

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Π.Μ.Σ.:ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
«Συγκριτική μελέτη τεχνικών εκχύλισης για τον
χαρακτηρισμό δειγμάτων στερεών αποβλήτων»

Κουμπούρης Κων. Εμμανουήλ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Αν. Καθηγητής (Επιβλέπων)
ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Επ. Καθηγητής
ΜΑΝΤΖΑΒΙΝΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Αν. Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2007

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την εργασία μου για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης, θεωρώ πρέπει να ευχαριστήσω μία σειρά από ανθρώπους, χωρίς την βοήθεια, την συμπαράσταση και τη συνεργασία των οποίων, δεν θα ήταν εφικτό να έφτανα σε αυτό το σημείο.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Γιδάρακο Ευάγγελο, ο οποίος με συμβούλεψε και με καθοδηγούσε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου, τόσο κατά το πειραματικό όσο και κατά το θεωρητικό μέρος αυτής.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Γιαννή Απόστολο, με τον οποίο συνεργάστηκα για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών πειραμάτων που έγιναν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και έπειτα, κατά τη συγγραφή της, αλλά και στην χημικό, μέλος του Ειδικού και Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού του εργαστηρίου Ανόργανης και Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Πεντάρη Δέσποινα για την βοήθεια και τις διευκολύνσεις που παρείχε κατά το πειραματικό μέρος της εργασίας.

Τέλος, ένα ακόμα ευχαριστώ στον συμφοιτητή μου κ. Μουχταρόπουλο Πάτροκλο, στην υποψήφια Διδάκτορα κ. Αναστασιάδου Καλλιόπη και στον προπτυχιακό φοιτητή κ. Νικολάου Άρη οι οποίοι με βοήθησαν και με στήριξαν όποτε αυτό τους ζητήθηκε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανεξέλεγκτη διάθεση/απόρριψη διαφόρων ειδών στερεών αποβλήτων στο περιβάλλον, προκαλεί ρύπανση που λαμβάνει, σήμερα, παγκόσμιες διαστάσεις, εμφανιζόμενη στα εδάφη, στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα και στον ατμοσφαιρικό αέρα, θέτοντας σε άμεσο κίνδυνο το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί ο βαθμός και η πιθανότητα ρύπανσης, από την απόρριψη στερεών αποβλήτων, σε εδάφη και ύδατα. Το τελευταίο πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή τριών τεχνικών εκχύλισης σε μία σειρά δειγμάτων στερεών αποβλήτων, διαφορετικών ειδών.

Σκοπός αυτής της εφαρμογής ήταν η μέτρηση των συγκεντρώσεων διαφόρων ανόργανων ρύπων και βαρέων μετάλλων, στα εκχυλίσματα των δειγμάτων, ούτως ώστε να μελετηθεί η επικινδυνότητα και το δυναμικό ρύπανσης που εμφανίζουν αυτά τα απόβλητα και να γίνει μία σύγκριση μεταξύ των εφαρμοζόμενων τεχνικών εκχύλισης.

ABSTRACT

The uncontrollable disposal of different kinds of solid waste in the environment, causes pollution that is occurred, nowadays, in all over the world. This pollution reaches soils, surfacewater and groundwater and the atmosphere, placing the environment and the public health in direct danger.

Considering all the above, stands to reason, the rate and the possibility of pollution from the disposal of solid waste in soils and waters, to be studied. The last was done by applying three different leaching methods in a series of different kinds of samples of solid waste.

The aim of this application was to measure the concentrations of different kinds of inorganic pollutants and heavy metals, in the extracts of the samples, so as to study the venturousness and the possibility of pollution that these kinds of solid waste produce, and to compare with each other the three applicable leaching methods.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	4
2.1 Εισαγωγή	4
2.2 Υπολειμματική τέφρα (bottom ash)	4
2.2.1 Εισαγωγή	4
2.2.2 Ρύπανση προερχόμενη από την υπολειμματική τέφρα	5
2.3 Στερεά απόβλητα σε ΧΑΔΑ	6
2.3.1 Εισαγωγή – ορισμοί ΧΥΤΑ και ΧΑΔΑ	6
2.3.2 Ρύπανση από απορρίμματα σε ΧΑΔΑ	7
2.4 Compost προερχόμενο από Αστικά Στερεά Απορρίμματα (ΑΣΑ)	8
2.4.1 Εισαγωγή	8
2.4.2 Ωριμο compost	9
2.5 Ρύποι στερεών αποβλήτων – Προκαλούμενη ρύπανση	10
2.5.1 Ανόργανοι ρύποι	10
2.5.1.1 Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)	10
2.5.1.2 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)	11
2.5.1.3 Ολικό άζωτο (TN)	11
2.5.1.4 Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})	11
2.5.1.5 Χλωριούχα ιόντα (Cl^-)	12
2.5.1.6 Ολικός φώσφορος (TP)	12
2.5.2 Βαρέα μέταλλα	13
2.5.2.1 Κάδμιο (Cd)	13
2.5.2.1.1 Γενικά	13
2.5.2.1.2 Διάθεση/απόρριψη υπολειμματικής τέφρας με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου	13
2.5.2.1.3 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου	14
2.5.2.1.4 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου	14
2.5.2.1.5 Επιπτώσεις στην υγεία	15
2.5.2.2 Μόλυβδος (Pb)	15
2.5.2.2.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου	15
2.5.2.2.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου	16
2.5.2.2.3 Επιπτώσεις στην υγεία	16
2.5.2.3 Νικέλιο	17
2.5.2.3.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου	17
2.5.2.3.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου	17
2.5.2.3.3 Επιπτώσεις στην υγεία	17
2.5.2.4 Ψευδάργυρος	18
2.5.2.3.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου	18
2.5.2.3.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου	19
2.5.2.3.3 Επιπτώσεις στην υγεία	19
2.5.2.4 Χαλκός	20
2.5.2.3.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού	20

2.5.2.3.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού	20
2.5.2.3.3 Επιπτώσεις στην υγεία	21
2.5.3 Οργανικοί ρύποι	21
2.5.3.1 Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)	21
2.5.3.2 Πολυχλωριωμένες διβενζο – π – διοξίνες και φουράνια (PCDDs και PCDFs)	22
2.5.3.3 Προσροφήσιμα Οργανικά Αλογονοειδή (AOXs)	22
2.6 Υφιστάμενα όρια σχετικά με την απόρριψη ή χρήση σε εδάφη και ύδατα	22
2.6.1 Υπολειμματική τέφρα	23
2.6.2 Στερεά απόβλητα σε ΧΑΔΑ	24
2.6.3 Ώριμο compost προερχόμενο από (ΑΣΑ)	26
3. ΕΚΧΥΛΙΣΗ	27
3.1 Εισαγωγή	27
3.1.1 Φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εκχύλιση	27
3.1.2 Χημικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εκχύλιση	28
3.2 Η θεωρία του συστήματος εκχύλισης	28
3.3 Χημική αποσάθρωση και γήρανση	29
3.4 Απορρόφηση	30
3.5 Μοντελοποίηση εκχύλισης	30
3.6 Θεωρητικό υπόβαθρο πειραμάτων εκχύλισης	31
3.7 Παράμετροι πειραμάτων εκχύλισης	31
3.7.1 Προετοιμασία δείγματος	31
3.7.2 Σύσταση εκχυλιστή	32
3.7.3 Μέθοδος επαφής	32
3.7.4 Λόγος L/S (υγρό/στερεό)	32
3.7.5 Χρόνος επαφής	33
3.7.6 Θερμοκρασία	33
3.7.7 Διαχωρισμός του εκχυλίσματος	33
3.7.8 Διαλυτότητα και απελευθέρωση των στοιχείων	33
3.7.9 Βαθμοί απελευθέρωσης των στοιχείων	34
3.8 Ταξινόμηση των πειραμάτων εκχύλισης	34
3.8.1 Πειράματα εκχύλισης χωρίς ανανέωση του εκχυλιστή	34
3.8.1.1 Πειράματα εκχύλισης με ανάδευση	35
3.8.1.2 Πειράματα εκχύλισης χωρίς ανάδευση	35
3.8.1.3 Πειράματα διαδοχικών χημικών εκχυλίσεων	36
3.8.1.4 Πειράματα σταδιακής αύξησης της συγκέντρωσης	36
3.8.2 Δυναμικά πειράματα	36
3.8.2.1 Σειριακά πειράματα batch	37
3.8.2.2 Πειράματα flow-around	37
3.8.2.3 Πειράματα flow-through	37
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	39
4.1 Παρουσίαση δειγμάτων	39
4.1.1 Υπολειμματική τέφρα	39
4.1.2 Στερεά απόβλητα από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου	40
4.1.3 Στερεά απόβλητα από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού	42
4.1.4 Ώριμο compost προερχόμενο από την επεξεργασία στερεών αποβλήτων ΧΥΤΑ	44

