγκέντρωσης (Criterion Constant Concentration). Εκτίμηση της μέγιστης συγκέντρωσης μιας ουσίας στο νερό, στην οποία δύναται να εκτεθεί ένα υδάτινο σύστημα επ' άπειρον χωρίς την εκδήλωση «απαράδεκτων» επιδράσεων σε αυτό (χρόνια τοξικότητα).

Πίνακας 2.4 Συγκεντρώσεις Hg, Cd, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr Fe, Mn στη θαλάσσια στήλη διαφόρων περιοχών (μg/lt)

Συγκέντρωση (μg/lt)										
Hg	**Cd**	**Cu**	**Zn**	**Pb**	**Ni**	**Cr**	**Fe**	**Mn**	**Σχόλιο**	**Αναφορά**
0.001-0.004	0.015-0.118								Β. Ατλαντικός	***[6]***
	0.015-0.025	0.12-0.146	0.06-0.225		0.13-0.33		0.67-0.553		Αρκτική	
0.002									ανοιχτή θάλασσα	***[59]***
0.0005-0.0025				0.03-0.15					Μεσόγειος	
0.21-0.37	0.33-0.52	0.7-1.24	18.8-23	5.5-20.5	0.5-1.5			6.5-7.3	Κόλπος Καβάλας	***[60]***
0.24-0.52	0.16-0.47	1.18-2.08	13.4-17.2	3.5-20	0.5-1.2			4.9-7.0	Θερμαϊκός	
	0.005-0.026								καθαρές θάλασσες	***[61]***
	0.022-0.08	0.19-0.22		0.407-0.74	0.26-0.32	0.045-0.093		0.14-0.42	ΝΔ Αιγαίο	
	0.018-0.092	0.17-0.27		0.25-0.68	0.22-0.47	0.038-0.087		0.19-0.31	Κρητικό Πέλαγος	
	0.02-0.042	0.14-0.27		0.37-0.797	0.19-0.41	0.040-0.061		0.22-0.43	ΝΑ Αιγαίο	
	0.001-0.1			0.002-0.2					ανοιχτή θάλασσα	***[63]***
		0.05-0.35							καθαρά ωκεάνια ύδατα	
		1.51	18						Κόλπος Ελευσίνας	***[27], [28]***
		1.90	13						Ν. Ευβοϊκός κόλπος	
		0.7-2.10	13-23						Ιόνιο Πέλαγος	
			18						Σαρωνικός κόλπος	
			0.7-2.4						Κρητικό Πέλαγος	
	0.04-0.38 (0.13)	0.45-20.7 (4.5)	2.5-120 (19.4)	0.14-2.7 (1.6)	0.3-6.9 (1.8)			0.34-3.1 (1.56)	Πορθμός Ευρίπου	***[64]***
	0.008-1.2 (0.11)	0.1-10.7 (1.25)		0.03-12 (0.94)	0.2-22 (3.07)			0.1-2.2 (1.01)	Σαρωνικός	
	0.014-2.3 (0.16)	0.3-9.5 (1.52)		0.05-11 (1.08)	0.4-42 (4.7)			0.12-13 (2.64)	Κόλπος Ελευσίνας	
	0.002-0.16 (0.02)	0.03-16.2 (0.95)	0.02-2.9 (0.34)	0.04-4.3 (0.48)	0.06-2.0 (0.6)			0.18-2.41 (0.9)	Κόλπος Γέρας	
	0.01-0.59	0.54-10.3	0.61-8.60	0.37-6.51	0.27-6.76			0.05-2.49	Κόλπος Αναβύσσου	***[65]***
	0.012-0.050	0.06-0.72	1.6-5.4	0.05-0.34	0.51-1.4			0.19-1.20	Κόλπος Ελευσίνας	***[66]***
		0.8-5.5 (3.2)	16.5-75.9 (40)	12.3-24.4 (17.5)		0.4-5.4 (2.1)			Θερμαϊκός	***[67]***
		0.2-1.8	<0.1-88				2-13.700	2-1.400	εσωτ. ζώνη υδροθ. πηγών	***[68]***
		<0.1-0.9	<0.1-0.8				<1-3	<1-5	δίαυλος Π. & Ν. Καμένης	
			15				10.100		υδροθ. πηγές Π. Καμένη	***[69]***
		6.4	19				13.476		υδροθ. πηγές Ν. Καμένη	
		1.3	1.0				5	2	Καλντέρα Σαντορίνης	
	0.00168-0.0316 (0.0059)	0.059-0.603 (0.193)	1.12-5.70 (2.96)	0.023-0.93 (0.23)	0.14-0.578 (0.275)		(1.556)	0.14-0.578 (0.275)	Καλντέρα Σαντορίνης	***[72], [73]***
<0.020-0.48	<0.05-6.500	<0.04-4.80	<0.20-58.37	<0.02-6.500	<0.08-7.50	<0.03-0.98	<1.18-137.3	<0.03-4.30	Καλντέρα Σαντορίνης	***[74-76]***

Η διάβρωση των μετάλλων στη θάλασσα αποτελεί μια πολυπαραγοντική διεργασία, που επηρεάζεται τόσο από φυσικοχημικές όσο και από βιολογικές παραμέτρους. Παρακάτω αναφέρονται οι σημαντικότερες, εκ των οποίων οι πέντε πρώτες αφορούν χαρακτηριστικά του νερού:

- Η αλατότητα
- Το διαλυμένο οξυγόνο
- Το pH
- Η θερμοκρασία
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Οι ασβεστολιθικές αποθέσεις
- Το βάθος
- Οι μάκρο- και μικροοργανισμοί
- Η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων

Κάθε μια από αυτές τις παραμέτρους έχει εξίσου σημαντική επίδραση ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες **[5].**

Όσον αφορά την περιβαλλοντική τους επίδοση, η κύρια πηγή ανησυχίας προέρχεται από ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που παρουσιάζουν. Τα βαρέα μέταλλα (όπως και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες), αντίθετα με τους οργανικούς ρύπους -όπως είναι για παράδειγμα τα πετρελαιοειδή- που υπόκεινται σε βιολογική αποικοδόμηση, δεν βιοαποικοδομούνται ή βιοαποικοδομούνται με εξαιρετικά βραδείς ρυθμούς και ως εκ τούτου θεωρούνται επίμονοι (persistent pollutants) ή παραμένοντες ρύποι **[6].** Έτσι, με βάση την ανθρώπινη κλίμακα, πρακτικά θεωρούνται μόνιμες επιβαρύνσεις για το θαλάσσιο περιβάλλον **[7].**

2.4. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Εκτιμάται, με μεγάλο βαθμό βεβαιότητας, ότι στο ναυαγισμένο σκάφος βρίσκεται πληθώρα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και μπαταριών, τα οποία δύνανται να αποτελέσουν σημαντική πηγή κινδύνου για το θαλάσσιο οικοσύστημα της περιοχής, μέσω της σταδιακής απελευθέρωσης και μετασχηματισμού των επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων που δυνητικά περιέχουν.

Ο όρος απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (εφεξής ΑΗΗΕ) αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα υλικών, περιλαμβάνει τις διάφορες μορφές ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού ο οποίος έχει πάψει να έχει οιαδήποτε αξία για τον ιδιοκτήτη-χρήστη του και πρόκειται για το πλέον πολύπλοκο ρεύμα στερεών αποβλήτων. Η πολυπλοκότητα του αυτή οφείλεται στη μεγάλη ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (εφεξής ΗΗΕ), καθώς και στη μεγάλη πληθώρα των διαφόρων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων. Ο πλήρης ο ορισμός των δύο μόλις παραπάνω προαναφερθέντων όρων δίδεται στο άρθρο 3 της Οδηγίας 2002/96/ΕΚ, καθώς και στο άρθρο 3 του προεδρικού διατάγματος 117/2004 (ΦΕΚ 82/Α/5.3.04). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι 10 κατηγορίες οι οποίες απαρτίζουν τον ΗΗΕ, όπως αυτές αναφέρονται στα προαναφερθέντα νομοθετήματα.

Πίνακας 2.5. Κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) **[8,9].**

No.	**Κατηγορία**
1	Μεγάλες οικιακές συσκευές
2	Μικρές οικιακές συσκευές
3	Εξοπλισμός πληροφορικής & τηλεπικοινωνιών
4	Καταναλωτικά είδη
5	Φωτιστικά είδη
6	Ηλεκτρικά & ηλεκτρονικά εργαλεία (εξαιρουμένων των μεγάλης κλίμακας σταθερών βιομηχανικών εργαλείων)
7	Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας & αθλητισμού
8	Ιατροτεχνολογικές συσκευές (εξαιρουμένων όλων των εμφυτεύσιμων & μολυσμένων προϊόντων)
9	Όργανα παρακολούθησης & ελέγχου
10	Συσκευές αυτόματης διανομής

Κάθε υποκατηγορία του ανωτέρω πίνακα περιλαμβάνει ποικίλα προϊόντα τα οποία στο τέλος του κύκλου ζωής των καθίστανται απόβλητα. Το σύνολο των προϊόντων αυτών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη καταγράφεται και παρουσιάζεται στα παραρτήματα ΙΒ, ξανά της οδηγίας 2002/96/ΕΚ και του προεδρικού διατάγματος 117/2004. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση του Κ/Ζ Sea Diamond όλα τα προϊόντα ΗΗΕ τα οποία περιέχονται στο ναυάγιο έχουν καταστεί απόβλητα.

Συνάμα, οι ηλεκτρικές στήλες και συσσωρευτές (φορητές και μη), κοινώς μπαταρίες, ορίζονται βάσει του προεδρικού διατάγματος 115/2004 (ΦΕΚ 80/Α/5.3.04) ως «πηγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία προέρχεται από την άμεση μετατροπή χημικής ενέργειας και αποτελείται από ένα ή περισσότερα πρωτογενή (μη επαναφορτιζόμενα) στοιχεία ή δευτερογενή (επαναφορτιζόμενα) στοιχεία» **[10]**, σε αντιστοιχία με την οδηγία 91/157/ΕΟΚ και τις τροποποιήσεις αυτής 93/86/ΕΟΚ και 98/101/ΕΟΚ.

2.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΑΗΗΕ & ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΤΟ ΝΑΥΑΓΙΟ

Στην παρούσα ενότητα αναφέρονται εκτιμήσεις των ποσοτήτων ΑΗΗΕ και μπαταριών οι οποίες βρίσκονται στο ναυάγιο του Κ/Ζ Sea Diamond. Οι εκτιμήσεις έχουν σαν αφετηρία την υπάρχουσα διάσπαρτη, επιστημονικά τεκμηριωμένη ή μη, βιβλιογραφία γύρω από το εν λόγω ναυάγιο [**1,11-13**]. Από την άλλη, η εν λόγω βιβλιογραφία συμπληρώθηκε τόσο από συγκρίσιμα στοιχεία τα οποία αφορούν ιδίου τύπου πλοία, όσο και από δεδομένα περί της «διείσδυσης» προϊόντων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού στον γενικό πληθυσμό, ο οποίος και συνέθετε τους επιβάτες του πλοίου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερα σε σχέση με το Green Passport του Κ/Ζ [**13]**, στο παρόν κείμενο εκτιμάται ότι υπάρχουν στο ναυάγιο πιθανώς μεγαλύτερες ποσότητες επιμέρους κλασμάτων ΑΗΗΕ και μπαταριών. Τούτο κρίνεται ως αυτονόητο μιας και δεν υφίστανται πέραν αυτού πραγματικά δεδομένα σχετικά με τις ποσότητες των εν θέματι αποβλήτων στο Κ/Ζ, ενώ η ίδια η αξιοπιστία του Green Passport «βάλλεται» τόσο από το γεγονός ότι δεν φέρει την αναγκαία πιστοποίηση του νηογνώμονα, ενώ συνάμα συντάχθηκε μετά τη βύθιση του σκάφους, όσο και από εκτιμήσεις άλλων εμπειρογνωμόνων ή φορέων **[12]**.

2.5.1. Μπαταρίες/Συσσωρευτές

Σύμφωνα με το Green Passport, στο ναυάγιο του Κ/Ζ υφίστανται 288L ηλεκτρολύτη από μπαταρίες που χρησιμοποιούνταν στα φώτα ασφαλείας του σκάφους, ραδιοεπικοινωνίες και συναγερμό πυρκαγιάς. Επίσης υφίστανται επιπλέον 48L ηλεκτρολύτη από μπαταρίες που χρησιμοποιούνταν για την εκκίνηση των μηχανών του Κ/Ζ.

Πιστεύεται ότι στο Κ/Ζ χρησιμοποιούνταν μπαταρίες μολύβδου οξέος (lead acid), καθότι αυτού του τύπου οι συσσωρευτές είναι οι πλέον ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι για τις εφαρμογές που απαιτούνταν στο σκάφος αυτό. Δυστυχώς αναλυτικότερα δεδομένα δεν δίδονται, ως προς τους επιμέρους τύπους δευτερογενών συσσωρευτών που υφίσταντο στο Κ/Ζ, ή το μέγεθος των. Επίσης, βάσει πραγματοποιθείσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης [**14-16**], πιστεύεται ότι το κύριο πρόβλημα των συσσωρευτών μολύβδου οξέος δεν αποτελεί τόσο ο ηλεκτρολύτης (αραιό θειικό οξύ) όσο ο μόλυβδος (υπό τη μορφή οξειδίου-διοξειδίου του μολύβδου, στοιχειακού και θειικού μολύβδου) και το κάδμιο που περιέχονται σε αυτούς (όπου βρίσκονται ακόμη σε μικρά ποσά Sb, As, Cu, Se, Sn) [**14].**

Ως προειπώθηκε δεν καθίσταται σαφές ο τύπος των χρησιμοποιούμενων στο Κ/Ζ συσσωρευτών. Ομοίως δεν δίδονται πληροφορίες για το μέγεθος των. Βασιζόμενοι μονάχα στην αναφερόμενοι ποσότητα ηλεκτρολυτών ως ίση με 336L, και δεχόμενοι σαν μέσο βάρος ενός συσσωρευτή μολύβδου οξέος τα 20kg, εκτιμάται ότι στο ναυάγιο υπάρχουν περί τα 50 τεμάχια μπαταριών lead acid (ηλεκτρολύτης ~30% w/w μιας μπαταρίας αυτού του τύπου).

2.5.2. Καλωδιώσεις

Σύμφωνα με το Green Passport, στο Κ/Ζ Sea Diamond χρησιμοποιούνταν συνολικά 17000 μέτρα καλωδίων χαλκού. Η κύρια ανησυχία σχετικά με τις δυνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των έγκειται στο PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο) της επένδυσης, καθώς και στην επικινδυνότητα των χρησιμοποιούμενων ως πλαστικοποιητών εστέρων του φθαλικού οξέος, όπως και των σταθεροποιητών βαρέων μετάλλων (κύρια μολύβδου) **[17,18].** Τα πρόσθετα αυτά χρησιμοποιούνται κατά την κατεργασία τόσο του PVC, όσο και άλλων πλαστικών.

Η επανεκτίμηση των ποσοτήτων καλωδιώσεων που αναφέρονται στο Green Passport θα ήταν εξαιρετικά επισφαλής, ιδιαίτερα απουσία αναλυτικών ηλεκτρολογικών σχεδίων του σκάφους. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οιεσδήποτε μετασκευές ή μετατροπές του σκάφους έχουν επιφέρει αλλαγές στον τομέα αυτό.

2.5.3. Λαμπτήρες & Σωλήνες Φθορισμού

Λαμπτήρες και σωλήνες φθορισμού απαριθμώνται αναλυτικά στο Green Passport του Κ/Ζ ανά τύπο και μέγεθος (πίνακας). Δεν αναφέρονται βέβαια στοιχεία αναφορικά με την «μέση» έστω παλαιότητα των, δεδομένο χρήσιμο για την εκτίμηση της περιεκτικότητας των σε υδράργυρο. Όπως και για τις καλωδιώσεις (§2.5.2.), επανεκτίμηση του αριθμού των που αναφέρεται στο Green Passport θα ήταν επισφαλής. Θα πρέπει να βασίζεται τόσο σε σχέδια του σκάφους, όσο και σε γνώση της «διαρρύθμισης» και του αριθμού καμπινών και κοινόχρηστων χώρων.