4.2 Μέθοδοι μέτρησης φυσικοχημικών χαρακτηριστικών	45
4.2.1 Αντιδραστήρια και μηχανήματα	45
4.2.1.1 Αντιδραστήρια	45
4.2.1.2 Φίλτρα	46
4.2.1.3 Συσκευές	46
4.2.2 Μέθοδος μέτρησης pH	46
4.2.3 Μέθοδος μέτρησης οργανικού άνθρακα	46
4.2.4 Μέθοδος μέτρησης βαρέων μετάλλων	47
4.2.5 Μέθοδοι μέτρησης ανόργανων ρυπών στα ανεπεξέργαστα δείγματα (Φωτομετρικά τεστ kit)	47
4.2.5.1 Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+ - N)	47
4.2.5.2 Νιτρικά ιόντα (NO_3^- - N)	48
4.2.5.3 Ολικό άζωτο (TN)	48
4.2.5.4 Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})	48
4.2.5.5 Χλωριούχα ιόντα (Cl^-)	48
4.2.5.6 Φωσφορικά	49
4.3 Μέθοδοι εκχύλισης στερεών αποβλήτων	49
4.3.1 DIN 19730 - Εκχύλιση με νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3)	49
4.3.2 DIN 38414 (S4) - Εκχύλιση με απιονισμένο νερό	50
4.3.3 pH static test (prEN 14429) - Εκχύλιση με ρύθμιση των τιμών pH	51
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	53
5.1 Δείγμα υπολειμματικής τέφρας	53
5.1.1 Μέθοδος DIN 19730	54
5.1.2 Μέθοδος DIN 38414	58
5.1.3 Μέθοδος pH stat	60
5.1.4 Συμπεράσματα	70
5.2 Δείγματα από τον ΧΑΔΑ Κολουπαρίου	72
5.2.1 Μέθοδος DIN 19730	73
5.2.2 Μέθοδος DIN 38414	75
5.2.3 Μέθοδος pH stat	77
5.2.4 Συμπεράσματα	82
5.3 Δείγματα από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού	84
5.3.1 Μέθοδος DIN 19730	85
5.3.2 Μέθοδος DIN 38414	88
5.3.3 Μέθοδος pH stat	91
5.3.4 Συμπεράσματα	104
5.4 Δείγμα ώριμου compost	106
5.4.1 Μέθοδος DIN 19730	107
5.4.2 Μέθοδος DIN 38414	107
5.4.3 Μέθοδος pH stat	109
5.4.4 Συμπεράσματα	110
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	112
6.1 Συμπεράσματα	112
6.2 Προτάσεις	115
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	ΣΕΛΙΔΑ
Πίνακας 2.1: Όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων σχετικά με τους ανόργανους ρύπους	23
Πίνακας 2.2: Όρια διάθεσης επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg	24
Πίνακας 2.3: Θεσπιζόμενα όρια σχετικά με την παρουσία βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό	24
Πίνακας 2.4: Όρια διάθεσης στερεών αδρανών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg	24
Πίνακας 2.5: Όρια διάθεσης μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg	25
Πίνακας 2.6: Όρια διάθεσης επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg	25
Πίνακας 2.7: Όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων σχετικά με τους ανόργανους ρύπους	25
Πίνακας 2.8: Όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 και 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων	25
Πίνακας 2.9: Όρια βαρέων μετάλλων για χρήση του compost	26
Πίνακας 2.10: Τυπικές τιμές ανόργανων ρύπων που δεν πρέπει να υπερβαίνουν για χρήση του compost	26
Πίνακας 3.1: Σημαντικοί παράγοντες σχετικά με τη σύσταση του εκχυλιστή	32
Πίνακας 3.2: Στόχοι μεθόδων εκχύλισης	35
Πίνακας 4.1: Τιμή pH και συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο αρχικό δείγμα της υπολειμματικής τέφρας	39
Πίνακας 4.2: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου	42
Πίνακας 4.3: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού	44
Πίνακας 4.4: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ώριμου compost	45
Πίνακας 5.1: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων της υπολειμματικής τέφρας	53
Πίνακας 5.2: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου και όρια ποιότητας πόσιμου νερού	55
Πίνακας 5.3: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 lt/kg σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων	55
Πίνακας 5.4: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με L/S = 2 lt/kg, όρια ποιότητας πόσιμου νερού και ποσοστά εκχύλισης	56
Πίνακας 5.5: Συγκεντρώσεις νιτρικών και θεικών ιόντων και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και ποιότητας πόσιμου νερού	58
Πίνακας 5.6: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και αμμωνιακών ιόντων, ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και πόσιμου νερού	58
Πίνακας 5.7: Όρια για τα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων	59

Πίνακας 5.8: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με $L/S = 10 \text{ lt/kg}$, όρια ποιότητας πόσιμου νερού και ποσοστά εκχύλισης	60
Πίνακας 5.9: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα και τον ολικό φώσφορο	61
Πίνακας 5.10: Όρια για τα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων	61
Πίνακας 5.11: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων	64
Πίνακας 5.12: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	64
Πίνακας 5.13: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$	65
Πίνακας 5.14: Όρια ποιότητας πόσιμου νερού	65
Πίνακας 5.15: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου	72
Πίνακας 5.16: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου και όρια ποιότητας πόσιμου νερού	73
Πίνακας 5.17: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων σε εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 2 \text{ lt/kg}$	73
Πίνακας 5.18: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με $L/S = 2 \text{ lt/kg}$ και όρια ποιότητας πόσιμου νερού	74
Πίνακας 5.19: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	74
Πίνακας 5.20: Συγκεντρώσεις νιτρικών, θεικών, αμμωνιακών και χλωριούχων ιόντων και ολικού φωσφόρου και αζώτου και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων	75
Πίνακας 5.21: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων σε εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$	75
Πίνακας 5.22: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με $L/S = 10 \text{ lt/kg}$ και όρια ποιότητας πόσιμου νερού	76
Πίνακας 5.23: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	77
Πίνακας 5.24: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος, τα χλωριούχα ιόντα και τον ολικό φώσφορο	77
Πίνακας 5.25: Όρια χλωριούχων ιόντων σε εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$	78
Πίνακας 5.26: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων	79
Πίνακας 5.27: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	80
Πίνακας 5.28: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων μολύβδου με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$	81
Πίνακας 5.29: Όριο ποιότητας πόσιμου νερού για το μόλυβδο	81
Πίνακας 5.30: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων των δειγμάτων από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού	84
Πίνακας 5.31: Συγκεντρώσεις θεικών και χλωριούχων ιόντων και ολικού φωσφόρου και όρια ποιότητας πόσιμου νερού	85
Πίνακας 5.32: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων στα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 2 \text{ lt/kg}$	86

Πίνακας 5.33: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 lt/kg και όρια ποιότητας πόσιμου νερού	86
Πίνακας 5.34: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	87
Πίνακας 5.35: Συγκεντρώσεις νιτρικών, θεικών, αμμωνιακών και χλωριούχων ιόντων, ολικού φωσφόρου και αζώτου, καθώς και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και ποιότητας πόσιμου νερού	88
Πίνακας 5.36: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων στα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	89
Πίνακας 5.37: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και όρια ποιότητας πόσιμου νερού	90
Πίνακας 5.38: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	90
Πίνακας 5.39: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα και τον ολικό φώσφορο	91
Πίνακας 5.40: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων στα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	92
Πίνακας 5.41: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων	96
Πίνακας 5.42: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	97
Πίνακας 5.43: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	98
Πίνακας 5.44: Όρια ποιότητας πόσιμου νερού	98
Πίνακας 5.45: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων του δείγματος του ώριμου compost	104
Πίνακας 5.46: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και όρια για εδαφική χρήση του compost σχετικά με τα βαρέα μέταλλα	105
Πίνακας 5.47: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου	106
Πίνακας 5.48: Συγκεντρώσεις και ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	106
Πίνακας 5.49: Συγκεντρώσεις νιτρικών και θεικών ιόντων και τυπικές τιμές εδαφικής χρήσης compost	107
Πίνακας 5.50: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και αμμωνιακών ιόντων, ολικού φωσφόρου και αζώτου και τυπικές τιμές εδαφικής χρήσης compost	107
Πίνακας 5.51: Συγκεντρώσεις και ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	107
Πίνακας 5.52: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος και συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου	108
Πίνακας 5.53: Τυπικές τιμές ανόργανων ρύπων σχετικά με την εδαφική χρήση του compost	108
Πίνακας 5.54: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων	109
Πίνακας 5.55: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων	109

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	ΣΕΛΙΔΑ
Διάγραμμα 3.1: Το σύστημα εκχύλισης	29
Διάγραμμα 3.2: Σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων σε σχέση με την εκχύλιση των υλικών	38
Διάγραμμα 4.1: Μέθοδος DIN 19730	50
Διάγραμμα 4.2: Μέθοδος DIN 38414	50
Διάγραμμα 4.3: Μέθοδος pH static test	51
Διάγραμμα 5.1: Σύγκριση συγκεντρώσεων θεικών ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού	62
Διάγραμμα 5.2: Σύγκριση συγκεντρώσεων χλωριούχων ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και πόσιμου νερού	63
Διάγραμμα 5.3: Σύγκριση τιμών νικελίου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού	66
Διάγραμμα 5.4: Σύγκριση τιμών μολύβδου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού	66
Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση τιμών ψευδαργύρου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού	67
Διάγραμμα 5.6: Σύγκριση τιμών χαλκού με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού	67
Διάγραμμα 5.7: Σύγκριση τιμών καδμίου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού	68
Διάγραμμα 5.8: Παράγοντες που ελέγχουν την απελευθέρωση από ένα υλικό σαν συνάρτηση του pH	69
Διάγραμμα 5.9: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	81
Διάγραμμα 5.10: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού	82
Διάγραμμα 5.11: Σύγκριση συγκεντρώσεων θεικών ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	93
Διάγραμμα 5.12: Σύγκριση συγκεντρώσεων θεικών ιόντων με τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού	93
Διάγραμμα 5.13: Σύγκριση συγκεντρώσεων χλωριούχων ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	94
Διάγραμμα 5.14: Σύγκριση συγκεντρώσεων χλωριούχων ιόντων με τα όρια ποιότητας πόσιμου νερού	94
Διάγραμμα 5.15: Σύγκριση συγκεντρώσεων νικελίου με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	98
Διάγραμμα 5.16: Σύγκριση συγκεντρώσεων νικελίου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού	99

Διάγραμμα 5.17: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	99
Διάγραμμα 5.18: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού	100
Διάγραμμα 5.19: Σύγκριση συγκεντρώσεων ψευδαργύρου με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	100
Διάγραμμα 5.20: Σύγκριση συγκεντρώσεων ψευδαργύρου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού	101
Διάγραμμα 5.21: Σύγκριση συγκεντρώσεων χαλκού με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	101
Διάγραμμα 5.22: Σύγκριση συγκεντρώσεων χαλκού με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού	102
Διάγραμμα 5.23: Σύγκριση συγκεντρώσεων καδμίου με τα όρια διάθεσης αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg	102
Διάγραμμα 5.24: Σύγκριση συγκεντρώσεων καδμίου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού	103

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	ΣΕΛΙΔΑ
Εικόνα 4.1: Θέση ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου σε σχέση με τον ομώνυμο οικισμό	41
Εικόνα 4.2: Σημεία δειγματοληψίας στον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου	41
Εικόνα 4.3: Θέση ΧΑΔΑ Κουρουπητού	43
Εικόνα 4.4: Σημεία δειγματοληψίας στον ΧΑΔΑ Κουρουπητού	43

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αναμφίβολα η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα από τα ζητήματα πρωταρχικής σημασίας σχετικά με το μέλλον του ανθρώπου στον πλανήτη, αλλά και την επιβίωση του ίδιου του περιβάλλοντος στο οποίο ζει ο σημερινός άνθρωπος. Το επίπεδο της ρύπανσης έχει φτάσει πλέον σε τέτοιο σημείο που έχει λάβει παγκόσμιες διαστάσεις και μπορεί να γίνει λόγος για παγκόσμια ρύπανση.

Υπάρχουν πάρα πολλοί τρόποι και μέσα με τα οποία ο άνθρωπος ρυπαίνει το περιβάλλον σε καθημερινή βάση είτε με έμμεσο είτε με άμεσο τρόπο. Είναι λοιπόν φυσικό η ρύπανση αυτή να καλύπτει όλα τα είδη οικοσυστημάτων του πλανήτη και να παρουσιάζεται στα εδάφη, στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα και στην ατμόσφαιρα. Οι αιτίες εμφάνισής της είναι πολλές. Βιομηχανικά και ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα, απορρίμματα που εναποτίθενται παντού με ανεξέλεγκτο τρόπο και γενικά υγροί, αέριοι και στερεοί ρύποι επιβαρύνουν το περιβάλλον, άλλες φορές σε μεγαλύτερες και άλλες φορές σε μικρότερες συγκεντρώσεις. Οι ρύποι αυτοί είναι οργανικής ή ανόργανης προέλευσης και είναι επικίνδυνοι για τα φυτά, τα ζώα, αλλά και για τον ίδιο τον άνθρωπο.

Στη συγκεκριμένη διατριβή εξετάστηκαν οι κάτωθι διαφορετικοί τύποι δειγμάτων:

1. δείγμα ώριμου compost, προερχόμενου από την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων από το Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ) του νομού Χανίων
2. στερεά δείγματα από πρηνή χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ)
3. δείγμα αποσθρωμένων στερεών απορριμμάτων (ηλικίας 15 και πλέον ετών) ενός ΧΑΔΑ
4. στερεά δείγματα (ιζήματα), επιβαρυμένα από τα στραγγίσματα ΧΑΔΑ και,
5. δείγμα υπολειμματικής τέφρας, προερχόμενης από την αποτέφρωση νοσοκομειακών αποβλήτων

Κάθε ένα από αυτά τα δείγματα έχει τη δική του δυναμική όσον αφορά την πιθανότητα ρύπανσης του περιβάλλοντος και εμφάνισης κινδύνου για τους ζωντανούς οργανισμούς.