Πίνακας 2.6. Λαμπτήρες & Σωλήνες Φθορισμού στο Κ/Ζ Sea Diamond **[13].**

Τύπος Λαμπτήρα	Ποσότητα (τμχ)
1x58	28
2x36	449
2x18	904
2x9	29
1x18	2802
1x11	887
Σωλήνες φθορισμού	585

Βάσει της απαρίθμηση αυτής, και γνωρίζοντας το μέσο βάρος του κάθε τύπου λαμπτήρα, σαν σταθμισμένο μέσο βάρος του κάθε λαμπτήρα φθορισμού του πλοίου υπολογίζονται περί τα 200gr/τεμάχιο.

Ο περιεχόμενος υδράργυρος (Hg) αποτελεί τον κύριο περιεχόμενο ρύπο σε λαμπτήρες και σωλήνες φθορισμού. Για το λόγο αυτό άλλωστε απαιτείται και η χωριστή συλλογή των από το ρεύμα των οικιακών αποβλήτων, βάσει της οδηγίας 2002/96/ΕΚ **[8].** Οι σύγχρονοι λαμπτήρες φθορισμού περιέχουν 3-20mg Hg ανά τεμάχιο, ενώ οι παλαιότερης τεχνολογίας 15-30mg έκαστος. Οι ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων (CFL) περιέχουν περίπου 6mg Hg ανά λαμπτήρα **[19].**

Οι λαμπτήρες αλογόνου, ήτοι λαμπτήρες μεγαλύτερης διάρκειας ζωής με αδρανές αέριο ιώδιο ή βρώμιο αντί αζώτου σε σχέση με τους συνήθεις λαμπτήρες πυρακτώσεως δεν περιέχουν επικίνδυνες ουσίες και παρασκευάσματα, συγκρινόμενοι ιδιαίτερα με τους λαμπτήρες φθορισμού.

2.5.4. Οθόνες & τηλεοράσεις

Στο Green Passport απαριθμώνται συνολικά 17 ψηφιακά monitors και όργανα καθώς και 92 τηλεοράσεις. Δεν διευκρινίζεται εάν ειδικά για τις τηλεοράσεις πρόκειται για τεχνολογίας καθοδικών λυχνιών (cathode ray tube, εφεξής CRT) ή νεότερης υγρών κρυστάλλων (liquid crystal display, LCD) ή πλάσματος. Καθότι όμως το Κ/Ζ Sea Diamond ναυπηγήθηκε το 1985, πιστεύεται ότι η συντριπτική πλειονότητα των monitors που ανήκουν στον εξοπλισμό του πλοίου είναι τεχνολογίας CRT.

Σε Κ/Ζ καθώς και επιβατηγά (Ε/Γ) πλοία συνήθως υφίστανται εκατοντάδες τηλεοράσεις είτε στους κοινόχρηστους και τους χώρους ψυχαγωγίας του σκάφους, είτε στις καμπίνες των επιβατών **[12]**. Ένα μεγάλο ποσοστό αυτών εξακολουθεί να είναι τεχνολογίας CRT μιας και τέτοιες συσκευές έχουν μεγάλο χρόνο ζωής. Πιστεύεται ότι το Green Passport υποτιμά τον συνολικό αριθμό των ο οποίος εκτιμάται ότι είναι πολλαπλάσιος των 92 τεμαχίων που αναφέρονται. Σαν ρεαλιστικότερος αριθμός αποτιμάται ότι κατά τη στιγμή της βύθισης στο Κ/Ζ υπήρχαν περί τα 500 τεμάχια τηλεοράσεων, με τουλάχιστον το 50% του αριθμού αυτών να είναι τεχνολογίας CRT. Συνάμα εκτιμάται ότι το μέγεθος της πλειονότητας των χρησιμοποιούμενων ιδιαίτερα σε καμπίνες επιβατών τηλεοράσεων CRT είναι μικρό (14`-17`).

Οι CRT οθόνες υπολογιστών και τηλεοράσεων, αλλά και ψηφιακών monitors και οργάνων, περιέχουν πληθώρα επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον ουσιών, όπως μόλυβδο (Pb), κάδμιο (Cd), υδράργυρο (Hg), βάριο (B), αργίλιο (Al), αντιμόνιο (Sb), φωσφόρους κ.α. Τα πλαστικά των μέρη περιέχουν επίσης επιβραδυντικά φλόγας, βρωμιούχα συνήθως (brominated flame retardants, εφεξής BFRs) **[20-23]**. Ανά CRT περιέχονται κατά μέσο όρο 0.5 έως 5kg Pb, ο οποίος χρησιμοποιείται σε διαφορετικά τμήματα της. Για το λόγο αυτό απαιτείται η αποτροπή της εκπομπής-έκλυσης αυτού στο έδαφος, το νερό ή την ατμόσφαιρα, εξαιτίας οιασδήποτε άστοχης επιλογής πρακτικών διαχείρισης. Για το λόγο αυτό οι CRTs κατατάσσονται στην κατηγορία των απολύτως επικίνδυνων αποβλήτων **[17,24]**.

2.5.5. Η/Υ & κινητά τηλέφωνα

Στο Green Passport δεν απαριθμώνται καθόλου τεμάχια ηλεκτρονικού εξοπλισμού ο οποίος ανήκε στους περίπου 1500 επιβάτες του Κ/Ζ κατά τη βύθιση του. Σίγουρα μεγάλο μέρος των επιβατών είχε στην κατοχή του κατά τη διάρκεια της κρουαζιέρας κινητό τηλέφωνο ή/και φορητό υπολογιστή (laptop, notepad, netbook κ.α.). Επειδή πιστεύεται ότι είναι πολύ δύσκολο κατά τη διάρκεια της επιχείρησης διάσωσης, όπως αυτή έλαβε τελικά χώρα, οι επιβάτες να «διασώσουν» τέτοιες συσκευές, η εκτίμηση ότι εντός του ναυαγίου παραμένει μεγάλος αριθμός των πιστεύεται ότι είναι εύλογη.

Μια εκτίμηση του αριθμού των φορητών Η/Υ και κινητών τηλεφώνων που παρέμειναν στο ναυάγιο είναι πολύ δύσκολη. Για να είναι επιστημονικά εμπεριστατωμένη θα πρέπει να βασίζεται σε δεδομένα που αφορούν στην διείσδυση των προϊόντων αυτών στο γενικό πληθυσμό, στοιχεία περί της ηλικιακής, εισοδηματικής και εθνοτικής σύστασης των επιβατών του πλοίου, καθώς και σε πληροφορίες σχετικά με το ποσοστό «διάσωσης» των συγκεκριμένων περιουσιακών στοιχείων των επιβατών από αυτούς. Μέχρι στιγμής στην ομάδα μελετητών της παρούσης είναι διαθέσιμα μονάχα στοιχεία που αφορούν στην διείσδυση των προϊόντων αυτών στο γενικό πληθυσμό, και δη ανά κράτος **[25-29].**

Μια παρουσίαση των στοιχείων αυτών σίγουρα θα ξέφευγε του σκοπού της παρούσης. Εν τάχει δύναται όμως να αναφερθεί ότι η «διείσδυση» ηλεκτρονικών συσκευών, εν προκειμένω φορητών Η/Υ και κινητών τηλεφώνων, διαφέρει κατά πολύ ανάλογα με το υπό μελέτη κράτος (βλ. π.χ. συγκριτικά τα συγγράμματα **[25]** και **[27]**), αντικατοπτρίζοντας τις εκάστοτε γενικές διαφορές βιοτικού επιπέδου, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η ηλικιακή και η κοινωνικοοικονομική τάξη στην οποία ανήκουν οι καταναλωτές – κάτοχοι ΗΗΕ, κάτι το οποίο αντανακλάται και στην τελική συμπεριφορά των σε σχέση με τις επιλογές τελικής ανακύκλωσης – διάθεσης των **[30]**.

Σύμφωνα λοιπόν με την προαναφερθείσα βιβλιογραφία, κατά μέσον όρο εκτιμάται ότι ένα 60% του συνολικού αριθμού των 1500 επιβατών του Κ/Ζ είχε στην κατοχή του κινητό τηλέφωνο, ενώ ένα 10% αυτών φορητό υπολογιστή οιουδήποτε τύπου (laptop, notepad, netbook κτλ.). Εκτιμάται τέλος ότι το σύνολο των φορητών υπολογιστών – ήτοι 150 τεμάχια, καθώς και το 50% του αριθμού των κινητών τηλεφώνων – ήτοι 450 τεμάχια, δεν κατέστη δυνατό να περισωθούν από τους κατόχους τους.

Στο Green Passport δεν αναφέρονται επίσης καθόλου τεμάχια ηλεκτρονικού εξοπλισμού ο οποίος ανήκε στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του Κ/Ζ αυτού καθαυτού. Είναι σίγουρα δύσκολη μια ακριβής καταμέτρηση και εκτίμηση των, φαντάζει όμως δυσχερής η λειτουργία ενός ολόκληρου σκάφους από το οποίο απουσιάζουν παντελώς σταθεροί Η/Υ, εκτυπωτές, φωτοαντιγραφικά μηχανήματα κτλ. Εκτιμάται πάντως ότι ο κύριος όγκος των ηλεκτρονικών αποβλήτων του ναυαγίου οφείλεται σε συσκευές των επιβατών, οπότε και πιστεύεται συντηρητικά ότι το 20% μόλις των ηλεκτρονικών των συσκευών αποτελούν οι αντίστοιχες του ίδιου του πλοίου.

2.5.6. Ανιχνευτές καπνού

Οι ανιχνευτές καπνού αποτιμώνται στο Green Passport του Sea Diamond σαν συνολικά 1050 τμχ. Η επανεκτίμηση των ποσοτήτων αναφέρονται στο Green

Passport θα ήταν εξαιρετικά επισφαλής, ιδιαίτερα απουσία της μελέτης πυρασφάλειας του σκάφους.

Η κύρια ανησυχία όσον αφορά ανιχνευτές καπνού έγκειται στο ότι για τη λειτουργία τους χρησιμοποιείται αμερίκιο-241 (^{241}Am). Βέβαια, εκτιμάται ότι η μέγιστη ετήσια ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας ενός χρήστη είναι πιθανά περίπου ίση με 0.1 μSv (Sievert), εξαιρετικά μικρή συγκρινόμενη με τη μέση ετήσια ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας που δέχεται ο άνθρωπος λόγω της φυσικής ραδιενέργειας (2.4 mSv). Επίσης, η ίδια η κατασκευή της πηγής ακτινοβολίας ελαχιστοποιεί την οφειλόμενη σε ανεξέλεγκτη διάθεση πιθανή δόση σε ανθρώπους **[24].** Σημειώνεται όμως ότι παρά τη διεξοδική βιβλιογραφική έρευνα, δεν κατέστη δυνατή η ανεύρεση της πιθανή τύχης ανιχνευτών αυτού του τύπου για τις συνθήκες οι οποίες επικρατούν στο βυθό της καλντέρας. Δεν μπορεί συνεπώς να ειπωθεί με ασφάλεια από την παρούσα ότι το συγκεκριμένο κλάσμα ΑΗΗΕ του ναυαγίου δεν αποτελεί δυνητικό μελλοντικό κίνδυνο για το περιβάλλον. Συν τοις άλλοις, η μοναδική μέχρι τώρα εμπεριστατωμένη μελέτη και διεξαχθείσες σειρές δειγματοληψιών στη συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. δεν συμπεριέλαβαν τη συγκεκριμένη παράμετρο στην έρευνα της **[31].**

2.5.7. Φορητοί Συσσωρευτές

Μικρές φορητές μπαταρίες, επαναφορτιζόμενες (δευτερογενείς) ή μη (πρωτογενείς) δεν προβάλλονται στον απολογισμό του Green Passport. Η πιθανότατη όμως παρουσία των αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για το τοπικό οικοσύστημα, λόγω της περιεκτικότητας των σε επικίνδυνες ουσίες και παρασκευάσματα, όπως π.χ. Pb, Hg, Cd κτλ. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι ένα μεγάλο ποσοστό των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται σε στραγγίσματα χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) προέρχεται από φορητές μπαταρίες οικιακής χρήσεως, παρότι αποτελούν πολύ μικρό κλάσμα του συνολικού βάρους των αστικών αποβλήτων **[32,33].**

Μερικές από τις ηλεκτρικές συσκευές που η λειτουργία τους απαιτεί μπαταρίες και που πιστεύεται ότι υπάρχουν στο ναυάγιο του Sea Diamond είναι φορητές συσκευές ήχου (π.χ. MP3 player), παιχνιδομηχανές, κινητά τηλέφωνα, φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, ρολόγια, φωτογραφικές μηχανές, βιντεοκάμερες, τηλεχειριστήρια κλπ. Οι κυριότεροι τύποι αυτών είναι ψευδαργύρου-άνθρακα (Zn-C), αλκαλικές μαγγανίου (Al-Mn) και λιθίου (Li-ion), διαφόρων μεγεθών και χωρητικοτήτων.

Η εκτίμηση του αριθμού και του μέσου βάρους των θεωρείται και αυτή εξαιρετικά δυσχερής, όπως και για άλλα προαναφερθέντα κλάσματα των ΑΗΗΕ του ναυαγίου. Από την άλλη μεριά, βασιζόμενοι στις πραγματοποιηθείσες εκτιμήσεις που αφορούν σε αριθμό τηλεοράσεων (σε κάθε μια αντιστοιχεί ένα τηλεχειριστήριο με δύο μπαταρίες ΑΑ Zn-C ή Al-Mn) κινητών τηλεφώνων (για κάθε ένα αντιστοιχεί μία μπαταρία Li-ion) και φορητών υπολογιστών (για κάθε ένα αντιστοιχεί μία μπαταρία Li-ion), δύναται να εκτιμηθεί ότι ο αριθμός των ανέρχεται σε περίπου 1100 τεμάχια. Εύλογο κρίνεται επίσης ο αριθμός αυτός να πρέπει να είναι αυξημένος κατά τουλάχιστον 10%, για να περιλαμβάνει μπαταρίες που βρίσκονται σε ΗΗΕ άλλο πέραν των προαναφερθέντων. Συνεπώς καταληκτικά εκτιμάται ότι εντός του ναυαγίου βρίσκονται τουλάχιστον 1200 τμχ φορητών μπαταριών κυρίως των τύπων Zn-C, Al-Mn και Li-ion, μέσου βάρους περίπου 30 γραμμαρίων.

2.5.8. Ηλεκτρικές Συσκευές

Στην κατηγορία αυτή η παρούσα μελέτη ομαδοποιεί μεγάλες οικιακές συσκευές, μικρές οικιακές συσκευές και καταναλωτικά είδη (πλην τηλεοράσεων, βλ. §5.4) ως ορίζονται οι κατηγορίες αυτές ΗΗΕ από το ΠΔ 117/2004 και την οδηγία 2002/96/ΕΚ. Λαμβάνει χώρα κατ' αυτόν τον τρόπο, μιας και το Green Passport του Κ/Ζ αναφέρει την κατηγορία «ηλεκτρικός εξοπλισμός», στην οποία και αποδίδει 137 συνολικά τεμάχια.

Ο ξενοδοχειακός και ο εξοπλισμός εστίασης του Κ/Ζ Sea Diamond, επειδή ακριβώς πρόκειται για κρουαζιερόπλοιο και όχι κάποιο οχηματαγωγό ή φορτηγό πλοίο, θα πρέπει να απαρτίζεται τόσο από πληθώρα μεγάλων οικιακών συσκευών, όσο και μικρότερων, αλλά και από πληθώρα καταναλωτικών ειδών. Ενδεικτικά αναφέρουμε μεγάλες οικιακές συσκευές όπως ψυγεία, καταψύκτες, πλυντήρια ρούχων και πιάτων, ηλεκτρικές κουζίνες και φούρνοι, μικρές οικιακές συσκευές όπως ηλεκτρικές σκούπες, μύλοι, καφετιέρες, καθώς και καταναλωτικά είδη όπως ηχοσυστήματα, βιντεοκάμερες κτλ.

Το Green Passport δεν επιμερίζει τουλάχιστον τα αναφερόμενα τεμάχια ηλεκτρονικού εξοπλισμού στις διαφορετικές τους έστω κατηγορίες. Επίσης μια νέα αποτίμηση του αριθμού των συσκευών αυτών θα ήταν εξαιρετικά επισφαλής λόγω της έλλειψης περαιτέρω δεδομένων, παρότι για παράδειγμα σε καμπίνες επιβατών Κ/Ζ ή Ε/Γ πλοίων υπάρχουν συχνά μικρά ψυγεία. Κρίνεται σκόπιμο να θεωρηθεί ότι ο αριθμός που δίδεται από το Green Passport αντιστοιχεί σε ποσοστό περίπου 40% σε μεγάλες, 40% σε μικρές οικιακές συσκευές, και 20% σε καταναλωτικά είδη. Ειδικά για τις δύο τελευταίες κατηγορίες εκτιμάται ότι παρουσιάζουν όμοια χαρακτηριστικά με εξοπλισμό των αυτών κατηγοριών αστικού πληθυσμού **[34,35].**

Την κύρια ανησυχία για τις πιθανές μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποπνέουν τα πλαστικά κατασκευαστικά στοιχεία του εξοπλισμού αυτού, ο οποίος ανάλογα την ηλικία του πιθανώς περιέχει κάδμιο, μόλυβδο, χρώμιο, υδράργυρο, νικέλιο, ψευδάργυρο, χαλκό, καθώς και σε μεγάλο κ.β. ποσοστό βρωμιωμένα επιβραδυντικά φλόγας **[34,36-39]**.