Αναφορικά με τα απόβλητα που προέρχονται από ΧΑΔΑ, πρέπει να τονιστεί πως αποτελούν μία πολύ επικίνδυνη ομάδα αποβλήτων, διότι περιέχουν πλήθος

ρύπων, ανόργανων και οργανικών και από τη στιγμή που δεν υπόκεινται σε καμία επεξεργασία μπορούν να ρυπάνουν το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται. Έτσι, σε τέτοιου είδους απόβλητα συναντώνται βαρέα μέταλλα (π.χ. μόλυβδος, κάδμιο), ανόργανοι ρύποι (νιτρικά και χλωριούχα ιόντα και σε μεγάλες ποσότητες άζωτο, αμμωνιακά και θειικά ιόντα και φώσφορος) καθώς και οργανικοί (οι οποίοι βέβαια προκύπτουν έμμεσα από την ανεξέλεγκτη καύση των απορριμμάτων), όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), οι πολυχλωριωμένες διβενζο-π-διοξίνες και τα διβενζοφουράνια (PCDDs και PCDFs αντίστοιχα). Όλοι αυτοί οι ρύποι έχουν την ικανότητα να ρυπάνουν το περιβάλλον στο οποίο θα βρεθούν και να αποτελέσουν κίνδυνο για τους ζώντες οργανισμούς είτε σε υψηλές είτε σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

Όσον αφορά την υπολειμματική τέφρα που προέρχεται από την καύση των νοσοκομειακών αποβλήτων πρέπει να αναφερθεί πως οι ρύποι που συναντώνται εδώ είναι κυρίως τα βαρέα μέταλλα (ψευδάργυρος, χρώμιο και νικέλιο). Βέβαια, υπάρχει η πιθανότητα εύρεσης και άλλων ρύπων όπως τα θειικά και τα νιτρικά ιόντα (σε μεγάλες συγκεντρώσεις). Όπως και στην περίπτωση των αποβλήτων από ΧΑΔΑ, έτσι και εδώ παρατηρείται, ότι υπάρχει μία πληθώρα επικίνδυνων ουσιών που μπορούν εν δυνάμει να ρυπάνουν και να βλάψουν το περιβάλλον. Μάλιστα, στην περίπτωση της υπολειμματικής τέφρας οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι πολύ υψηλότερες από αυτές των απορριμμάτων από ΧΑΔΑ, λόγω των ειδών των νοσοκομειακών αποβλήτων που έχουν αποτεφρωθεί.

Τέλος, όσον αφορά το κομποστοποιημένο υλικό από στερεά απορρίμματα ΧΥΤΑ, οι ρύποι που συναντώνται εδώ είναι και πάλι κυρίως τα βαρέα μέταλλα, αλλά και κάποιοι ανόργανοι, όπως αυτοί που έχουν ήδη αναφερθεί.

Η μελέτη και ο χαρακτηρισμός των παραπάνω δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια μεθόδων εκχύλισης, δηλαδή πειραμάτων όπου με τη χρήση ενός υγρού (π.χ. απιονισμένου νερού) ως μέσου εκχύλισης, διαπιστώθηκε το ποσοστό των ρύπων που μπορεί να απελευθερωθεί από αυτά και κατά συνέπεια να ρυπάνει το περιβάλλον. Υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη εκχύλισης, όπου με αλλαγή διαφόρων παραμέτρων μπορεί να διαπιστωθεί η επίδρασή τους πάνω στο βαθμό εκχυλισιμότητας διαφόρων συστατικών. Εδώ, συγκεκριμένα, έγινε εφαρμογή τριών διαφορετικών μεθόδων εκχύλισης για να εξεταστεί η συμπεριφορά των δειγμάτων κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Με την εφαρμογή αυτών των μεθόδων έγινε μία προσπάθεια μέτρησης έξι ανόργανων ρύπων που ενδεχομένως περιείχαν τα προαναφερόμενα δείγματα, όπως τα νιτρικά ιόντα ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}), τα αμμωνιακά ιόντα ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), το ολικό άζωτο (N), ο ολικός φώσφορος (P) και τα χλωριούχα ιόντα (Cl^-). Επίσης μετρήθηκαν πέντε βαρέα μέταλλα: κάδμιο (Cd), μόλυβδος (Pb), ψευδάργυρος (Zn), νικέλιο (Ni) και χαλκός (Cu). Η επιλογή των συγκεκριμένων πέντε βαρέων μετάλλων, καθώς και των προαναφερόμενων ανόργανων ρύπων έγινε λόγω της σπουδαιότητάς της παρουσίας τους στο περιβάλλον και των επιπτώσεων που, ενδεχομένως, προκαλούν σε αυξημένες συγκεντρώσεις.

Εν τέλει, ο σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η εφαρμογή συγκεκριμένων μεθόδων εκχύλισης, πάνω σε διάφορα δείγματα στερεών αποβλήτων ούτως ώστε αφενός να γίνει μία σύγκριση μεταξύ των εφαρμοζόμενων μεθόδων εκχύλισης και αφετέρου να χαρακτηριστούν τα εξεταζόμενα δείγματα ως προς την επικινδυνότητά τους και το κατά πόσο πρέπει ή όχι να διατεθούν στο περιβάλλον με τη μορφή με την οποία εξετάστηκαν.

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα στερεά απόβλητα που προέρχονται από την καύση νοσοκομειακών αποβλήτων, από ΧΑΔΑ, καθώς και το κομποστοποιημένο υλικό, που προέρχεται από την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων στο Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ) του νομού Χανίων.

Επίσης γίνεται αναφορά στους τρόπους ρύπανσης που μπορεί να εμφανιστούν από την χρήση (στην περίπτωση του compost) ή την ανεξέλεγκτη διάθεση – απόρριψη αυτών στο περιβάλλον από τον ίδιο τον άνθρωπο και αναλυτική παρουσίαση των ρύπων που απαντώνται σε κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες και μία σύντομη, αλλά πλήρης αναφορά στα προβλήματα ρύπανσης που δημιουργούν.

Προκαταβολικά, πρέπει να αναφερθεί πως οι εν λόγω κατηγορίες στερεών δειγμάτων (και κατ'επέκταση οι ρύποι που αυτά φέρουν) ρυπαίνουν κατά κύριο λόγο τα εδάφη και τα ύδατα, επιφανειακά και υπόγεια. Γι' αυτό το λόγο η παρουσίαση των ρύπων αυτών έχει γίνει σχετικά με την ενδεχόμενη είσοδό τους σε κάποια από τα προαναφερθέντα περιβάλλοντα, ενώ στα σημεία που γίνεται αναφορά για ρύπανση του περιβάλλοντος ουσιαστικά γίνεται αναφορά κυρίως στα εδάφη και τα ύδατα.