Συνάμα, είναι πιθανό σε μεγάλες οικιακές συσκευές του σκάφους (ψυγεία, καταψύκτες) σαν ψυκτικό ρευστό να χρησιμοποιούνται ουσίες που προκαλούν μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος (ODS). Ειδικότερα όσον αφορά τους υδροφθοράνθρακες (HFCs), αναφέρεται ότι πολλές ψυκτικές συσκευές οι οποίες σήμερα είναι ακόμη σε λειτουργία περιέχουν HFCs [43]. Το ίδιο το Green Passport «ομολογεί» ότι στο πλοίο βρίσκονται άγνωστες ποσότητες υδροχλωροφθορανθράκων $CHClF_2$ (HCFC-22). Για την ένωση αυτή έχει προδιαγραφεί από το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και τη Συνθήκη της Κοπεγχάγης ήδη από το 1992 η εξάλειψη της χρήσης του μέχρι το 2030.

Σαν μέσο βάρος αυτών των πιθανώς περιεχομένων στο ναυάγιο ηλεκτρικών συσκευών, επιλέχθηκαν τα 40, 1.0 και 1.5kg/τμχ. Αυτό το μέσο βάρος δίδεται από συγγράμματα τα οποία δυστυχώς δεν ασχολούνται με ηλεκτρονικό εξοπλισμό πλοίων ή ναυαγίων, σαν αντικείμενο μελέτης έχουν όμως ηλεκτρικό εξοπλισμό αστικού πληθυσμού, ο οποίος εν ολίγοις εκτιμάται ότι παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με τον ΗΗΕ της παρούσης περίπτωσης **[34,35,39,40].**

2.5.9. Σύνοψη

Συνοψίζοντας τα πορίσματα των προηγούμενων παραγράφων 2.5.1 έως και 2.5.8, στον παρακάτω πίνακα δίδεται μια συνολική εκτίμηση για τις υπάρχουσες στο ναυάγιο ποσότητες ΑΗΗΕ και συναφών αυτών αποβλήτων (μπαταρίες, καλώδια), επιμερισμένα ανά κατηγορία.

Πίνακας 2.7. Εκτιμώμενες ποσότητες ΑΗΗΕ & συσσωρευτών στο ναυάγιο του Κ/Ζ Sea Diamond.

Είδος	**Ποσότητα («Green Passport»)**	**Ποσότητα (Ιδία εκτίμηση)**		**Σχόλιο**
Συσσωρευτές	336L (ηλεκτρολύτης)	50 τμχ	~1000kg συσσωρευτών	Μέσο βάρος συσσωρευτή 20kg, 30% w/w ηλεκτρολύτης
Καλώδια	17000m	17000m	3400kg	Μέσο βάρος ~200gr/m
Λαμπτήρες & Σωλήνες Φθορισμού	6501 τμχ	6501 τμχ		Μέσο βάρος ~500gr/τμχ
Οθόνες & Τηλεοράσεις CRTs	17 & 92 τμχ	17 & 250 τμχ	~3.400kg	Μέσο βάρος 13kg/τμχ
Η/Υ	–	~180 τμχ	~ 540kg	Μέσο βάρος 3kg/τμχ
Κινητά τηλέφωνα	–	450 τμχ	~45kg	Μέσο βάρος ~100gr/τμχ
Ανιχνευτές καπνού	1050 τμχ	1050 τμχ		
Φορητές Μπαταρίες	–	~1200 τμχ	72kg	Μέσο βάρος ~60gr/τμχ
Μεγάλες οικιακές συσκευές	–	55 τμχ	~2200kg	Μέσο βάρος 40kg/τμχ
Μικρές οικιακές συσκευές	–	55 τμχ	~50 kg	Μέσο βάρος 1kg/τμχ
Καταναλωτικά είδη	–	30 τμχ	~50 kg	Μέσο βάρος 1.5kg/τμχ

Όπως καταδεικνύεται στον **Πίνακα 2.7,** πιστεύεται ότι το Green Passport του Κ/Ζ Sea Diamond δεν κατέστη δυνατό να αντικατοπτρίσει πλήρως την πραγματικότητα τουλάχιστον σε σχέση με όλα τα διαφορετικά κλάσματα ΑΗΗΕ του ναυαγίου. Σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις του παρόντος πονήματος εμφανίζεται να υποτιμά ή να μην λαμβάνει καθόλου υπόψη ποσότητες που προέρχονται ιδίως από τους ίδιους τους επιβάτες, αλλά και από τον ίδιο τον ξενοδοχειακό εξοπλισμό του σκάφους.

Βάσει των ανωτέρω, λαμβάνοντας αντιπροσωπευτικά δείγματα ΑΗΗΕ, επιλέχθηκε η πειραματική διάταξη για την προσομοίωση της απελευθέρωσης επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων από τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα του ναυαγίου.

2.6. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΤΟ Κ/Ζ SEA DIAMOND

Στην παρούσα ενότητα αναφέρεται το μέσο κατ' εκτίμηση περιεχόμενο των ΑΗΗΕ του ναυαγίου στις κυριότερες επικίνδυνες ουσίες που δύνανται να ανευρεθούν σε αυτό.

2.6.1. Μόλυβδος (Pb)

Μια οθόνη τεχνολογίας CRT, ανάλογα με το μέγεθος, την παλαιότητα και την προέλευση της περιέχει κατά μέσο όρο 0.5 έως 5kg μόλυβδου, ο οποίος χρησιμοποιείται σε διάφορα τμήματα της **[21,22].** Λόγω του μικρού γενικά μεγέθους (14\`-17\`) των οθονών και τηλεοράσεων που πιστεύεται ότι συνθέτουν το κλάσμα αυτό ΑΗΗΕ του πλοίου, αλλά και της αποτιμώμενης σχετικά μικρής ηλικίας αυτών των συσκευών, ποσότητα Pb περί το ~1kg/τμχ λαμβάνεται σαν βάση υπολογισμών.

Συνάμα, εκτιμάται ότι ο Pb αποτελεί κατά μέσο όρο το 0.5% κ.β. των προϊόντων ΗΗΕ και ιδίως οικιακών συσκευών και καφέ αγαθών **[41]**. Επίσης, αποτελεί περίπου το 4 με 6% κ.β. μιας πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (printed wiring board, PWB), ήτοι σε ~2% του βάρους ενός «μείγματος» Η/Υ, κινητών τηλεφώνων και άλλων προϊόντων πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών **[42].** Όσον αφορά φορητές μπαταρίες, στις ευρέως διαδεδομένες Zn/C χρησιμοποιείται μόλυβδος στο ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου σε ποσοστό 0.05-0.5% **[43],** όπου αποτελεί ρεαλιστική εκτίμηση μέση τιμή 0.3% κ.β. Στις lead-acid, οι οποίες και ανευρίσκονται σε μεγάλα ποσά στο Κ/Ζ, μόλυβδος περιέχεται σε διάφορες μορφές σε ποσοστό ίσο τουλάχιστον με ~20% κ.β.

Εν κατακλείδι η συνολική ποσότητα μολύβδου στο ναυάγιο του Κ/Ζ Sea Diamond, προερχόμενη από τα ΑΗΗΕ, υπολογίζεται σαν περίπου ίση με 500kg, ποσότητα η οποία οφείλεται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% στις υπάρχουσες CRTs και μπαταρίες μολύβδου οξέος.

2.6.2. Υδράργυρος (Hg)

Ως προαναφέρθηκε (§5.1.3) ανά τεμάχιο σύγχρονου λαμπτήρα φθορισμού περιέχονται 3-20mg Hg, ενώ σε παλαιότερης τεχνολογίας 15-30 mg. Οι ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων περιέχουν περίπου 6mg Hg ανά λαμπτήρα **[19]**. Σαν μέση τιμή, για το σύνολο των ~6.500 λαμπτήρων του Κ/Ζ πιστεύεται ότι η τιμή των 5 mg Hg ανά τεμάχιο είναι αντιπροσωπευτική, μιας και προσεγγίζει την περιεκτικότητα σε Hg για όλες τις προαναφερθείσες κατηγορίες λαμπτήρων, με την παραδοχή βέβαια ότι η πλειονότητα του πλήθους των είναι κύρια νέας τεχνολογίας. Η εκτιμώμενη λοιπόν ποσότητα Hg από λαμπτήρες φθορισμού ανέρχεται σε ~32.5kg.

Συνάμα, στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι υδράργυρος αποτελεί το 0.002% κ.β. ηλεκτρονικών ειδών, όπως Η/Υ [17]. Συνοψίζοντας, η ολική ποσότητα (στοιχειακού) Hg στο ναυάγιο του Sea Diamond, εκπορευόμενη από το κλάσμα των ΑΗΗΕ, υπολογίζεται σαν περίπου ίση με 33kg.

2.6.3. Κάδμιο (Cd)

Στις μπαταρίες Zn-C χρησιμοποιείται κάδμιο σε ποσοστό 0.01-0.05% **[43]**, όπου λαμβάνει χώρα η συντηρητική παραδοχή ότι στο σύνολο των φορητών ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών του ναυαγίου περιέχεται κάδμιο σε ποσοστό 0.02% κ.β. Το αυτό ποσοστό % κ.β. καδμίου πιστεύεται ότι περιέχεται και στις μπαταρίες μολύβδου οξέος του Κ/Ζ. Συνάμα, στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το κάδμιο αποτελεί το 0.01% κ.β. ηλεκτρονικών ειδών, όπως Η/Υ, CRTs, πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων κ.α. **[44]**. Η εκτιμώμενη λοιπόν ποσότητα Cd από αυτές τις συγκεκριμένες κατηγορίες ΗΗΕ υπολογίζεται στα ~630 gr.

Επίσης το περιεχόμενο σε κάδμιο των πλαστικών κατασκευαστικών στοιχείων ΗΗΕ είναι ιδιαίτερα σημαντικό **[34]**, παρότι στη βιβλιογραφία εμφανίζονται μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ 5 και 2000ppm **[37,39,45,46]**. Τα περισσότερα πάντως συγγράμματα συγκλίνουν γύρω από την τιμή των 200ppm (0.02% κ.β.). Δεχόμενοι αυτή την περιεκτικότητα, τα πλαστικά ΗΗΕ «προσφέρουν» ~350gr Cd. Εν κατακλείδι η ποσότητα καδμίου στο ναυάγιο του Κ/Ζ Sea Diamond, προερχόμενη από τα ΑΗΗΕ, υπολογίζεται σαν περίπου ίση με 1200gr.

2.6.4. Χρώμιο (Cr)

Αν και οι χρησιμοποιούμενες ανά κατασκευαστικό στοιχείο-εξάρτημα ΗΗΕ ποσότητες Cr(VI) είναι μικρές, αναφέρεται ότι η σύμφωνα με εκτιμήσεις απόρριψη $315 \cdot 10^6$ υπολογιστών στις Η.Π.Α το διάστημα 1997 με 2004, επέφερε την απόρριψη σχεδόν 450 μετρικών τόνων εξασθενούς χρωμίου στο περιβάλλον **[44]**.

Τη σημαντικότερη συνιστώσα πιστεύεται ότι αποτελεί το περιεχόμενο σε χρώμιο των πλαστικών κατασκευαστικών στοιχείων ΗΗΕ του βυθισμένου πλοίου. Στη βιβλιογραφία (όπως και για το κάδμιο) εμφανίζονται μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ 10 και 900ppm **[34,37,39,45-47]**, εξαναγκάζοντας τη θεώρηση ότι η αναμενόμενη περιεκτικότητα σε χρώμιο του εξοπλισμού του Κ/Ζ συγκλίνει γύρω από την τιμή των 200ppm (0.02% κ.β.). Δεχόμενοι αυτήν την περιεκτικότητα, τα πλαστικά ΗΗΕ «προσφέρουν» ~350gr Cr στο φορτίο βαρέων μετάλλων του ναυαγισμένου σκάφους.

Από την άλλη, ασφαλή δεδομένα για τη συγκέντρωση στοιχειακού έστω Cr σε άλλα συστατικά των ΗΗΕ δεν βρέθηκαν δυστυχώς. Συνοψίζοντας λοιπόν, η ποσότητα χρωμίου στο ναυάγιο του Κ/Ζ Sea Diamond, η προερχόμενη από τα ΑΗΗΕ, υπολογίζεται σαν περίπου ίση με 350gr. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι αφορά σε στοιχειακό χρώμιο, καθότι είναι πολύ δύσκολη η διάκριση του σε τρισθενές (αβλαβές) και εξασθενές (επικίνδυνο για την υγεία και το περιβάλλον).

2.6.5. Βρώμιο (Br) / BFRs

Ένα ζήτημα πρωτεύουσας σημασίας για τις μελλοντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ναυαγίου του Κ/Ζ Sea Diamond είναι οι (αλογονωμένοι) επιβραδυντές φλόγας. Σε απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού ανευρίσκονται κυρίως στα πλαστικά κατασκευαστικά στοιχεία και εξαρτήματα, καθώς βέβαια και στις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων.

Πλήθος μελετών έχει ασχοληθεί με την περιεκτικότητα των πλαστικών ΑΗΗΕ σε αλογονωμένα επιβραδυντικά φλόγας ή/και αλογόνα γενικότερα (στοιχειακή ανάλυση). Επίσης πληθώρα επιστημόνων έχει ενασχοληθεί με την ταυτοποίηση βρωμιωμένων επιβραδυντών φλόγας σε πολυμερικές μήτρες **[46,48-51].** Όμως πληθώρα στοιχείων περί ποσοτικού προσδιορισμού PBBs (Polybrominated biphenyls) ή PBDEs (Polybrominated diphenyl ethers) δεν ήταν δυνατό να βρεθεί, καθότι απαιτεί εξαιρετικά εξεζητημένες αναλυτικές μεθόδους ανάλυσης. Βάσει μονάχα της πηγής **[46]**, δεχόμαστε ότι σε πλαστικά υλικά ΗΗΕ υφίστανται μη ανιχνεύσιμες ποσότητες PBBs, PBDEs σε συγκεντρώσεις μεταξύ 800 και 7400ppm και σε μέση συγκέντρωση ~3000ppm, καθώς και TBBP A (Tetrabromobisphenol A) ή/και TBBPE σε συγκεντρώσεις μεταξύ 100 και 600ppm, σε μέση συγκέντρωση ~300ppm.

Τα αποτελέσματα μελετών που ασχολούνται με το περιεχόμενο των πλαστικών ΗΗΕ σε αλογόνα και δη βρώμιο (προερχόμενο πάντα από τα BFRs) είναι πολυπληθέστερα **[34,36-39,45-47]**. Όμως παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των, οι οποίες φτάνουν έως και το 4000% **[34]**, αναφέροντας συγκεντρώσεις Br από 150 έως 250000ppm (0.015 έως 25% w/w). Σαν μέση τιμή συγκέντρωσης βρωμίου στα πλαστικά ΑΗΗΕ που εκτιμάται ότι υφίστανται στο ναυάγιο επιλέγονται τα 10000ppm (1% κ.β.), μιας και η πλειονότητα των εν λόγω συγγραμμάτων συγκλίνει γύρω από την τιμή αυτή, ενώ συνάμα φαντάζει και ρεαλιστικότερη θεωρώντας ότι ο υπάρχων στο ναυάγιο ΗΗΕ είναι νεαρής σχετικά ηλικίας (ήτοι με μικρότερη περιεκτικότητα σε BFRs σε σχέση με ΗΗΕ παλαιάς τεχνολογίας). Βάσει λοιπόν των ανωτέρω, οι ποσότητες βρωμίου και BFRs στο ναυάγιο του Κ/Ζ Sea Diamond, προερχόμενες από τα ΑΗΗΕ, υπολογίζονται σαν περίπου ίσες με 18200gr.

2.6.6. Σύνοψη

Συνοψίζοντας τα πορίσματα των προηγούμενων παραγράφων 2.6.1 έως και 2.6.5, για τις ποσότητες ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων που βρίσκονται στο ναυάγιο, καθώς βιβλιογραφικά δεδομένα για την μέση περιεκτικότητα των επιμέρους ειδών συσκευών, κατασκευαστικών στοιχείων και συστατικών μερών σε Hg, Pb, Cd, Cr και BFRs στον παρακάτω πίνακα δίδεται μια συνολική εκτίμηση για τις υπάρχουσες στο ναυάγιο ποσότητες παρασκευασμάτων και ουσιών αυτών.

Πίνακας 2.8. Εκτιμώμενες ποσότητες των κυρίων επικινδύνων ουσιών στο ναυάγιο του K/Z Sea Diamond.

Στοιχείο / Ουσία	**Ποσότητα [3](kg)**
Υδράργυρος (Hg)	33
Μόλυβδος (Pb)	500
Κάδμιο (Cd)	1.20
Χρώμιο (Cr)	0.35
Βρώμιο (Br)	18.2

Εκτιμάται λοιπόν ότι ακόμη και βάσει των πολλαπλών συντηρητικών παραδοχών του παρόντος πονήματος, και των ποσοτήτων ΗΗΕ που αναφέρονται στο Green Passport του σκάφους **[13],** οι ποσότητες βαρέων μετάλλων και αλογόνων δεν είναι διόλου ασήμαντες.

[3] Οι ποσότητες αναφέρονται σε στοιχειακό Pb, Hg, Cd, Cr, Br.

Ένα θέμα το οποίο χρίζει αμέριστης προσοχής είναι το κατά πόσον οι ποσότητες αυτές δύνανται να απελευθερωθούν στο θαλάσσιο περιβάλλον της περιοχής βύθισης του σκάφους. Μέχρι στιγμής υπάρχουν δυστυχώς μόνον μελέτες που ασχολούνται με τη συγκέντρωση των σε στραγγίσματα ΧΥΤΑ, καθώς και τη δυνητική απελευθέρωση των σε αυτά μέσω προσομοιώσεων σε εργαστηριακή ή πιλοτική κλίμακα **[52,53].** Με μια πρώτη ανάγνωση και αντιπαραβολή με τις συνθήκες που επικρατούν στο ναυάγιο, αυτό κρίνεται ως αρκετά πιθανό, χωρίς όμως να μπορεί να στηριχθεί επιστημονικά μέχρι στιγμής. Σε πρώτη εκτίμηση, η απελευθέρωσή των θα καταστήσει ακατάλληλα για κολύμβηση, πόσο δε μάλλον για πόση, τα ύδατα της γύρω περιοχής **[54],** αν και ο αντίκτυπος στη θαλάσσια ζωή της περιοχής πιθανώς δεν θα είναι ακόμη αισθητός. Βέβαια, μέχρι στιγμής αυτή η πιθανότητα δεν έχει πραγματοποιηθεί **[31]**.

Για το λόγο αυτό, στη συνέχεια της παρούσης θα παρουσιαστεί η προσομοίωση της δυνητικής απελευθέρωσης των ρύπων αυτών, υπό των συνθηκών που επικρατούν στο ναυάγιο. Μονάχα έτσι θα μπορέσει να προβλεφθεί τόσο ο ρυθμός απελευθέρωσης των στο περιβάλλον της περιοχής, όσο και οι μελλοντικές μέσο- ή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των σε αυτό.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1. ΣΚΟΠΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος είναι η διαπίστωση απελευθέρωσης βαρέων μετάλλων στο θαλασσινό νερό στις συνθήκες που βρίσκεται το ναυάγιο του Sea Diamond, μέσω της διεργασίας της διάβρωσης. Ειδικότερα εξετάζεται η διάβρωση του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού του ναυαγίου, εξοπλισμός που συναντάται σε οποιοδήποτε άλλο επιβατηγό ή μη πλοίο. Επίσης θα επιχειρηθεί ποσοτικοποίηση του ρυθμού απελευθέρωσης των πιο επικίνδυνων εκ των βαρέων μετάλλων.

3.2. ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή προσέγγιση των συνθηκών που επικρατούν στο ναυάγιο του Sea Diamond, κατασκευάστηκε ένας αυτοσχέδιος αντιδραστήρας όπως περιγράφεται παρακάτω. Η κατασκευή βασίστηκε στην προσομοίωση των συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας και επιλέχθηκε η χρήση πραγματικού θαλασσινού νερού για καλύτερη προσέγγιση των φυσικοχημικών παραμέτρων. Αναλυτικότερα ο αντιδραστήρας αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:

1. Η κυρίως δεξαμενή, κυλινδρικού σχήματος, εσωτερικής διαμέτρου 0.63m και ύψους 1m, χωρητικότητας περίπου 320 λίτρων, κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα πάχους 3mm. Το πάνω μέρος της δεξαμενής αποσπάται (καπάκι) για την τοποθέτηση των προς εξέταση αντικειμένων και σφραγίζεται συγκρατούμενο από 18 παξιμάδια που βιδώνουν πάνω στη δεξαμενή. Στο καπάκι έχουν τοποθετηθεί μανόμετρο, αισθητήρας θερμοκρασίας, βαλβίδα ανακούφισης και βάνα για τη διαφυγή του αέρα κατά την πλήρωση της δεξαμενής με νερό. Εσωτερικά, στη βάση της δεξαμενής, υπάρχει αναδευτήρας, ο οποίος τίθεται σε λειτουργία με διακόπτη

τοποθετημένο εξωτερικά αυτής και προστατεύεται από σχάρα τοποθετημένη ακριβώς από πάνω του, προκειμένου να μην έρχεται σε επαφή με τα αντικείμενα που θα βρίσκονται μέσα στη δεξαμενή. Εξωτερικά η δεξαμενή περιβάλλεται από ανοξείδωτη σωλήνα Φ21 μήκους περίπου 18 μέτρων, στην οποία κυκλοφορεί νερό για τον έλεγχο της θερμοκρασίας εσωτερικά και προστατεύεται από λαμαρίνα πάχους 0.6mm. Στο κάτω μέρος βρίσκονται δύο βάνες για την εισαγωγή νερού και στο πλάι, σε διαφορετικά ύψη, τρεις βάνες (διπλές) για δειγματοληψία (**Εικόνες 3.1** και **3.2**).

2. Το σύστημα ψύξης, το οποίο αποτελείται από τον ψύκτη νερού, με ανοξείδωτη δεξαμενή και θερμοκρασία εξόδου 8-12^{o}C, κυκλοφορητή και όργανο με ψηφιακή απεικόνιση της θερμοκρασίας. Το όργανο συνδέεται με τον αισθητήρα θερμοκρασίας στο καπάκι της δεξαμενής και ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να δίνει εντολή λειτουργίας ή μη του κυκλοφορητή και του ψύκτη νερού μέσω ενός ρελέ. Επίσης για την αποφυγή, όσο αυτό είναι δυνατό, ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον, η δεξαμενή εξωτερικά περιβάλλεται από μονωτικό στρώμα πολυουρεθάνης περιτυλιγμένο με αλουμινόφυλλο (**Εικόνα 3.3**).

3. Η δευτερεύουσα δεξαμενή, η λειτουργία της οποίας είναι το πρεσάρισμα της επιπλέον ποσότητας νερού, μέσω χειροκίνητης αντλίας, που απαιτείται στην κυρίως δεξαμενή (εφόσον αυτή έχει πρώτα γεμίσει με νερό και έχει σφραγιστεί), με σκοπό την επίτευξη ανάλογης πίεσης με αυτή στο βάθος που βρίσκεται το ναυάγιο **(Εικόνα 3.3).**

Εικόνα 3.1. Κύρια δεξαμενή (πάνω αριστερά), βάνες για δειγματοληψία σε διαφορετικά ύψη (πάνω δεξιά), άνω μέρος δεξαμενής ανοιχτό (κάτω αριστερά) και άνω μέρος δεξαμενής σφραγισμένο (κάτω δεξιά). Στο καπάκι διακρίνονται το μανόμετρο, η βαλβίδα ανακούφισης, η βάνα για τη διαφυγή του αέρα και η υποδοχή για τον αισθητήρα θερμοκρασίας.

Εικόνα 3.2. Εσωτερικό κύριας δεξαμενής, διακρίνονται ο αναδευτήρας και η σχάρα προστασίας του (πάνω αριστερά), διακόπτης λειτουργίας αναδευτήρα (πάνω δεξιά), είσοδος σερπαντίνας που τυλίγεται γύρω από τη δεξαμενή (κάτω αριστερά) και βάνα για την εισαγωγή νερού στο κάτω μέρος (κάτω δεξιά).

Εικόνα 3.3. Ψύκτης νερού (πάνω αριστερά), όργανο με ψηφιακή απεικόνιση της θερμοκρασίας, ρελέ έναρξης και παύσης λειτουργίας κυκλοφορητή και ψύκτη, κυκλοφορητής (πάνω δεξιά), μονωτικό υλικό που περιβάλλει την κύρια δεξαμενή (κάτω αριστερά) και δευτερεύουσα δεξαμενή, με χειροκίνητη αντλία και μανόμετρο (κάτω δεξιά).

3.3. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΠΡΟΣ ΕΞΕΤΑΣΗ

Η επιλογή των αντικειμένων έγινε με βάση την περιεκτικότητα τους σε βαρέα μέταλλα. Τα αντικείμενα αυτά αφενός αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και αφετέρου μπορούν εύκολα να βρεθούν και δεν απαιτούν ειδικό χειρισμό. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικότερα οι λόγοι επιλογής τους.

- Οι καθοδικές λυχνίες (cathode ray tubes, CRTs) οθονών υπολογιστών, τηλεοράσεων αλλά και ψηφιακών monitors και οργάνων, περιέχουν πληθώρα επικινδύνων για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον ουσιών, όπως μόλυβδο (Pb), κάδμιο (Cd), υδράργυρο (Hg), βάριο (B), αργίλιο (Al), αντιμόνιο (Sb), φωσφόρους κ.α. **[20-23].** Ανά CRT περιέχονται κατά μέσο όρο 0.5 έως 5kg Pb, ο οποίος χρησιμοποιείται σε διαφορετικά τμήματά της. Για το λόγο αυτό απαιτείται η αποτροπή της εκπομπής-έκλυσης αυτού στο έδαφος, στο νερό ή στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας οιασδήποτε άστοχης επιλογής πρακτικών διαχείρισης. Για το λόγο αυτό οι CRTs κατατάσσονται στην κατηγορία των απολύτως επικινδύνων αποβλήτων **[24]**.
- Στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στα κινητά τηλέφωνα συναντάμε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (Printed Wiring Board, PWB). Οι PWBs εκτιμάται ότι αποτελούν ένα προϊόν, για το οποίο ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της παραγωγής, χρήσης και διάθεσης του είναι πολύ εκτεταμένος **[44].** Μια PWB δύναται να περιέχει μια ποικιλία επικίνδυνων ουσιών (π.χ. βαρέα μέταλλα όπως Sb, Ag, Cr, Zn, Ga, Pb, Sn και Cu).

- Μικρές φορητές μπαταρίες, επαναφορτιζόμενες (δευτερογενείς) ή μη (πρωτογενείς) αποτελούν μεγάλο πιθανό κίνδυνο για το τοπικό οικοσύστημα, λόγω της περιεκτικότητάς των σε επικίνδυνες ουσίες και παρασκευάσματα, όπως π.χ. μόλυβδο (Pb), υδράργυρο (Hg), κάδμιο (Cd) κτλ. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι ένα μεγάλο ποσοστό των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται σε στραγγίσματα χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) προέρχεται από φορητές μπαταρίες οικιακής χρήσεως, παρότι αποτελούν πολύ μικρό κλάσμα του συνολικού βάρους των αστικών αποβλήτων **[32,33,55].**
- Οι λαμπτήρες και σωλήνες φθορισμού περιέχουν υδράργυρο (Hg) και για το λόγο αυτό άλλωστε απαιτείται και η χωριστή συλλογή των από το ρεύμα των οικιακών αποβλήτων, βάσει της Οδηγίας 2002/96/ΕΚ. Οι σύγχρονοι λαμπτήρες φθορισμού περιέχουν 3-20mg Hg ανά τεμάχιο, ενώ οι παλαιότερης τεχνολογίας 15-30mg έκαστος. Οι ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων (CFL) περιέχουν περίπου 6mg Hg ανά λαμπτήρα **[19].**

Η προμήθεια των αντικειμένων (τα οποία προορίζονταν για ανακύκλωση) έγινε από τοπικά καταστήματα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών και παρουσιάζονται αναλυτικά στις εικόνες και στον πίνακα που ακολουθούν.

Εικόνα 3.4. Μέρη Η/Υ (πάνω αριστερά), κουτί Η/Υ (πάνω δεξιά), οθόνη CRT (κέντρο αριστερά), συσκευές, μπαταρίες και φορτιστές κινητών τηλεφώνων (κέντρο δεξιά), μπαταρίες τύπου ΑΑ (κάτω αριστερά) και διάφοροι λαμπτήρες (κάτω δεξιά).

Πίνακας 3.1. Αναλυτικός πίνακας αντικειμένων που εξετάστηκαν στον πρώτο κύκλο λειτουργίας του αντιδραστήρα.

Τύπος αντικειμένου	**Βάρος (gr)**	**Παρατηρήσεις**
Οθόνη CRT	18440	
Θήκη	5330	
Τροφοδοτικό	1860	
Μητρική 1 (Motherboard)	1000	
Μητρική 2 (Motherboard)	660.00	
DVD-RW	890	
DVD-ROM	790	
Μονάδα floppy disk 1	411.70	
Μονάδα floppy disk 2	460.76	
Κάρτα γραφικών	104.01	
Κάρτα δικτύου	40.17	
Μνήμη RAM 1	17.85	
Μνήμη RAM 2	16.96	
Μνήμη RAM 3	16.58	
Συσκευή κινητού 1	57.58	
Συσκευή κινητού 2	61.32	
Συσκευή κινητού 3	60.33	
Συσκευή κινητού 4	61.52	
Φορτιστής κινητού 1	207.55	
Φορτιστής κινητού 2	74.81	
Μπαταρία κινητού 1	21.31	
Μπαταρία κινητού 2	23.30	
Μπαταρία κινητού 3	21.15	
Αλκαλικές μπαταρίες AA (20)	439.31	(8-0% Hg & 7-0% Cd)
3 Λάμπες φθορισμού	267.69	(σωλήνας 60cm)
1 Λάμπα φθορισμού	64.97	(σωλήνας 45cm)
5 Λάμπες φθορισμού	285.74	(μικρού μεγέθους)
5 Λάμπες οικονομίας	381.17	(διαφόρων μεγεθών)
Σ ύ ν ο λ ο	**32065.78**	

3.4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Για την ακόμα καλύτερη προσέγγιση των συνθηκών του ναυαγίου, χρησιμοποιήθηκε πραγματικό θαλασσινό νερό. Το νερό που επιλέχθηκε προήλθε από την παραλία περιοχής Καλαθά του Ακρωτηρίου Χανίων και για την μεταφορά του χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά δοχεία (μπιτόνια), χωρητικότητας 25lt το καθένα. Πριν τη χρήση του, λήφθηκε δείγμα προκειμένου να διαπιστωθεί ότι δεν είναι ήδη επιβαρημένο με βαρέα μέταλλα (τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.2**). Επίσης για την αποφυγή τυχόν επιμόλυνσης του νερού από τα μπιτόνια, πριν τη μεταφορά, εμβαπτίστηκαν σε αραιό νιτρικό οξύ για μερικές μέρες και ξεπλύθηκαν καλά με απιονισμένο νερό. Βασική προϋπόθεση πριν τη μεταφορά του νερού και την έναρξη λειτουργίας του αντιδραστήρα, ήταν οι ευνοϊκές μετεωρολογικές συνθήκες (σχετική άπνοια και ελάχιστη ή καθόλου βροχόπτωση).