2.2 Υπολειμματική τέφρα (bottom ash)

2.2.1 Εισαγωγή

Η διαχείριση των νοσοκομειακών αποβλήτων είναι μέγιστης σημασίας λόγω, κυρίως, των ενδεχόμενων περιβαλλοντικών κινδύνων που παρουσιάζουν και των κινδύνων για την δημόσια υγεία. Στο παρελθόν τα νοσοκομειακά απόβλητα συχνά αναμιγνύονταν με αστικά στερεά απόβλητα ή και οικιακά απόβλητα και απορρίπτονταν σε χώρους υγειονομικής ταφής οικιακών απορριμμάτων ή σε εγκαταστάσεις με ακατάλληλη επεξεργασία (π.χ. λόγω ανεπαρκώς ελεγχόμενων κλιβάνων). Σήμερα, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες από τις περιβαλλοντικές υπηρεσίες διαχείρισης και τους παραγωγούς των αποβλήτων για καλύτερη διαχείρισή τους από τις νοσοκομειακές εγκαταστάσεις (Jang et al., 2006).

Η επεξεργασία της πλειονηφίας των νοσοκομειακών αποβλήτων γίνεται σήμερα με τη χρήση κλιβάνων, με τους οποίους επιτυγχάνεται μείωση κατά 70 % στη μάζα των αποβλήτων και κατά 90 % στον όγκο τους. Μετά την αποτέφρωση των αποβλήτων, ακολουθεί η κατάλληλη επεξεργασία και διάθεση αυτών σε κατάλληλους

χώρους (οι οποίοι θα πρέπει να είναι διαφορετικοί από τους ΧΥΤΑ), για την αποφυγή οποιασδήποτε ρύπανσης του περιβάλλοντος ή κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία από αυτά. Βέβαια, πρέπει να τονιστεί εδώ, πώς η αποτέφρωση αυτών των αποβλήτων πρέπει να γίνεται υπό τις κατάλληλες και ορθές συνθήκες λειτουργίας (π.χ. θερμοκρασία), ούτως ώστε το υπόλειμμα που μένει να παρουσιάζει όσο το δυνατόν λιγότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους από ενδεχόμενη διάθεσή του σε αυτό.

Από την αποτέφρωση προκύπτουν δυο παραπροϊόντα: η υπολειμματική και η ιπτάμενη τέφρα (bottom ash και fly ash), αντίστοιχα. Από αυτά, η υπολειμματική τέφρα αποτελεί το 90 % του όγκου των αποβλήτων που έχει παραμείνει μετά και την αποτέφρωση (Ibáñez et al., 2000).

2.2.2 Ρύπανση προερχόμενη από την υπολειμματική τέφρα

Η υπολειμματική τέφρα που προέρχεται από την αποτέφρωση των νοσοκομειακών αποβλήτων, θεωρείται επικίνδυνο απόβλητο, λόγω της φύσης των αποτεφρωμένων αποβλήτων και των περιεχόμενων, σε αυτήν, επικίνδυνων και μολυσματικών ουσιών και ρύπων. Σύμφωνα με την Οδηγία 91/689 της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 12^{ης} Δεκεμβρίου 1991 ορίζεται ως επικίνδυνο απόβλητο το

- απόβλητο που παρουσιάζεται σε μία λίστα που έχει φτιαχτεί σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στο Άρθρο 18 της Οδηγίας 75/442/EEC βάσει των Παραρτημάτων I και II αυτής της Οδηγίας, όχι αργότερα από έξι μήνες πριν την ημερομηνία εφαρμογής αυτής της Οδηγίας. Αυτά τα απόβλητα πρέπει να έχουν μία ή περισσότερες ιδιότητες που παρατίθενται στο Παράρτημα III. Η λίστα αυτή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν της την προέλευση και τη σύσταση του αποβλήτου και, όταν είναι απαραίτητο, τα όρια των συγκεντρώσεων. Η λίστα αυτή θα ανανεώνεται περιοδικά και αν είναι αναγκαίο από την ίδια διαδικασία.
- κάθε άλλο απόβλητο που θεωρείται από κάποιο κράτος – μέλος ότι επιδεικνύει κάποια από τις ιδιότητες που παρατίθενται στο Παράρτημα III. Τέτοιες περιπτώσεις θα γνωστοποιούνται στην Επιτροπή και θα αναθεωρούνται σε συμφωνία με την διαδικασία που περιγράφεται στο Άρθρο 18 της Οδηγίας 75/442/EEC με σκοπό την υιοθέτηση αυτής της λίστας.

Η υπολειμματική τέφρα περιέχει το 20 – 30 % του αρχικού αποβλήτου και είναι τυπικά αργιλοπυριτικής σύστασης, ενώ περιέχει σημαντική ποσότητα βαρέων

μετάλλων. Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη για την τελική της διάθεση, η οποία θα πρέπει να γίνεται με τρόπο που να ελαχιστοποιείται η περιβαλλοντική ρύπανση. Εκτός των βαρέων μετάλλων, η υπολειμματική τέφρα ενδέχεται να περιέχει κάποιες ποσότητες οργανικών (PAHs, AOXs, κυανιδίων, PCBs, PCDD/Fs) και ανόργανων ρύπων, αλλά οι σημαντικότεροι είναι τα βαρέα μέταλλα, που συχνά απαντώνται σε αρκετά μεγάλες συγκεντρώσεις. Αναφορικά με τα βαρέα μέταλλα σημειώνεται πως δεν καταστρέφονται με την αποτέφρωση, αλλά μεταφέρονται στην δημιουργούμενη τέφρα ή εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Οι συγκεντρώσεις αυτών στην τέφρα είναι πολύ υψηλές. Το τελευταίο είναι κάτι που εξαρτάται από τα απόβλητα από τα οποία έχει προκύψει η τέφρα (Brigden et al. 2000 ; Kumar et al., 2004 ; Jang et al., 2006).

2.3 Στερεά απόβλητα σε ΧΑΔΑ (Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων)

Εδώ γίνεται αναφορά στην παρουσία αποβλήτων σε ένα χώρο ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ), οι κίνδυνοι που ελοχεύουν από την λανθασμένη διαχείρισή τους, καθώς και οι ρύποι που περιέχουν και που μπορούν εν δυνάμει να ρυπάνουν το περιβάλλον.

2.3.1 Εισαγωγή – ορισμοί ΧΥΤΑ και ΧΑΔΑ

Σύμφωνα με την Οδηγία 1999/31 της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 26^{ης} Απριλίου 1999, σχετικά με την υγειονομική ταφή των αποβλήτων ορίστηκαν ως:

- Απόβλητο, κάθε ουσία ή αντικείμενο που καλύπτεται από την Οδηγία 75/442 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Αστικό απόβλητο, κάθε οικιακό απόβλητο καθώς και κάθε άλλο απόβλητο, που λόγω της φύσης ή της σύστασής του, είναι όμοιο με το οικιακό.
- Χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), η περιοχή διάθεσης απορριμμάτων για την αποθήκευση αυτών πάνω ή μέσα στη γη (υπέδαφος) περιλαμβάνοντας,
 - εσωτερικούς χώρους διάθεσης απορριμμάτων (π.χ. ΧΥΤΑ όπου ένας παραγωγός απορριμμάτων μεταφέρει ο ίδιος και διαθέτει τα απορρίμματά του στον τόπο της παραγωγής) και,
 - ένα μόνιμο μέρος (π.χ. πάνω από ένα έτος) που χρησιμοποιείται για προσωρινή αποθήκευση των απορριμμάτων

αλλά εξαιρώντας,

- εγκαταστάσεις όπου τα απορρίμματα δεν εκφορτώνονται, ούτως ώστε να επιτραπεί η προετοιμασία τους για περαιτέρω μεταφορά τους για ανάκτηση, επεξεργασία ή διάθεσή τους σε κάποια άλλη περιοχή και,
- αποθήκευση των απορριμμάτων πριν την ανάκτηση ή την επεξεργασία τους για περίοδο μικρότερη από τρία έτη σαν γενικός κανόνας ή αποθήκευση των απορριμμάτων πριν τη διάθεσή τους για περίοδο μικρότερη του ενός έτους

Ως χώρος ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) μπορεί να θεωρηθεί κάθε περιοχή στην οποία πραγματοποιείται ανεξέλεγκτη ρίψη απορριμμάτων, οποιουδήποτε τύπου, με την έννοια ότι αυτά απορρίπτονται σε αυτές τις περιοχές χωρίς να έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία ή αλλαγή, ούτως ώστε να μην αποτελούν κίνδυνο για το περιβάλλον και την δημόσια υγεία.