Πίνακας 3.2. Αποτελέσματα ανάλυσης θαλασσινού νερού που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση της δεξαμενής προσομοίωσης – λήψη δείγματος 14/11/2010

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	<0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	<0.10	0.1

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ποσότητα θαλασσινού νερού για το ξέπλυμα της κύριας και της δευτερεύουσας δεξαμενής. Στη συνέχεια συνδέθηκε η δευτερεύουσα δεξαμενή με την κύρια, σε μία από τις δύο βάνες στη βάση της κύριας και ανοίχτηκε η βάνα. Πληρώθηκε η κύρια δεξαμενή, αδειάζοντας απευθείας τα μπιτόνια από το πάνω μέρος (με ανοιχτό καπάκι), χωρίς να υπερχειλίσει. Κατόπιν σφραγίστηκε, αφήνοντας ανοιχτή τη βάνα επάνω στο καπάκι προκειμένου να διαφύγει όλος ο αέρας από μέσα. Εφόσον διαπιστώθηκε ότι το νερό έχει γεμίσει τη δεξαμενή (εμφάνιση της στάθμης του νερού στο σωλήνα της βάνας), έκλεισε η βάνα και ξεκίνησε το πρεσάρισμα του νερού από τη δευτερεύουσα δεξαμενή. Με την επίτευξη της επιθυμητής πίεσης (≈14bar), η οποία αντιστοιχεί στο βάθος που βρίσκεται το ναυάγιο, έκλεισε η βάνα και αποσυνδέθηκε η δευτερεύουσα δεξαμενή. Τοποθετήθηκε το μονωτικό γύρω από τη βάση της κύριας δεξαμενής και τέθηκε σε λειτουργία το σύστημα ψύξης, ορίζοντας ως τιμή θερμοκρασίας παύσης του, τους 15.5^{o}C και επανεκκίνησης τους 16.5^{o}C.

Η πρώτη λειτουργία του αντιδραστήρα πραγματοποιήθηκε, γεμίζοντας τη δεξαμενή μόνο με θαλασσινό νερό, προκειμένου να διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχει επιβάρυνση του νερού με βαρέα μέταλλα από την ίδια τη δεξαμενή. Για το λόγο αυτό ο αντιδραστήρας παρέμεινε στις συνθήκες αυτές για μία εβδομάδα, μετά το πέρας της οποίας λήφθηκε δείγμα για να εξακριβωθεί η παραπάνω υπόθεση (τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.3**). Ολοκληρώνοντας τον κύκλο αυτό, η δεξαμενή άδειασε και ξεπλύθηκε καλά με νερό βρύσης και στη συνέχεια με απιονισμένο μέχρι την επαναχρησιμοποίηση της.

Πίνακας 3.3. Λήψη δείγματος από τη δεξαμενή μετά το πέρας 1 εβδομάδας για διαπίστωση μη απελευθέρωσης βαρέων μετάλλων από την ίδια τη δεξαμενή

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	<0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	<0.10	0.1

3.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΥΚΛΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Μετά τη λειτουργία του αντιδραστήρα μόνο με θαλασσινό νερό, ακολούθησε ο κύκλος λειτουργίας του, με τα αντικείμενα που επιλέχθηκαν προς εξέταση και αναφέρονται αναλυτικά στην ενότητα 3.3. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ακριβώς η ίδια που αναφέρθηκε στην ενότητα 3.3 με μόνη διαφορά, ότι λίγο πριν την πλήρωση του αντιδραστήρα με θαλασσινό νερό και τη σφράγιση της, τοποθετήθηκαν μέσα όλα τα αντικείμενα. Να σημειωθεί εδώ ότι τα αντικείμενα τοποθετήθηκαν μέσα στον αντιδραστήρα, ακριβώς ως ήταν, δηλαδή χωρίς να έχουν υποστεί οιαδήποτε επεξεργασία (αποσυναρμολόγηση, τεμαχισμό κ.τ.λ.), με σκοπό την όσο το δυνατόν πιο κοντά στις συνθήκες του ναυαγίου προσομοίωση.

Αφού τοποθετήθηκαν όλα τα αντικείμενα, σφραγίστηκε ο αντιδραστήρας και πληρώθηκε μέχρι διαφυγής όλου του αέρα μέσα από αυτόν, ξεκίνησε η διαδικασία αύξησης της πίεσης. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, και μόλις η πίεση εντός του αντιδραστήρα είχε φτάσει περίπου τα 5bar, παρατηρήθηκε έντονη και απότομη εκτόνωση αερίων, η οποία έθεσε εκτός λειτουργίας τα μανόμετρα στο καπάκι της κύριας δεξαμενής και στη χειροκίνητη αντλία της δευτερεύουσας. Εξαιτίας του συμβάντος αυτού η διαδικασία διεκόπη καθώς δεν ήταν δυνατή η παρακολούθηση της πίεσης μέσα στον αντιδραστήρα. Με προσοχή εκτονώθηκε και η εναπομένουσα πίεση εντός του αντιδραστήρα, χωρίς όμως να αδειάσει.

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η αντικατάσταση των μανομέτρων και ξεκίνησε εξ' αρχής η διαδικασία αύξησης της πίεσης. Όταν η πίεση έφτασε την τιμή περίπου των 14bar, και για τη διατήρησή της, έκλεισε η βάνα που συνδεόταν με τη δευτερεύουσα δεξαμενή. Ελάχιστα λεπτά αργότερα ακολούθησε μια νέα εντονότερη εκτόνωση αερίων. Το αποτέλεσμα του συμβάντος αυτού ήταν να τεθεί ξανά εκτός λειτουργίας το μανόμετρο στο καπάκι της κύριας δεξαμενής, αλλά και ο αισθητήρας θερμοκρασίας. Με προσοχή και πάλι εκτονώθηκε η εναπομένουσα πίεση εντός του αντιδραστήρα, χωρίς όμως να αδειάσει. Ο αντιδραστήρας παρέμεινε σε αυτή την κατάσταση για 4 εβδομάδες και λήφθηκαν δείγματα στις 7 και 28 μέρες προκειμένου να διαπιστωθεί τυχόν απελευθέρωση βαρέων μετάλλων λόγω των γεγονότων που συνέβησαν. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στους **Πίνακες 3.5** και **3.6.**

Μετά το πέρας του χρονικού αυτού διαστήματος ο αντιδραστήρας άδειασε και αφαιρέθηκαν τα αντικείμενα, των οποίων η κατάσταση φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

Εικόνα 3.5. Αντικείμενα προς εξέταση μετά την παραμονή τους για 4 εβδομάδες στη δεξαμενή

Εικόνα 3.6. Αντικείμενα προς εξέταση μετά την παραμονή τους για 4 εβδομάδες στη δεξαμενή

3.6. ΑΡΧΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

Στους **Πίνακες 3.4**, **3.5** και **3.6** φαίνονται οι συγκεντρώσεις των κυριότερων βαρέων μετάλλων στο θαλασσινό νερό με το οποίο πληρώθηκε ο αντιδραστήρας προσομοίωσης καθώς και ο έλεγχος μη απελευθέρωσης ιχνοστοιχείων από την ίδια τη δεξαμενή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της Agrolab στη Γερμανία.

Πίνακας 3.4. Αποτελέσματα ανάλυσης θαλασσινού νερού που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση της δεξαμενής προσομοίωσης (Ημερομηνία Λήψης:14/11/2010)

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	<0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	<0.10	0.1

Πίνακας 3.5 Λήψη δείγματος από τη δεξαμενή μετά το πέρας 1 εβδομάδας για τη διαπίστωση μη απελευθέρωσης βαρέων μετάλλων από την ίδια τη δεξαμενή (Ημερομηνία Λήψης: 21/11/2010)

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	<0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	<0.10	0.1

Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα ανάλυσης θαλασσινού νερού που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση της δεξαμενής προσομοίωσης (Ημερομηνία Λήψης: 26/01/2011)

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	<0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	<0.10	0.1

Στους **Πίνακες 3.7** και **3.8** φαίνονται τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων μετά τη θραύση των λαμπτήρων και της οθόνης εξ' αιτίας της αύξησης πίεσης του αντιδραστήρα προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή των 15bar. Οι **Πίνακες 3.9** και **3.10** δείχνουν τα αποτελέσματα, μετά την παραμονή των αντικειμένων στον αντιδραστήρα (χωρίς την εφαρμογή πίεσης), για χρονικό διάστημα 1 και 4 εβδομάδων αντίστοιχα.

Πίνακας 3.7. Λήψη ενδεικτικού δείγματος από τη δεξαμενή μετά την πλήρωση της και τη θραύση πιθανότατα των λαμπτήρων που είχαν τοποθετηθεί μαζί με το υπόλοιπο ηλεκτρονικό εξοπλισμό (Ημερομηνία Λήψης: 27/01/2011)

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	0.26	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	<0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	2.9	0.1

Πίνακας 3.8. Λήψη ενδεικτικού δείγματος από τη δεξαμενή μετά τη θραύση της οθόνης Η/Υ τύπου CRT (Ημερομηνία Λήψης: 28/01/2011)

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	0.0025	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	2.5	0.1

Πίνακας 3.9. Λήψη δείγματος από τη δεξαμενή μετά το πέρας 1 εβδομάδας χωρίς να βρίσκεται υπό πίεση (Λήψη δείγματος 03/02/2011)

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	<0.0050	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	<0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	3.5	0.1

Πίνακας 3.10. Λήψη δείγματος από τη δεξαμενή μετά το πέρας 4 εβδομάδων χωρίς να βρίσκεται υπό πίεση (Ημερομηνία Λήψης: 24/02/2011)

Element Name	Concentration Units	Result	Limit of quantification
Arsenic (As)	mg/l	<0.010	0.01
Lead (Pb)	mg/l	<0.030	0.03
Cadmium (Cd)	mg/l	0.0071	0.005
Chromium (Cr)	mg/l	<0.050	0.05
Iron (Fe)	mg/l	<0.10	0.1
Copper (Cu)	mg/l	<0.050	0.05
Manganese (Mn)	mg/l	<0.05	0.05
Nickel (Ni)	mg/l	<0.050	0.05
Mercury (Hg)	mg/l	0.0003	0.0002
Zinc (Zn)	mg/l	8.1	0.1

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΚΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ-ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τακτές δειγματοληψίες θαλασσινού νερού από τη δεξαμενή προσομοίωσης του ναυαγίου και για διάστημα 18 μηνών φαίνονται στους **Πίνακες 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6** και **4.7.** Οι μετρήσεις έγιναν στα Εργαστήρια του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το σύμβολο «<DL» χαρακτηρίζει τιμές κάτω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου. Δειγματοληψίες έγιναν από 3 ξεχωριστές βάνες, τοποθετημένες σε διαφορετικά ύψη του αντιδραστήρα, με την $1^{η}$ να βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο αυτού, τη $2^{η}$ στη μέση και την $3^{η}$ στο ανώτερο ύψος του για πιθανή εκτίμηση εξάρτησης των συγκεντρώσεων των μετρούμενων στοιχείων από το ύψος μέσα στον αντιδραστήρα και αν όχι για επιβεβαίωση της επαναληψιμότητάς των. Τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των στοιχείων από τις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στους προαναφερθέντες Πίνακες κατά αύξουσα σειρά των δειγματοληπτικών βανών.

Με κόκκινο σημειώνονται οι τιμές συγκεντρώσεων που υπερβαίνουν το όριο ασφαλείας **CMC** του **Πίνακα 2.3**, το οποίο αφορά εκτίμηση της μέγιστης συγκέντρωσης μιας ουσίας στο νερό, στην οποία δύναται να εκτεθεί ένα υδάτινο σύστημα για σύντομο χρονικό διάστημα χωρίς την εκδήλωση «απαράδεκτων» επιδράσεων σε αυτό (οξεία τοξικότητα). Με μπλε σημειώνονται οι τιμές οι οποίες είναι πάνω από το όριο **CCC**, το οποίο αφορά εκτίμηση της μέγιστης συγκέντρωσης μιας ουσίας στο νερό, στην οποία δύναται να εκτεθεί ένα υδάτινο σύστημα επ’ αόριστον χωρίς την εκδήλωση «απαράδεκτων» επιδράσεων σε αυτό (χρόνια τοξικότητα).

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα ανάλυσης θαλασσινού νερού που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση της δεξαμενής προσομοίωσης (Ημερομηνία Λήψης: 22/05/2011)

Element Name	Mass	Tune Step	Concentration Units	Concentration Mean	Concentration RSD
Cr	52	2	ppb	<DL	
Mn	55	2	ppb	<DL	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	60	2	ppb	<DL	
Cu	63	2	ppb	<DL	
Zn	66	1	ppb	214.75	57.95
As	75	2	ppb	<DL	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	202	2	ppb	<DL	
Pb	208	1	ppb	<DL	

Πίνακας 4.2. Λήψη δειγμάτων από τη δεξαμενή μετά το πέρας 2 εβδομάδων (Ημερομηνία Λήψης 05/06/2011)

Element Name	Mass	Tune Step	Concentration Units	Concentration Mean	1^{H} BANA
Cr	52	2	ppb	5.21	
Mn	55	2	ppb	110.53	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**17.58**	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**103.27**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**33071.00**	
As	75	2	ppb	<DL	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**54.40**	
Pb	**208**	**1**	**ppb**	**26.09**	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**2^{H} BANA**
Cr	52	2	ppb	<DL	
Mn	55	2	ppb	108.81	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**61.40**	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**61.96**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**75949.04**	
As	75	2	ppb	<DL	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	202	2	ppb	<DL	
Pb	**208**	**1**	**ppb**	**39.19**	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**3^{H} BANA**
Cr	52	2	ppb	<DL	
Mn	55	2	ppb	124.96	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**26.00**	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**7.68**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**32821.77**	
As	75	2	ppb	<DL	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**1.77**	
Pb	208	1	ppb	4.33	

Πίνακας 4.3. Λήψη δειγμάτων από τη δεξαμενή μετά το πέρας 4 εβδομάδων (Ημερομηνία Λήψης 19/06/2011)

Element Name	Mass	Tune Step	Concentration Units	Concentration Mean	1^{Η} ΒΑΝΑ
Cr	52	2	ppb	0.75	
Mn	55	2	ppb	139.05	
Fe	56	3	ppm	2.56	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**21.19**	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**9.08**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**1364.10**	
As	75	2	ppb	0.38	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**32.78**	
Pb	208	1	ppb	<DL	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**2^{Η} ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.45	
Mn	55	2	ppb	140.67	
Fe	56	3	ppm	2.76	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**22.62**	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**35.22**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**1308.55**	
As	75	2	ppb	0.38	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**9.52**	
Pb	208	1	ppb	<DL	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**3^{Η} ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.24	
Mn	55	2	ppb	161.15	
Fe	56	3	ppm	3.48	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**20.47**	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**39.20**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**971.64**	
As	75	2	ppb	0.28	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**19.90**	
Pb	208	1	ppb	<DL	

Πίνακας 4.4. Λήψη δειγμάτων από τη δεξαμενή μετά το πέρας 8 εβδομάδων (Ημερομηνία Λήψης 19/07/2011)

Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**1^{Η} ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	1.28	
Mn	55	2	ppb	161.89	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	60	2	ppb	3.16	
Cu	63	2	ppb	<DL	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**220.05**	
As	75	2	ppb	0.40	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**4.39**	
Pb	208	1	ppb	<DL	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**2^{Η} ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.89	
Mn	55	2	ppb	166.69	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**8.99**	
Cu	63	2	ppb	2.43	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**250.92**	
As	75	2	ppb	0.40	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**6.27**	
Pb	208	1	ppb	<DL	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**3^{Η} ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.66	
Mn	55	2	ppb	182.13	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	60	2	ppb	4.82	
Cu	63	2	ppb	0.78	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**108.68**	
As	75	2	ppb	0.24	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**15.79**	
Pb	208	1	ppb	<DL	

Πίνακας 4.5. Λήψη δειγμάτων από τη δεξαμενή μετά το πέρας 12 εβδομάδων (Ημερομηνία Λήψης 19/08/2011)

Element Name	Mass	Tune Step	Concentration Units	Concentration Mean	$1^{Η}$ ΒΑΝΑ
Cr	52	2	ppb	0.66	
Mn	55	2	ppb	190.29	
Fe	56	3	ppm	<DL	
Ni	60	2	ppb	6.47	
Cu	63	2	ppb	2.94	
Zn	66	1	ppb	47.30	
As	75	2	ppb	0.24	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**8.32**	
Pb	208	1	ppb	<DL	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**$2^{Η}$ ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.35	
Mn	55	2	ppb	198.85	
Fe	56	3	ppm	1.22	
Ni	60	2	ppb	6.26	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**38.21**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**135.30**	
As	75	2	ppb	0.40	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**28.32**	
Pb	208	1	ppb	<DL	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**$3^{Η}$ ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.42	
Mn	55	2	ppb	197.01	
Fe	56	3	ppm	0.57	
Ni	60	2	ppb	5.03	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**43.11**	
Zn	66	1	ppb	52.89	
As	75	2	ppb	0.24	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**8.78**	
Pb	208	1	ppb	<DL	

Πίνακας 4.6. Λήψη δειγμάτων από τη δεξαμενή μετά το πέρας 36 εβδομάδων (Ημερομηνία Λήψης 26/02/2012)

Element Name	Mass	Tune Step	Concentration Units	Concentration Mean	$1^{Η}$ ΒΑΝΑ
Cr	52	2	ppb	2.17	
Mn	55	2	ppb	228.05	
Fe	56	3	ppm	3.48	
Ni	60	2	ppb	0	
Cu	63	2	ppb	**30.6**	
Zn	66	1	ppb	**198.11**	
As	75	2	ppb	0	
Cd	111	2	ppb	<DL	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**6.32**	
Pb	**208**	**1**	**ppb**	**16.16**	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**$2^{Η}$ ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.93	
Mn	55	2	ppb	303.81	
Fe	56	3	ppm	2.53	
Ni	60	2	ppb	6.54	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**25.72**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**99.65**	
As	75	2	ppb	0	
Cd	111	2	ppb	0	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**4.93**	
Pb	208	1	ppb	0.58	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**$3^{Η}$ ΒΑΝΑ**
Cr	52	2	ppb	0.62	
Mn	55	2	ppb	250.43	
Fe	56	3	ppm	2.75	
Ni	60	2	ppb	2.57	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**9.96**	
Zn	66	1	ppb	67.73	
As	75	2	ppb	0	
Cd	111	2	ppb	0	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**3.11**	
Pb	208	1	ppb	1.1	

Πίνακας 4.7. Λήψη δειγμάτων από τη δεξαμενή μετά το πέρας 72 εβδομάδων (Ημερομηνία Λήψης 25/11/2012)

Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**1^{H} BANA**
Cr	52	2	ppb	2.09	
Mn	55	2	ppb	256.12	
Fe	56	3	ppm	3.12	
Ni	**60**	**2**	**ppb**	**9.21**	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**38.21**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**158.23**	
As	75	2	ppb	0.12	
Cd	111	2	ppb	0	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**4.12**	
Pb	**208**	**1**	**ppb**	**11.02**	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**2^{H} BANA**
Cr	52	2	ppb	1.12	
Mn	55	2	ppb	276.56	
Fe	56	3	ppm	2.89	
Ni	60	2	ppb	6.12	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**29.34**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**123.67**	
As	75	2	ppb	0	
Cd	111	2	ppb	0	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**2.87**	
Pb	208	1	ppb	5.12	
Element Name	**Mass**	**Tune Step**	**Concentration Units**	**Concentration Mean**	**3^{H} BANA**
Cr	52	2	ppb	0.45	
Mn	55	2	ppb	239.87	
Fe	56	3	ppm	2.63	
Ni	60	2	ppb	2.13	
Cu	**63**	**2**	**ppb**	**8.65**	
Zn	**66**	**1**	**ppb**	**89.32**	
As	75	2	ppb	0	
Cd	111	2	ppb	0	
Hg	**202**	**2**	**ppb**	**2.13**	
Pb	208	1	ppb	2.11	

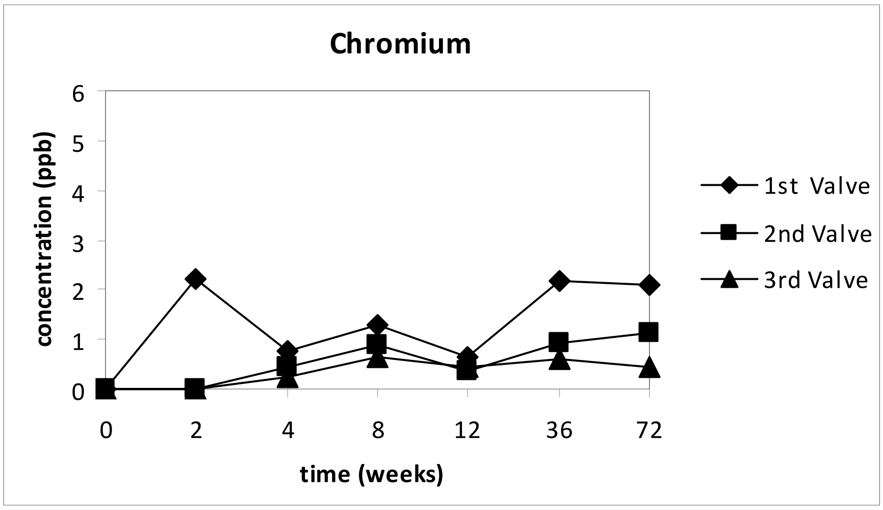
4.1. ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1.1. Γενικές παρατηρήσεις

Στα διαγράμματα που ακολουθούν εξηγείται ο ρόλος του καθενός ιχνοστοιχείου χωριστά και η συμπεριφορά του είτε σα συστατικό του θαλασσινού νερού αλλά και σαν αντιδρών με αυτό. Εν γένει, δεν παρατηρήθηκε κάποια συγκεκριμένη τάση την οποία να ακολούθησαν όλα τα βαρέα μέταλλα, για την περίοδο των 18 αυτών μηνών που έτρεξε το πείραμα προσομοίωσης. Το διάστημα αυτό άλλωστε, χαρακτηρίζεται μάλλον μικρό για σημαντικές αλλαγές και πόσο μάλλον για την προσομοίωση ενός ναυαγίου οι συνέπειες του οποίου είναι αποτέλεσμα πολλών ετών διάβρωσης των εκτιθέμενων υλικών στο θαλασσινό νερό σε παρόμοιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Παρόλ' αυτά, υπήρχαν αρκετά μέταλλα τα οποία έδειξαν γρήγορα τάση για έκλυση από τις πρώτες κιόλας εβδομάδες. Όσον αφορά τον ψευδάργυρο, υπήρχε αρχικά μία σαφώς αξιοσημείωτη έκλυση, τριών τάξεων μεγέθους μεγαλύτερη από τα επιτρεπτά όρια, η οποία όμως στη συνέχεια έδειξε φθίνουσες τάσεις με τελική κατάληξη την επαναφορά των τιμών στα αρχικά - και χαμηλότερα από αυτά- φυσιολογικά επίπεδα. Επίσης, σημαντικές ήταν οι συγκεντρώσεις του υδραργύρου οι οποίες παρέμειναν σε υψηλά επίπεδα, κατ' αναλογία με τα επιτρεπτά όρια, καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Τέλος, ο χαλκός και το νικέλιο ήταν δύο ακόμα από τα ιχνοστοιχεία που εμφανίστηκαν σε σημαντικές συγκεντρώσεις δεδομένης της τοξικότητας που τα χαρακτηρίζει. Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι το διαφορετικό ύψος των βανών από τις οποίες έγιναν οι δειγματοληψίες δε φάνηκε να επηρεάζει τις συγκεντρώσεις των μετάλλων, μιας και τα αποτελέσματα έδειξαν να έχουν αρκετά καλή επαναληψιμότητα. Συνεπώς οποιεσδήποτε μικροδιαφορές στις τιμές των δειγματοληψιών από τις τρεις διαφορετικές βάνες πιθανώς να οφείλονται σε πειραματικά σφάλματα είτε κατά τη μέτρηση είτε κατά τις δειγματοληψίες και δεν συνιστούν οποιοδήποτε συμπέρασμα για το ρόλο που μπορεί να παίζει το διαφορετικό ύψος-βάθος του αντιδραστήρα στις δειγματοληψίες.

4.1.2. Σχολιασμός Διαγραμμάτων συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων

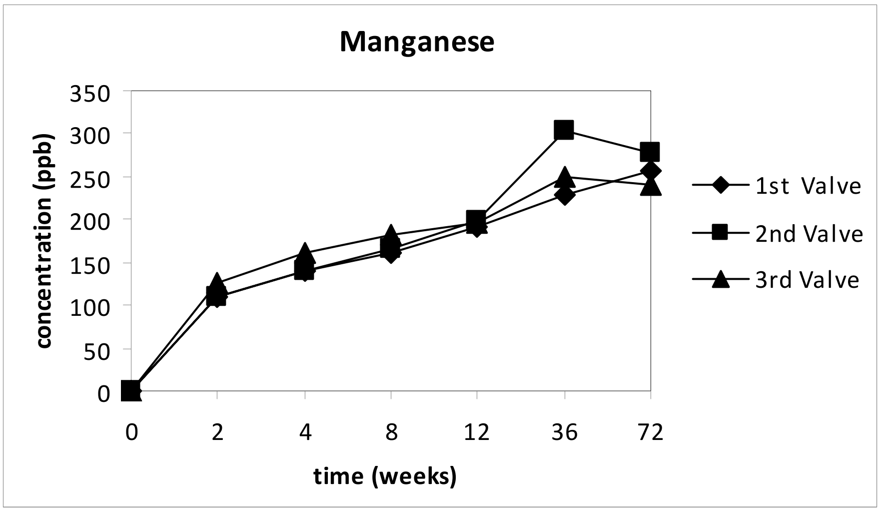
4.1.2.1 Χρώμιο



Διάγραμμα 4.1. Διάγραμμα συγκέντρωσης χρωμίου σε συνάρτηση με το χρόνο

Η τοξικότητα του χρωμίου και των ανόργανων ενώσεών του είναι σημαντική. Οι περισσότερες ενώσεις του είναι πρακτικά αδιάλυτες στο νερό και τα ίχνη τα οποία φαίνονται στο παραπάνω διάγραμμα μπορεί να προέρχονται από ελαφρά μερική διάλυση διαφόρων οξειδίων του, εξ' ου και η διακύμανσή του σε μηδενικά σχεδόν επίπεδα **[56,57]**.

4.1.2.2. Μαγγάνιο



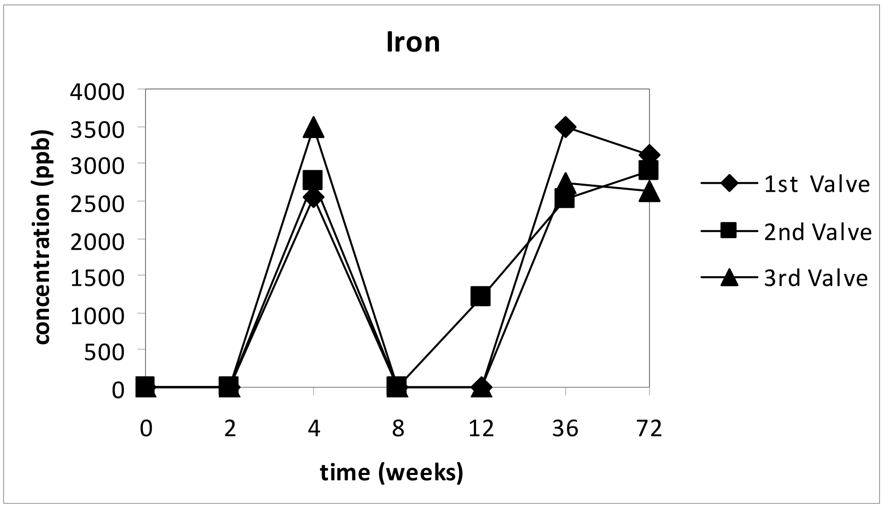
Διάγραμμα 4.2. Διάγραμμα συγκέντρωσης μαγγανίου σε συνάρτηση με το χρόνο

Η τοξικότητα του μαγγανίου και των ανόργανων ενώσεών του είναι σχετικώς μικρή ενώ η σταθερότερη οξειδωτική κατάσταση του Mn σε υδατικά διαλύματα είναι η Mn(II). Στην παρούσα μελέτη οι συγκεντρώσεις μαγγανίου κυμάνθηκαν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Σε ορισμένες δειγματοληψίες οι τιμές των συγκεντρώσεών του μπορεί μεν να υπερέβησαν τις τυπικές συγκεντρώσεις καθαρών επιφανειακών υδάτων (βλ. Πίνακα 3.1) αλλά σε καμία περίπτωση δεν εμπνέουν ανησυχία μιας και το μαγγάνιο δεν θεωρείται στοιχείο υψηλής τοξικότητας και επικινδυνότητας. Η EPA δεν έχει θεσπίσει όρια ασφαλείας και η σειρά τοξικότητας για τα μεταλλικά ιόντα θεωρείται ότι είναι η εξής **[58]**:

$$Mn^{2+} < Fe^{3+} < Sn^{2+} < Cr^{3+} < As^{3+} < Cd^{2+} < Pb^{2+} < Ni^{2+} < Zn^{2+} < Cu^{2+} < Hg^{2+}$$

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω και δεδομένης της μικρής υπέρβασης των ορίων που φαίνονται από τον Πίνακα 3.1 καθώς και της συνεχούς μετακίνησης-αλληλεπίδρασης των ιόντων μέσα στο υδάτινο οικοσύστημα οι συγκεντρώσεις που φαίνονται από το παραπάνω διάγραμμα κρίνονται φυσιολογικές. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η πραγματική τοποθεσία του ναυαγίου (Καλντέρα της Σαντορίνης) είναι γνώριμη των υψηλών συγκεντρώσεων Mn (αλλά και Fe) και επιπλέον χαρακτηρίζεται από έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα και από την παρουσία υδροθερμικών φρεατίων τα οποία εκλύουν συνεχώς ποσότητες από τα εν λόγω μέταλλα **[56,57]**.

4.1.2.3. Σίδηρος



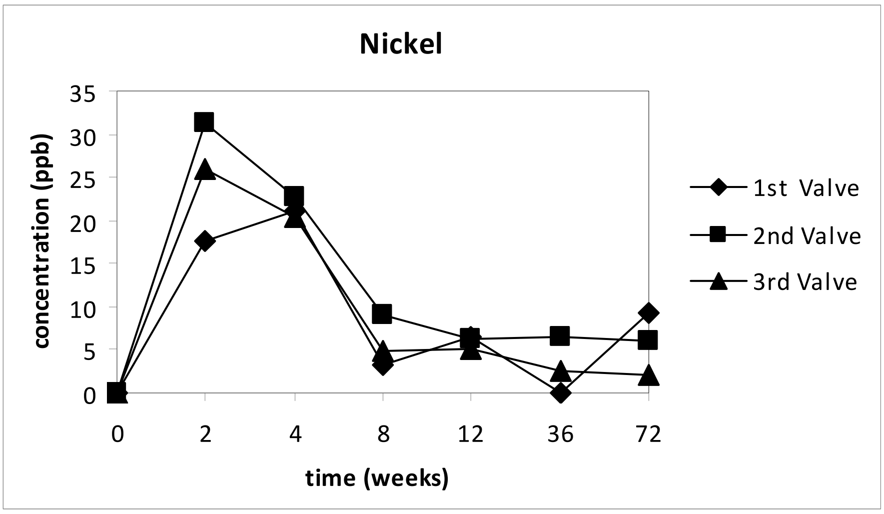
Διάγραμμα 4.3. Διάγραμμα συγκέντρωσης σιδήρου σε συνάρτηση με το χρόνο

Ο σίδηρος παρουσία οξυγόνου και νερού διαβρώνεται. Το ασημένιο του χρώμα αλλάζει σε καστανέρυθρο εξ' αιτίας της δημιουργίας ένυδρων οξειδίων σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

$$4\ Fe + 3\ O_2 + 6\ H_2O \rightarrow 4\ Fe^{3+} + 12\ OH^- \rightarrow 4\ Fe(OH)_3$$

Στη συνέχεια τα ιζήματα του τρισθενούς σιδήρου καθιζάνουν και είναι αδιάλυτα στο νερό. Αυτό εξηγεί την ύπαρξη σιδήρου στα υδατικά δείγματα θαλασσινού νερού από τη δεξαμενή ύστερα από 4 βδομάδες ακολουθούμενη από την μετέπειτα πτώση του και περαιτέρω επαναληπτική εμφάνισή του. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η EPA δεν ορίζει όρια ασφαλείας ούτε για το σίδηρο –όπως και για το μαγγάνιο, που προαναφέραμε-. Επιπλέον ο σίδηρος είναι ένα ακόμα από τα στοιχεία τα οποία υπάρχουν σε υψηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή του ναυαγίου και στην ευρύτερη περιοχή της Καλντέρας όπως φαίνεται και από τη βιβλιογραφία του **Πίνακα 2.4** της παρούσης μελέτης **[56,57].**