2.3.2 Ρύπανση από απορρίμματα σε ΧΑΔΑ

Η ανεξέλεγκτη απόρριψη, όπως προαναφέρθηκε, είναι κάθε απόρριψη αποβλήτων χωρίς κανένα μέτρο προστασίας του ανθρώπου ή του περιβάλλοντος. Η ανεξέλεγκτη εναπόθεση απορριμμάτων σε ένα χώρο παρουσιάζει πάρα πολλούς κινδύνους σχετικά με τη ρύπανση του περιβάλλοντος και την δημόσια υγεία. Αυτοί οι κίνδυνοι σχετίζονται με τους ρύπους που περιέχονται σε αυτά τα απορρίμματα και που μπορούν να εισέλθουν στο περιβάλλον. Τέτοιοι ρύποι μπορεί να είναι:

1. Οργανικοί (που προκύπτουν όμως, έμμεσα, από την καύση των απορριμμάτων), όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), οι πολυχλωριωμένες διβενζο-π-διοξίνες (PCDDs) και τα πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια (PCDFs).
2. Ανόργανοι, όπως τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-), τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}), ο φώσφορος (P), το άζωτο (N), τα χλωριούχα ιόντα (Cl^-) κτλ και,
3. Βαρέα μέταλλα, όπως κάδμιο, μόλυβδος, χρώμιο, ψευδάργυρος, νικέλιο κτλ.

Για ορισμένους από αυτούς τους ρύπους, κυρίως τους ανόργανους και τα βαρέα μέταλλα, η ικανότητα ρύπανσης εξαρτάται από την συγκέντρωση στην οποία βρίσκονται, π.χ. τα νιτρικά ιόντα ή ο ψευδάργυρος δεν θεωρούνται ρύποι σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Οι παραπάνω ρύποι μπορούν να ρυπάνουν τον αέρα, το έδαφος και το νερό, ενώ μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα και στον άνθρωπο.

Οι κίνδυνοι που εμφανίζονται από την ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων έχουν να κάνουν με:

1. Ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδροφορέων
2. Ρύπανση μεγάλων περιοχών, ακτών και θαλασσών
3. Ανεξέλεγκτη δημιουργία και απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα επικίνδυνων αερίων
4. Κινδύνους για τη δημόσια υγεία
5. Κινδύνους για τη χερσαία και θαλάσσια πανίδα
6. Αισθητική υποβάθμιση του τοπίου
7. Κίνδυνο εκρήξεων
8. Πρόκληση πυρκαγιών (αυτανάφλεξη των αποβλήτων η οποία προκαλείται από την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου λόγω αναερόβιας χώνευσης)

Λόγω όλων των παραπάνω εμφανίζεται περιβαλλοντική ρύπανση, με βαρέα μέταλλα και άλλους ανόργανους ρύπους (Παπαδοπούλου, 2006).

2.4 Compost προερχόμενο από Αστικά Στερεά Απορρίμματα (ΑΣΑ)

2.4.1 Εισαγωγή

Το compost είναι ένα προϊόν που παράγεται από τα αστικά στερεά απόβλητα ή από υλικά σχετιζόμενα με απόρριψη ή/και λάσπη υγρών αποβλήτων έπειτα από πάχυνση ή προτιμώμενα υλικά από λάσπη όπου έχει αφαιρεθεί το νερό.

Σύμφωνα με το Έγγραφο σχετικά με την Βιολογική Επεξεργασία των Βιοαποβλήτων (Working Document Biological Treatment Of Biowaste, 2nd draft, 2001) ορίζεται ως:

1. compost: το σταθερό, αποστειρωμένο και παρόμοιο με χούμο, υλικό που είναι πλούσιο σε οργανικά και απαλλαγμένο από οσμές που προκύπτουν από την διαδικασία κομποστοποίησης των ξεχωριστά συλλεγμένων βιοαποβλήτων, ούτως ώστε να συμμορφώνεται με τις κατηγορίες περιβαλλοντικής ποιότητας του Παραρτήματος III και,
2. κομποστοποίηση: η αυτόθερμη και θερμοφιλική βιολογική αποσύνθεση των ξεχωριστά συλλεγμένων βιοαποβλήτων παρουσία οξυγόνου και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με την δράση μικρο- και μάκροοργανισμών ούτως ώστε να παραχθεί το compost.

Το compost δεν θεωρείται απόβλητο αλλά εδαφοβελτιωτικό. Οι λόγοι της χρήσης αποβλήτων για τις διαδικασίες κομποστοποίησης είναι πολλοί και περιλαμβάνουν την ανακύκλωση στοιχείων που ενδιαφέρουν στην γεωργία (π.χ. φώσφορος, άζωτο, οργανικό υλικό), την μείωση του αρχικού όγκου του αποβλήτου, την υποβάθμιση των τοξικών οργανικών ουσιών, την παραγωγή ενέργειας (ζύμωση που ακολουθείται από διαδικασίες κομποστοποίησης) και την μείωση της περιεκτικότητας ενός αποβλήτου σε βαρέα μέταλλα μέσω αραίωσης με άλλες οργανικές ουσίες για να επιτραπεί η αγροτική χρήση αυτού. Λόγω της προέλευσης του οργανικού υλικού που αποτελεί συστατικό του compost, το τελευταίο μπορεί να περιέχει βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές ουσίες και αδρανή συστατικά (Van der Sloot et al., 1997).

Το compost των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ) περιέχει χημικούς ρύπους ως αποτέλεσμα των πλαστικών, μεταλλικών αντικειμένων, βαφικών υλών, διαλυτών, χαρτιού, προϊόντων ξύλου, γυαλιού, προϊόντων πετρελαίου και άλλων απορριφθέντων υλικών που περιέχει. Το ανησυχητικό σχετικά με την κομποστοποίηση των ΑΣΑ είναι το επίπεδο των βαρέων μετάλλων στο compost και οι πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον όταν αυτό εφαρμόζεται στα εδάφη για την ανάπτυξη καλλιεργειών. Αυτά που πρωτίστως εμφανίζονται σαν εν δυνάμει ρύποι είναι τα: αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, νικέλιο και ψευδάργυρος. Άλλα στοιχεία στο compost των ΑΣΑ που μπορεί να βλάψουν φυτά και ζώα είναι το βόριο, το μολυβδένιο και το σελήνιο (www.chesterfieldfarmsorganic.com).

Όσον αφορά την χρήση του compost ως βελτιωτικού εδάφους και καλλιεργητικού μέσου, σύμφωνα με την Απόφαση της Επιτροπής της Ε.Ε. της 28^{ης} Αυγούστου περί καθορισμού οικολογικών κριτηρίων για την απονομή του κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά του εδάφους και καλλιεργητικά μέσα, αναφέρεται σε υλικά που προορίζονται να προστεθούν στο έδαφος, *in situ*, για διατήρηση ή βελτίωση των φυσικών του ιδιοτήτων, κατά κύριο λόγο, και τα οποία ενδέχεται να βελτιώσουν και τις χημικές ή/και βιολογικές του ιδιότητες ή δραστηριότητες και υλικά άλλα, πλην του εδάφους, *in situ*, όπου αναπτύσσονται τα φυτά.

2.4.2 Ωριμο compost

Το ώριμο compost είναι ένα σταθερό υλικό από χούμο που δημιουργείται από τον συνδυασμό οργανικών αποβλήτων (π.χ. κλαδιά από αυλές και κήπους, τροφικά

υπολείμματα, κοπριά) σε κατάλληλες αναλογίες σε σωρούς, σειρές ή μεγάλες δεξαμενές, την προσθήκη κατεργασμένων υλικών (π.χ. τεμαχισμένα κομμάτια ξύλου) καθότι αναγκαία για την παροχή αέρα, τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του οξυγόνου για την επίτευξη επιταχυνόμενης αποσύνθεσης και την άφεση του υλικού για πλήρη σταθεροποίηση και ωρίμανση μέσα από μία διαδικασία επεξεργασίας (www.chesterfieldfarmsorganic.com).

Η διαδικασία ωρίμανσης του compost παρουσιάζει μία αξιοσημείωτη επίδραση στην διαλυτότητα/εκχύλιση ενός μετάλλου, του οργανικού άνθρακα και του αζώτου. Μέχρι το σημείο όπου υπάρχει σχέση μεταξύ της διαλυτότητας, της μεταφοράς των ιχνοστοιχείων από τον οργανικό διαλυτό άνθρακα και της βιοδιαθεσιμότητας, είναι πιθανό να υποτεθεί ότι η ωρίμανση αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην λήψη των βαρέων μετάλλων από τα φυτά μέσω του compost (Van der Sloot et al., 1997).

Όσον αφορά τους ρύπους που ενδέχεται να απαντηθούν σε αυτό το είδος compost, αυτοί μπορούν να επιβαρύνουν το έδαφος και έπειτα μέσω της τροφικής αλυσίδας να αποτελέσουν κίνδυνο και για τη δημόσια υγεία (οι ρύποι θα περάσουν από το έδαφος στα φυτά και από κει στον άνθρωπο μέσω των καλλιεργειών στις οποίες θα χρησιμοποιηθεί) και είναι παρόμοιοι με αυτούς που αναφέρθηκαν στην περίπτωση των ΧΑΔΑ, δηλαδή ανόργανοι όπως τα νιτρικά και τα θειικά ιόντα και βαρέα μέταλλα (www.chesterfieldfarmsorganic.com).

2.5 Ρύποι στερεών αποβλήτων – Προκαλούμενη ρύπανση

Εδώ παρουσιάζονται σε γενικές γραμμές οι οργανικοί, οι ανόργανοι ρύποι και τα βαρέα μέταλλα που εμφανίζονται στα εξεταζόμενα δείγματα στερεών αποβλήτων. Για τους ανόργανους ρύπους και τα βαρέα μέταλλα γίνεται εκτενής αναφορά σχετικά με την ρύπανση και τα γενικότερα προβλήματα που προκαλούν, ενώ για τους οργανικούς ρύπους γίνεται μία επιγραμματική παρουσίαση.

2.5.1 Ανόργανοι ρύποι

2.5.5.1 Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)

Όσον αφορά τα αμμωνιακά ιόντα, δεν υπάρχουν αναφορές σχετικά με την ρύπανση που ενδεχομένως προκαλείται άμεσα από αυτά, παρά για την προκαλούμενη, από το σύνολο των μορφών αζώτου, ρύπανση. Δηλαδή, οι όποιες αναφορές υπάρχουν (ή

τουλάχιστον το μεγαλύτερο μέρος αυτών), αφορούν το σύνολο των μορφών αζώτου και όχι τα αμμωνιακά ιόντα ξεχωριστά.

2.5.5.2 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Όσον αφορά την επίδραση των νιτρικών ιόντων στα εδάφη, πιστεύεται ότι αυτά μπορούν να προκαλέσουν οξίνιση του εδάφους, τουλάχιστον σε περιοχές με μικρή βλάστηση. Περίσσεια νιτρικών ιόντων σε απόβλητα που καταλήγουν στις θάλασσες και τις λίμνες προκαλούν μία υπέρμετρη αύξηση των φυκών. Μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών στο πόσιμο νερό μπορούν να προκαλέσουν μεθαιμογλοβιναιμία σε νεογέννητα και στους ενήλικες λόγω της έλλειψης ενός ειδικού ενζύμου. Επίσης προκαλούν, πιθανώς, καρκίνο του στομάχου, αν και πρόσφατες επιδημιολογικές έρευνες δεν μπόρεσαν να αποδείξουν μία θετική, στατιστικά εμπεριστατωμένη, συσχέτιση ανάμεσα στα επίπεδα νιτρικών στο πόσιμο νερό και στην εμφάνιση καρκίνου του στομάχου (Κουϊμτζής et al, 1998 ; Σμυρνάκη et al 2000).

2.5.1.3 Ολικό άζωτο (TN)

Ανεξαρτήτως των ποσοτήτων που χρησιμοποιούνται, το άζωτο δεν συσσωρεύεται συνήθως στο έδαφος. Μπορεί να μετακινηθεί από την μία καλλιέργεια στην άλλη αλλά η συγκέντρωσή του σε μία επιλεγμένη καλλιέργεια δεν αυξάνει με την πάροδο του χρόνου. Υπερβολικές ποσότητες αζώτου σε λίμνες μπορεί να οδηγήσουν σε επιταχυνόμενο ευτροφισμό (διαδικασία γήρανσης της λίμνης, επιταχυνόμενη με την εισαγωγή θρεπτικών, που προκαλεί υπερβολική ανάπτυξη ριζικών φυτών και αλγών). Επίσης, τα προβλήματα που εμφανίζονται από τις υπερβολικές ποσότητες αζώτου στα υπόγεια ύδατα, σχετίζονται με την ύπαρξη μορφών αυτού όπως είναι τα νιτρικά και τα νιτρώδη ιόντα (Baird, 1997 ; Stephen et al., 1998).

2.5.1.4 Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})

Όσον αφορά τα θειικά ιόντα, οι περισσότερες αναφορές έχουν να κάνουν με τη ρύπανση που προκαλούν στα υπόγεια ύδατα. Η παρουσία και η συγκέντρωσή τους σε αυτά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την φύση του φυσικού εδάφους. Το σημαντικότερο που έχει βρεθεί είναι ότι τα θειικά ιόντα δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία με την παρουσία τους στα υπόγεια ύδατα. Διάφορες έρευνες που έχουν γίνει απέτυχαν να προσδιορίσουν οποιαδήποτε σχέση μεταξύ της έκθεσης

σε υψηλά επίπεδα θεικών ιόντων και της εμφάνισης διαφόρων προβλημάτων στην υγεία (A.E.G.I., 2006).