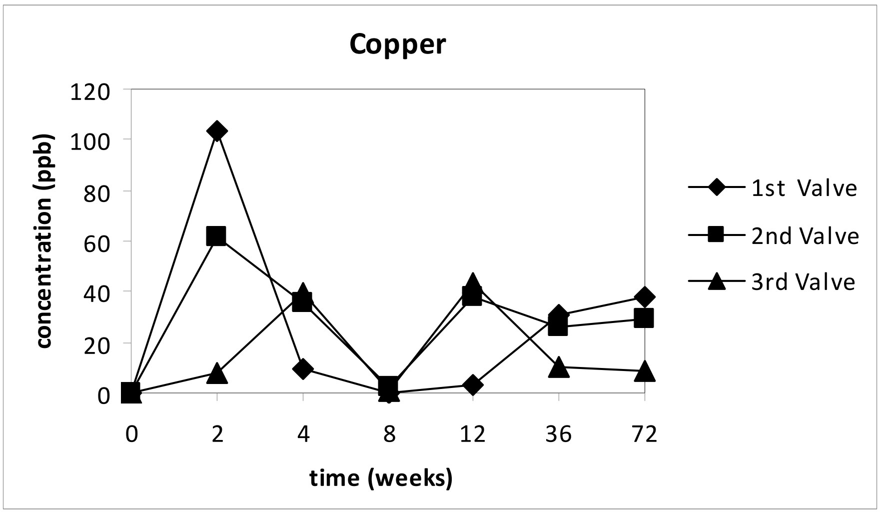
4.1.2.4 Νικέλιο



Διάγραμμα 4.4. Διάγραμμα συγκέντρωσης νικελίου σε συνάρτηση με το χρόνο

Η τοξικότητα του νικελίου και των ανόργανων ενώσεών του είναι σημαντική. Μερικές από τις ενώσεις του θεωρούνται καρκινογόνες και τερατογόνες. Μεγάλες ποσότητες νικελίου χρησιμοποιούνται επίσης για επινικελώσεις σιδηρών σκευών, στην κατασκευή μπαταριών (μπαταρίες Ni-Cd) και ως καταλύτες υδρογονώσεων. Η μόνη σταθερή οξειδωτική κατάσταση του Ni σε υδατικά διαλύματα είναι η Ni(II). Τα διαλύματα των αλάτων του Ni^{2+} είναι εν γένει σταθερά αλλά υφίσταται η έστω και περιορισμένη υδρόλυσή τους. Το νικέλιο γενικά δε διαβρώνεται εύκολα από το θαλασσινό νερό, άρα το όποιο νικέλιο προέκυψε είναι από ελάχιστη υδρόλυση αλάτων του που μπορεί να προϋπήρχαν ή να σχηματίστηκαν κατά την επαφή του θαλασσινού νερού με τον εξοπλισμό που τοποθετήθηκε μέσα στη δεξαμενή, γεγονός που εξηγεί και την πτωτική τάση που εμφανίζει στο παραπάνω **Διάγραμμα 4.4**, με τιμές να κυμαίνονται σε όρια κοντά στην περιοχή που ορίζει το κριτήριο συνεχούς συγκέντρωσης (CCC) **[56,57]**.

4.1.2.5 Χαλκός



Διάγραμμα 4.5. Διάγραμμα συγκέντρωσης χαλκού σε συνάρτηση με το χρόνο

Η σταθερή οξειδωτική κατάσταση του Cu σε υδατικά διαλύματα είναι η Cu(II) που χαρακτηρίζεται από το κυανό έως κυανοπράσινο χρώμα των διαλυμάτων των διαφόρων αλάτων του. Ο Cu διαλυτοποιείται παρουσία O_2 σύμφωνα με την αντίδραση:

$$4Cu + 4H^{+} + O_2 \rightarrow 2Cu^{2+} + 2H_2O$$

Μια άλλη χαρακτηριστική αντίδραση του χαλκού είναι αυτή με τον σίδηρο κατά την οποία ο Fe (ως περισσότερο ηλεκτροθετικός) ανάγει τον Cu^{2+} προς μεταλλικό Cu. Ο παραγόμενος Cu αποτίθεται στην επιφάνεια του σιδήρου και τούτο γίνεται αντιληπτό από το ερυθρό χρώμα του που καλύπτει την επιφάνεια του Fe.

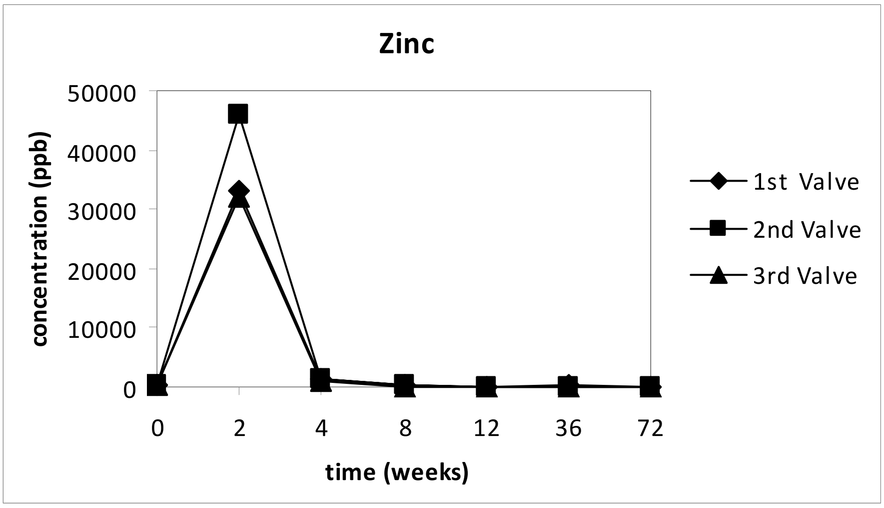
$$Cu^{2+} + Fe \rightleftharpoons Cu + Fe^{2+}$$

Αντίδραση που επίσης μπορεί να λάβει χώρα στον αντιδραστήρα είναι η εξής:

$$2Cu^{2+} + 4I^{-} \rightleftharpoons 2CuI + I_2$$

όπου με I^- ο Cu(II) ανάγεται προς Cu(I), ο οποίος καθιζάνει ως λευκό ίζημα CuI. Η αυξομείωση, συνεπώς, που παρατηρείται στη συγκέντρωση του χαλκού από το **Διάγραμμα 4.5**, μπορεί να εξηγηθεί ένεκα όλων αυτών των αντιδράσεων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενώσεις του χαλκού είναι τοξικές **[56,57].**

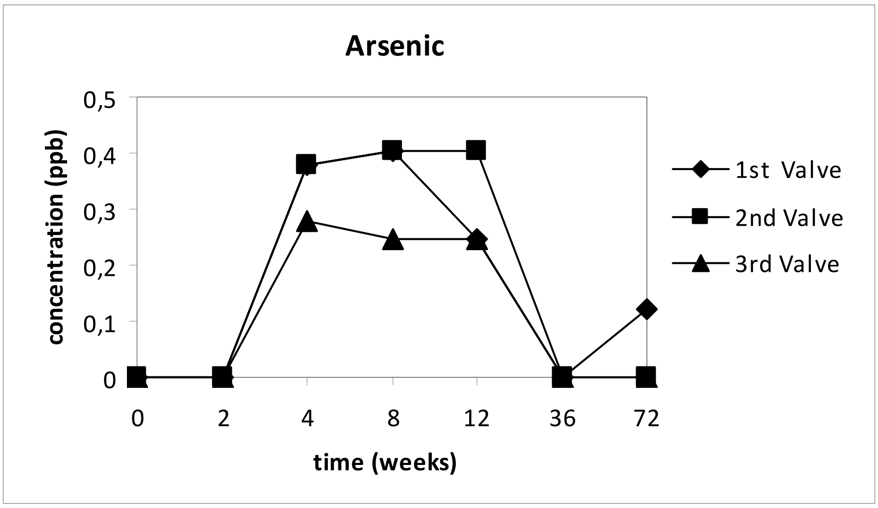
4.1.2.6 Ψευδάργυρος



Διάγραμμα 4.6. Διάγραμμα συγκέντρωσης ψευδαργύρου σε συνάρτηση με το χρόνο

Η μόνη σταθερή οξειδωτική κατάσταση του ψευδαργύρου είναι η Zn(II). Εντύπωση προκαλεί η αυξημένη έκλυση ψευδαργύρου (τρεις τάξεις μεγέθους πάνω από τα φυσιολογικά επίπεδα) από τις πρώτες κιόλας μέρες, σε συνδυασμό με την μετέπειτα πτώση του στα αρχικά φυσιολογικά επίπεδα. Εκτιμούμε ότι η συμπεριφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στη διάλυση όλου του υπάρχοντος μετάλλου από τις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων στη δεξαμενή ακολουθούμενη από καθίζηση με τη μορφή αλάτων. Αυτό εξηγεί πλήρως την συμπεριφορά που εμφανίζει το εν λόγω στοιχείο καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος προσομοίωσης **[56,57]**.

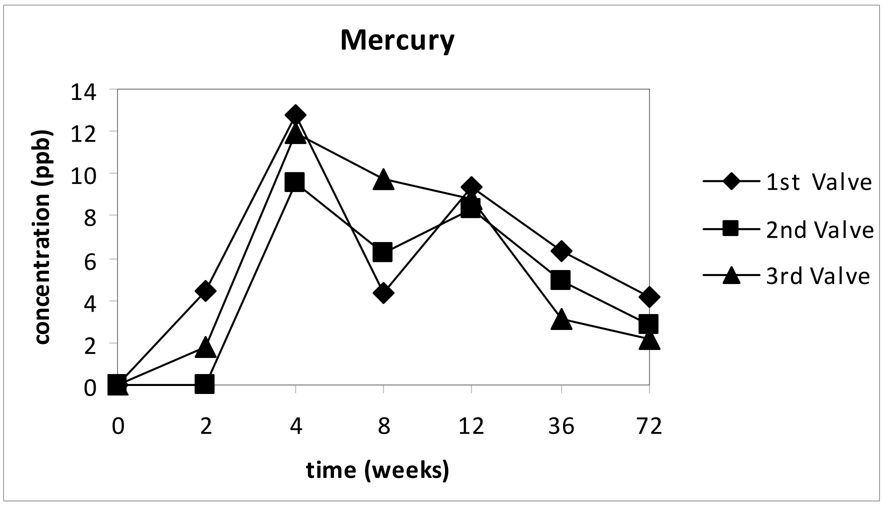
4.1.2.7. Αρσενικό



Διάγραμμα 4.7. Διάγραμμα συγκέντρωσης αρσενικού σε συνάρτηση με το χρόνο

Οι τιμές συγκεντρώσεων του αρσενικού είναι σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, όπως φαίνεται από το **Διάγραμμα 4.7**, και δεν δημιουργούν καμία ανησυχία για ρύπανση από το εν λόγω ιχνοστοιχείο **[56,57].**

4.1.2.8. Υδράργυρος



Διάγραμμα 4.8. Διάγραμμα συγκέντρωσης υδραργύρου σε συνάρτηση με το χρόνο

Οι διαλυτές ενώσεις του υδραργύρου είναι εξαιρετικά τοξικές. Οι εκλυόμενες συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν μετά το πέρας 3 μηνών πειραμάτων – δειγματοληψιών δημιουργούν σαφώς ανησυχία για την εξέλιξη της ρύπανσης στην περιοχή του ναυαγίου, όπως δείχνουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται συνοπτικά στο **Διάγραμμα 4.8** κατ' αναλογία με τους **Πίνακες 2.2** και **2.3** επιτρεπτών συγκεντρώσεων για το εν λόγω στοιχείο στη θαλάσσια στήλη.

Η συμπεριφορά των τιμών μπορεί να ερμηνευθεί από τις παρακάτω αντιδράσεις:

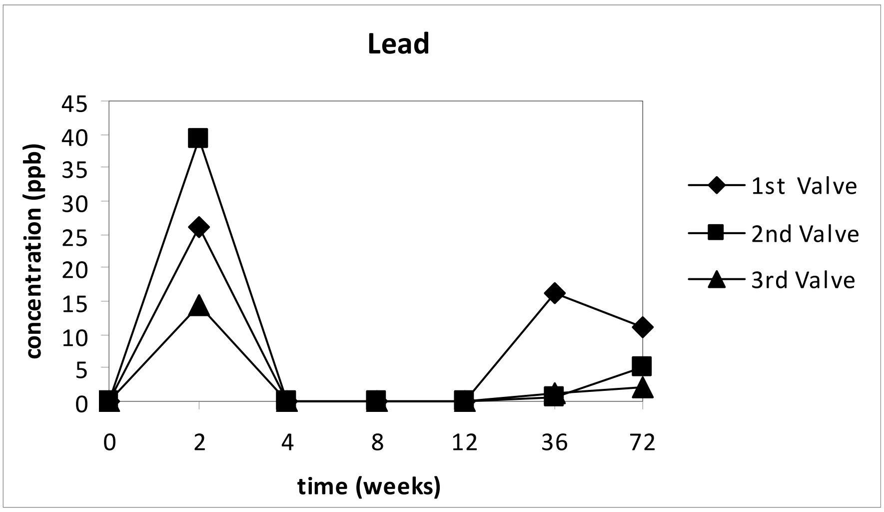
$$Hg_2^{2+} + 2I^- \rightleftharpoons Hg_2I_2$$

Με I^- σχηματίζεται πρασινοκίτρινο ίζημα Hg_2I_2, που με περίσσεια I^- διασπάται παρέχοντας ιωδιούχα σύμπλοκα του Hg(II) και μεταλλικό Hg σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

$$Hg_2I_2 + 2I^- \rightleftharpoons [HgI_4]^{2-} + Hg$$

Οι αντιδράσεις αυτές υποδηλώνουν και μία κυκλική τάση για συνεχή έκλυση υδραργύρου. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η λήψη κατάλληλων μέτρων για την απορρύπανση της περιοχής από τον εν λόγω ρύπο **[56,57].**

4.1.2.9 Μόλυβδος



Διάγραμμα 4.9. Διάγραμμα συγκέντρωσης μολύβδου σε συνάρτηση με το χρόνο

Οι ενώσεις του μολύβδου είναι τοξικές και έχουν τάση συσσώρευσης στον οργανισμό.

Η μόνη σταθερή οξειδωτική κατάσταση του Pb σε υδατικά διαλύματα είναι η Pb(II). Εν γένει ο μόλυβδος δεν διαλύεται στο νερό, ενώ με ιόντα I^- σχηματίζεται κίτρινο ίζημα PbI_2, επίσης διαλυτό σε θερμό ύδωρ από το οποίο επανακαθιζάνει κατά τη βραδεία ψύξη με τη μορφή χρυσόχρωμων κρυστάλλων σύμφωνα με την αντίδραση:

$$Pb^{2+} + 2I^- \rightleftharpoons PbI_2$$

Εν γένει, σχηματίζει δυσδιάλυτα άλατα. Ταυτόχρονη παρουσία νερού και οξυγόνου οδηγεί τον μόλυβδο σε σχηματισμό υδροξειδίου του μολύβδου σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2Pb(s) + O_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow 2\,Pb(OH)_2(s)$$

γεγονός που εξηγεί και τη συμπεριφορά του **Διαγράμματος 4.9 [56,57].**

4.1.2.10 Κάδμιο

Οι συγκεντρώσεις καδμίου που μετρήθηκαν στα δείγματα θαλασσινού νερού που ελήφθησαν καθ' όλη τη διάρκεια των 18 μηνών ήταν όλες κάτω από το όριο ανίχνευσης του οργάνου και συνεπώς δεν εμπνέουν ανησυχία. Εντύπωση, πάρα ταύτα, προκαλεί το γεγονός ότι ενώ η παρουσία του καδμίου είναι έντονη σε πολλά από τα αντικείμενα που εισήχθησαν στη δεξαμενή, δεν υπήρχαν αντίστοιχα υψηλές συγκεντρώσεις στα διαλύματα θαλασσινού ύδατος που εξετάστηκαν, (ούτε καν ίχνη). Πιθανολογούμε ότι η διάλυση-διάβρωση των ενώσεων-συστατικών που περιέχουν κάδμιο γίνεται με αρκετά αργούς ρυθμούς γεγονός το οποίο ενισχύεται από το ότι τα ιόντα Cd^{2+} διαχωρίζονται σχετικώς δύσκολα από τα ιόντα Cu^{2+} και δεν υδρολύονται εύκολα. Οπωσδήποτε, δεδομένης της τοξικότητας του στοιχείου, οι μελλοντικές δειγματοληψίες για πιθανή ανίχνευσή του, ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, επιβάλλονται **[56,57]**.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσομοίωση του ναυαγίου του "Sea Diamond" πραγματοποιήθηκε προκειμένου να πιστοποιηθεί και να εκτιμηθεί το είδος και ο ρυθμός αποδέσμευσης των βαρέων μετάλλων από την έκθεση μέρους ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε θαλασσινό νερό, κάτω από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας του ναυαγίου (14 bars, 16 °C). Η κατασκευή του αντιδραστήρα για τον σκοπό αυτό ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβρη του 2010. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια σειρά δοκιμαστικών δειγματοληψιών για την επιβεβαίωση καλής λειτουργίας, οι οποίες έλαβαν χώρα από το Νοέμβριο του 2010 ως το Μάρτιο του 2011, και τέλος ολοκληρώθηκε με τις κύριες σειρές δειγματοληψιών, από το Μάιο του 2011 ως και το Νοέμβριο του 2012. Εν γένει, δεν παρατηρήθηκε κάποια συγκεκριμένη τάση την οποία να ακολούθησαν όλα τα βαρέα μέταλλα που εξετάστηκαν, για την περίοδο των 18 μηνών που πραγματοποιήθηκαν και ολοκληρώθηκαν οι σειρές δειγματοληψιών εκτίμησης αποδέσμευσης των.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά εκλύθηκε ψευδάργυρος, σε ποσότητες πολύ μεγαλύτερες από τα επιτρεπτά όρια για το θαλασσινό νερό, οι οποίες όμως στη συνέχεια έδειξαν γρήγορα πτωτικές τάσεις με επαναφορά σε κανονικές τιμές, υποδηλώνοντας, πιθανώς, κατακρήμνιση του συγκεκριμένου μετάλλου με τη μορφή αλάτων εντός του αντιδραστήρα.

Επίσης, σημαντικές ήταν οι συγκεντρώσεις του υδραργύρου οι οποίες παρέμειναν σε υψηλά επίπεδα, κατ' αναλογία με τα επιτρεπτά όρια και την τοξικότητα του μετάλλου, καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Τέλος, ο χαλκός και το νικέλιο ήταν δύο ακόμα από τα ιχνοστοιχεία που εμφανίστηκαν σε αξιοσημείωτες αλλά όχι πάντοτε ανησυχητικές συγκεντρώσεις, αναφορικά με τα επιτρεπτά όρια, δεδομένης της τοξικότητας που τα χαρακτηρίζει.

Όσον αφορά την επίδραση του ύψους δειγματοληψίας από τον αντιδραστήρα, φάνηκε να μην παίζει κάποιον ιδιαίτερο ρόλο, μιας και τα αποτελέσματα παρουσίασαν αρκετά καλή επαναληψιμότητα, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα του Κεφαλαίου 4. Οποιεσδήποτε μικροδιαφορές στις τιμές των συγκεντρώσεων των δειγμάτων από τις διαφορετικές βάνες, πιθανώς να οφείλονται σε πειραματικό σφάλμα και σε καμία περίπτωση δεν συνιστούν οποιοδήποτε συμπέρασμα.

Γενικά, η προσομοίωση επιβεβαιώνει την έκλυση βαρέων μετάλλων κάτω από τις συνθήκες παραμονής του ναυαγίου και επισημαίνει τον κίνδυνο είτε για ρύπανση της θαλάσσιας στήλης είτε για ρύπανση των θαλάσσιων ιζημάτων. Φυσικά, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στο πραγματικό περιβάλλον του ναυαγίου ενδέχεται να είναι εντελώς διαφορετικές από τις μετρούμενες στον αντιδραστήρα αφενός λόγω της κλίμακας και αναλογίας μεγέθους και αφετέρου λόγω της συνεχούς ανανέωσης του νερού η οποία λαμβάνει χώρα σε πραγματικές συνθήκες. Στον αντιδραστήρα προσομοίωσης έλαβε χώρα μόνο προσθήκη θαλασσινού νερού κατά τις περιόδους των δειγματοληψιών και σε ποσότητες ίσες με αυτές που χάνονταν κατά τις εκάστοτε δειγματοληψίες και που απαιτούνταν προκειμένου να επιτευχθεί κάθε φορά η επιθυμητή πίεση των 14 bars.

Πάρα ταύτα, το πείραμα προσομοίωσης ενισχύει το ήδη αποδεδειγμένο από τη μελέτη του Πολυτεχνείου συμπέρασμα, ότι η ύπαρξη και παραμονή ενός ναυαγίου του μεγέθους του “Sea Diamond” σε μια κλειστή θάλασσα όπως αυτή της Καλντέρας της Σαντορίνης αποτελεί μια συνεχή και εν δυνάμει πηγή ρύπανσης τόσο για τη θαλάσσια στήλη όσο και για τα βενθικά ιζήματα της περιοχής.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Νομικός Γιώργος, (Νοέμβριος 2009) Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
2. http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher3_3_2.html
3. Ansari T.M., Marr I.L. and Tariq N. (2004), “Heavy metals in marine pollution perspective-a mini review”, Journal of Applied Sciences (4), 1-20.
4. USA Environmental Protection Agency, National Recommended Water Quality Criteria, Office of Water, Office og Science and Technology, 1992&2009.
5. Phull B., (2010) Marine Corrosion, Shreir's Corrosion, Chapter 2.18, Pages 1107-1148
6. Clark R.B. (2002) Marine Pollution, Fifth Edition, Oxford University Press, New York.
7. Taylor Brian, “Bioaccumulation and biomagnification”, Bio Factsheet, number 14, January 1998.
8. Οδηγία 2002/96/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Ιανουαρίου 2003 σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), (13.02.2003), Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 37/24-L 37/38
9. Προεδρικό διάταγμα 117 (05/03/2004) Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Α, Αρ. Φύλλου 82, σελ. 4297-4312
10. Προεδρικό διάταγμα 115 (05/03/2004) Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Α, Αρ. Φύλλου 80, σελ. 4269-4280
11. Γεωργία Λινάρδου (11/05/2008) Βυθισμένη «τοξική» βόμβα, εφημερίδα Ελευθεροτυπία
12. Ι.ΘΑ.Π.Ε.Α. Αρχιπέλαγος (Φεβρουάριος 2008) Απάντηση στην επιστολή υπ’αρ. Πρωτ.: 2427.2/16/07 σχετικά με το ναυάγιο του Sea Diamond
13. Cruise Ship “Sea Diamond”, Green Passport (March 2008) Environmental Engineering S.A
14. Matlock MM, Howerton BS, Atwood DA (2002) Industrial Engineering Chem. Res. 41:1579-1582
15. Primer on Lead Acid Storage Batteries (September 1995) U.S. Department of Energy, Washington D.C
16. Winter M, Brodd RJ (2004) Chemical Reviews 104:4245-4269
17. Απόφαση 2001/118/ΕΚ της Επιτροπής της 16ης Ιανουαρίου 2001 για τροποποίηση της απόφασης 2000/532/ΕΚ όσον αφορά τον κατάλογο αποβλήτων (16.02.2001), Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L 47/1-L 47/31
18. Lymberidi E (March 2001) Towards Waste-Free Electrical and Electronic Equipment, European Environmental Bureau (EEB)
19. European Environment Agency (January 2003) Waste from electrical an Electronic Equipment, Quantities, Dangerous Substances and Treatment Methods, EEA, Copenhagen

20. Dimitrakakis E., Gidarakos E., (2006) "Closed-Loop CRT Recycling Alternatives", Protection & Restoration of the Environment VIII, 3-7 July, Chania, Greece
21. Kang HY, Schoenung JM (2005) Resources Conservation & Recycling 45:368-400
22. Lee CH, Chang CT, Fan KS, Chang TC (2004) Journal of Hazardous Materials B 114:93-100
23. Lee CH, Hsi CS (2002) Environmental Science & Technology 36:69-75
24. AEA Technology (2004) WEEE & Hazardous Waste, A report produced for DEFRA
25. Karagiannidis A, Perkoulidis G, Papadopoulos A, Moussiopoulos N, Tsatsarelis T (2005) Waste Management & Research 23:381-388
26. Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Empa (2005) The e-Waste Guide, www.ewaste.ch/facts_and_figures/
27. United Nations Environment Programme, E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use, www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_ewaste.pdf
28. United Nations Environment Programme, Global Resource Information Database, The Great E-Waste Recycling Debate, www.grid.unep.ch/waste/html_file/36-37_ewaste.html
29. Widmer R, Oswald-Krampf H, Sinha-Khetrival D, Schnellmann M, Böni H (2005) Environmental Impact Assessment Review 25:436-458
30. Darby L, Obara L (2005) Resources Conservation & Recycling 44 :17-35
31. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (2009) «Μελέτη των επιπτώσεων της ρύπανσης που προκλήθηκε από το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond στον όρμο Αθηνιός της νήσου Θήρας, Τελική έκθεση 2ου έτους (Περίοδος μετρήσεων Μάιος-Νοέμβριος 2008), Ανάβυσσος
32. ARGUS – Statistik u. Informationssysteme in Umwelt u. Gesundheit (2004) Kostenanalyse für ein Monitoring von NiCd-Batterien in festen Siedlungsabfällen, Umweltbundesamt, Berlin
33. Rotter S (2002) Schwermetalle in Haushaltsabfällen, Potenzial, Verteilung u. Steuerungsmöglichkeiten durch Aufbereitung, Dissertation, 1. Auflage, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft u. Altlasten, Technische Universität Dresden, Deutschland
34. Dimitrakakis E, Janz A, Bilitewski B, Gidarakos E (2009) Journal of Hazardous Materials 161:913-919
35. Srocka M (Februar 2005) Materialzusammensetzung u. Verwertungspotentiale von mülltonnengängigen Elektro- u. Elektronikaltgeräten, Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, Deutschland
36. Dimitrakakis E, Janz A, Bilitewski B, Gidarakos E (2009) Waste Management 29:2700-2706
37. Fink H, Panne U, Theisen M, Niessner R, Probst T, Lin X (2000) Fresenius' Journal of Analytical Chemistry 368:235-239
38. Freegard K, Morton R, Lund I, Huisman J, Studds P, Freer E (August 2005) Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers, Interim Report 2, The Waste & Resources

39. Rotter S, Janz A, Bilitewski B (August 2006) Müll & Abfall pp. 424-442
40. Seddigh F, Büll W, Rödiger T (April 1996) Stand der Entsorgung von elektrischen u. Elektronischen Kleingeräten in der Bundesrepublik Deutschland, Umweltbundesamt, Berlin
41. Papameletiou D (June 2000) Towards a European Solution for the Management of Waste from Electrical and Electronic Equipment, Institute for Prospective Technological Studies, Seville
42. Sodhi MS, Reimer B (2001) OR Spectrum 23:97-115
43. Bernardes AM, Espinosa DCR, Tenorio JAS (2004) Journal of Power Sources 130:291-298
44. Silicon Valley Toxics Coalition (2005) Just Say No to E-Waste: Background Document on Hazards and Waste From Computers, www.svtc.org/cleancc/pubs/sayno.htm
45. Association of Plastics Manufacturers in Europe & Verband Kunststofferzeugende Industrie (November 1997) Feedstock recycling of electrical & electronic plastics waste (depolymerisation & conversion into syncrude), Technical Paper, APME, VKE
46. Schlummer M, Gruber M, Maurer A, Wolz G, Van Eldik R (2007) Chemosphere 67:1866-1876
47. Vehlow J, Mark F (February 1997) Electrical & electronic plastics waste co-combustion with Municipal Solid Waste for energy recovery, Technical Paper, Association of Plastics Manufacturers in Europe
48. Fink H, Panne U, Niessner R (2001) Analytica Chimica Acta 440:17-25
49. Herrera M, Matuschek G, Kettrup A (2003) Journal of Analytical & Applied Pyrolysis 70:35-42
50. Pöhlein M, Llopis AS, Wolf M, van Eldik R (2005) Journal of Chromatography A 1066:111-117
51. Schlummer M, Brandl F, Mäurer A, van Eldik R (2005) Journal of Chromatography A 1064:39-51
52. Musson SE, Jang YC, Townsend TG, Chung IH (2000) Environmental Science & Technology 34:4376-4381
53. Townsend TG, Vann K, Mutha S, Pearson B, Jang YC, Musson S, Jordan A (July 2004) RCRA Toxicity Characterization of Computer CPUs and Other Discarded Electronic Devices, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida
54. Κοινή Υπουργική Απόφαση ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 38295 (26/04/2007) Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Β, Αρ. Φύλλου 630, σελ. 11561-11579
55. RIS International Ltd. (2007) Canadian Consumer Battery Baseline Study, Final Report, Environment Canada
56. http://www.chem.uoa.gr/quali/quali_C01_Hg.htm
57. http://www.lenntech.com/periodic/water/overview.htm,
58. Φυτιάνος Κ. (1996) Η ρύπανση των θαλασσών, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη
59. Fowler S. (1990) "Critical Review of selected heavy metal and chlorinated hydrocarbon concentrations in the marine environment" Marine Environmental Research (29), 1-64.

60. Fytianos K. and Vasilakiotis G.S. (1983), "Concentration of heavy metals in seawater and sediments from the Northern Aegean Sea, Greece", Chemosphere (12), 83-91.
61. OSPAR, "Quality Status Report 2000", http://www.ospar.org.
62. Fanny Voutsinou-Taliadouri, Sotirios P. Varnavas, Chryssanthi Nakopoulou, Amalia Moriki (1997), "Dissolved trace elements in south Aegean Seawater" Marine Pollution Bulletin, Volume 34, Issue 10, 840-843
63. Neff J. M. (2002) Bioaccummulation in marine organisms: Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water, Elsevier
64. Dassenakis M.I., Kloukiniotou M.A., Pavlidou A.S. (1996) The influence of long existing pollution on trace metal levels in a small tidal Mediterranean bay, Marine Pollution Bulletin, (32), 275-282.
65. Ladakis M., Dassenakis M., Scoullos M., Belias C. (2007) "The chemical behaviour of trace metals in a small, enclosed and shallow bay on the coast of Attica, Greece" Desalination (213) 29-37
66. Scoullos M., Sakellari A., Giannopoulou K., Paraskevopoulou V., Dassenakis M. (2007)"Dissolved and particulate trace metals in the Saronikos gulf, Greece in 2004. The influence of the primary wastewater treatment plant of Psittalia" Desalination (210) 98-109
67. Christophoridis C., Dedepsidis D., Fytianos K. (2009) "Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators" Journal of Hazardous Materials (168) 1082-1091
68. Smith P.A. and Cronan, D.S. (1983), "The geochemistry of metalliferous sediments and waters associated with shallow submarine hydrothermal activity, Santorini, Aegean Sea", Chem. Geol. (39), 241–262.
69. Varnavas S.P., Cronan D.S. (2005), "Submarine hydrothermal activity of Santorini and Milos in the Central Hellenic Volcanic Arc: A synthesis" Chemical Geology (224) 40–54.
70. United Nations Environment Programme, Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by Zinc, Copper and their compounds, Mediterranean Action Plan, Technical Report Series No.105, Athens, 1996.
71. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (2008) «Μελέτη των επιπτώσεων της ρύπανσης που προκλήθηκε από το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond στον όρμο Αθηνιός της νήσου Θήρας, Τελική έκθεση 1ου έτους (Περίοδος μετρήσεων Μάιος-Σεπτέμβριος-Νοέμβριος 2007)», Ανάβυσσος
72. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (2010α) «Μελέτη των επιπτώσεων της ρύπανσης που προκλήθηκε από το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond στον όρμο Αθηνιός της νήσου Θήρας, Αποτελέσματα μετρήσεων Οκτωβρίου 2009», Ανάβυσσος
73. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (2010β) «Μελέτη των επιπτώσεων της ρύπανσης που προκλήθηκε από το ατύχημα του κρουαζιερόπλοιου Sea Diamond στον όρμο Αθηνιός της νήσου Θήρας, Αποτελέσματα μετρήσεων Ιανουαρίου 2010», Ανάβυσσος

74. Πολυτεχνείο Κρήτης (2010Α) «Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικινδύνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond, 1ο παραδοτέο της μελέτης του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικινδύνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (παρούσες και μελλοντικές)», Χανιά

75. Πολυτεχνείο Κρήτης (2011Ε) «Αξιολόγηση της επιβάρυνσης των ιστών ψαριών από την περιοχή της Καλντέρας με βαρέα μέταλλα, 4ο παραδοτέο της μελέτης του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων, Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικινδύνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (παρούσες και μελλοντικές)», Χανιά

76. Πολυτεχνείο Κρήτης (2011ΣΤ) «Εκτιμώμενη αποδέσμευση μετάλλων από το MS *Sea Diamond* στην περιοχή της Καλντέρας – Μελλοντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, 5ο παραδοτέο της μελέτης του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων, Ποιοτικός και ποσοτικός χαρακτηρισμός επικινδύνων και τοξικών ουσιών από το ναυάγιο του Sea Diamond-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (παρούσες και μελλοντικές)», Χανιά