2.5.1.5 Χλωριούχα ιόντα (Cl⁻)

Όσον αφορά την παρουσία των χλωριούχων ιόντων στα εδάφη, έχει αποδειχθεί ότι μία αύξηση στην συγκέντρωσή τους προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης του καδμίου στα φυτά καθότι υπάρχει σύνδεση αυτών των δύο. Επίσης, τα χλωριούχα ιόντα αποτελούν συστατικό του αλατιού και είναι ένα από τα πιο κοινά ανιόντα που μπορούν να βρεθούν στο φρέσκο νερό. Ακόμα και μία μικρή αύξηση στην συγκέντρωσή τους μπορεί να έχει περίπλοκη επίδραση στα υδάτινα οικοσυστήματα, αλλά τα περισσότερα ψάρια και άλλοι μεγάλοι υδρόβιοι οργανισμοί δεν επηρεάζονται άμεσα, παρά μόνο όταν οι συγκεντρώσεις αγγίζουν το 1 g/l ή περισσότερο. Οι υγιείς άνθρωποι μπορούν να αντέξουν τη λήψη μεγάλων ποσοτήτων χλωριούχων, εφόσον αυτά περιέχονται στο πόσιμο νερό. Δεν είναι γνωστά πολλά όμως, σχετικά με τις επιπτώσεις που παρουσιάζουν αν βρεθούν σε μεγάλες ποσότητες στη διατροφή. (Weggler et al., 2004 ; www.watershedcouncil.org ; www.groundwateruk.org).

2.5.1.6 Ολικός φώσφορος (TP)

Όσον αφορά την παρουσία του φωσφόρου στα εδάφη, εκτός από τη φυσική ύπαρξή του σε αυτά σαν θρεπτικό στοιχείο, κυρίως για τα φυτά, ο φώσφορος μπορεί να βρεθεί και με άλλους τρόπους, όπως οι εισροές από τη χρήση λιπασμάτων από τον άνθρωπο, μέσω των ΧΑΔΑ κτλ. Λόγω αυτών, έχει προκληθεί ανατροπή του κύκλου ζωής του φωσφόρου. Αυτή η επιπλέον εισροή ποσοτήτων φωσφόρου στα εδάφη δημιουργεί πλεόνασμα θρεπτικών στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις αναστέλλοντας έτσι την γονιμότητά τους και αποτελεί τον κύριο λόγο ρύπανσης από τη γεωργία και τον κύριο τρόπο ρύπανσης των εδαφών από το φώσφορο. Επίσης, ο υπερεμπλουτισμός με φώσφορο προκαλεί ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων και στα επιφανειακά ύδατα, συμπεριλαμβανομένου της άνθησης τοξικών φυκών, της απώλειας οξυγόνου, του θανάτου ψαριών, της απώλειας στρωμάτων χλωρίδας που καλύπτουν τον πυθμένα και άλλης υδρόβιας χλωρίδας, της υποβάθμισης των κοραλλιογενών υφάλων και της απώλειας της βιοποικιλότητας (συμπεριλαμβανομένου σημαντικών ειδών για τους ψαράδες και τις βιομηχανίες οστρακόδερμων). Φυσικά, πολύ σημαντικό είναι το πρόβλημα του ευτροφισμού, που προκαλείται από υπερβολικές ποσότητες φωσφόρου και αζώτου σε λίμνες, ποτάμια κτλ. και το οποίο αναφέρεται και στην περίπτωση του

αζώτου, παραπάνω. Τέλος, σχετικά με τα υπόγεια ύδατα πρέπει να σημειωθεί πως ο φώσφορος είναι πρωταρχικώς ένα θέμα ποιότητας των επιφανειακών υδάτων. Η ικανότητα που παρουσιάζουν τα εδαφικά σωματίδια να προσροφούν διαλυτό φώσφορο περιορίζει την κίνησή του μέσω του εδάφους. Ουσιαστικά λοιπόν, οι ποσότητες φωσφόρου που ενδέχεται να φτάνουν στα υπόγεια ύδατα είναι πάρα πολύ μικρές (Lory, 1999 ; TELWF, 2005 ; Murphy, 2005).

2.5.2 Βαρέα μέταλλα

Όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, όπως και οι προαναφερόμενοι ανόργανοι ρύποι, έτσι και αυτά μπορούν να ρυπάνουν τα εδάφη, τα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα. Βέβαια, πρέπει να αναφερθεί ότι, παρόλο που υπάρχει πληθώρα βαρέων μετάλλων που μπορούν να απαντηθούν σε τέτοιου είδους δείγματα, εδώ παρουσιάζονται μόνο τα πέντε βαρέα μέταλλα που εξετάστηκαν σε αυτή τη διατριβή, δηλαδή το κάδμιο, ο μόλυβδος, το νικέλιο, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος.

2.5.2.1 Κάδμιο (Cd)

2.5.2.1.1 Γενικά

Το κάδμιο είναι ένα σχετικά σπάνιο μέταλλο. Δεν έχει κάποια βασική βιολογική λειτουργία και είναι πολύ τοξικό στα φυτά και στα ζώα. Όμως, οι συγκεντρώσεις του καδμίου που συνήθως υπάρχουν στο περιβάλλον δεν προκαλούν άμεση τοξικότητα.

2.5.2.1.2 Διάθεση/απόρριψη υπολειμματικής τέφρας με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου

Όσον αφορά την παρουσία βαρέων μετάλλων στην υπολειμματική τέφρα, σημειώνεται πως οι επιπτώσεις από την ανεξέλεγκτη διάθεση – απόρριψή της σε κάποιο χώρο, είναι όμοιες με αυτές που αναφέρονται στην επόμενη παράγραφο. Η διαφορά είναι, όμως, πως στην υπολειμματική τέφρα οι συγκεντρώσεις των μετάλλων είναι αρκετά υψηλότερες από αυτές στα στερεά απόβλητα, επομένως και οι επιπτώσεις που ενδεχομένως θα παρουσιαστούν θα είναι μεγαλύτερες σε επικινδυνότητα και αμεσότητα, μιας και οι υψηλές συγκεντρώσεις θα οδηγήσουν γρηγορότερα σε προβλήματα ρύπανσης και τοξικότητας. Η ίδια κατάσταση ισχύει και για τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα, γι' αυτό και δεν γίνεται ανάλογη αναφορά.

2.5.2.1.3 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου

Το κάδμιο προσροφάται ισχυρά στο οργανικό υλικό του εδάφους. Όταν είναι παρόν στα εδάφη μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνο, καθώς αυξάνεται η λήψη του μέσω της τροφής. Τα οξινισμένα εδάφη ευνοούν τη λήψη του καδμίου από τα φυτά, κάτι που αποτελεί εν δυνάμει κίνδυνο για τα ζώα, που εξαρτώνται από τα φυτά για την επιβίωση τους γιατί το κάδμιο μπορεί να συσσωρευθεί στα σώματα αυτών. Οι αγελάδες, λόγω των προηγούμενων, ενδέχεται να έχουν μεγάλες ποσότητες καδμίου στα νεφρά τους.

Η ευαισθησία στο κάδμιο ποικίλει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των υδρόβιων οργανισμών. Οι οργανισμοί του θαλάσσιου νερού είναι γνωστοί ως περισσότερο ανθεκτικοί στην δηλητηρίαση από κάδμιο από ότι αυτοί του γλυκού νερού. Επίσης η κατανάλωση ζωικού κρέατος ή η πόση καδμίου οδηγεί σε υψηλές αρτηριακές πιέσεις, ηπατική ανεπάρκεια και βλάβη στα νεύρα ή στον εγκέφαλο (Lenntech, 2007).

2.5.2.1.4 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου

Οι περισσότερες μακροχρόνιες έρευνες για την εφαρμογή compost προερχόμενου από αστικά στερεά απορρίμματα (ΑΣΑ) σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, έχουν δείξει μείωση ή μικρή αλλαγή στην περιεκτικότητα των καλλιεργειών σε κάδμιο. Δεν θα πρέπει να γίνεται εφαρμογή compost με περιεκτικότητα σε κάδμιο μεγαλύτερη από αυτή των εδαφών σε καλλιέργειες καπνού, διότι όταν αυτός καίγεται και εισπνέεται, το μεγαλύτερο μέρος του καδμίου λαμβάνεται από το ανθρώπινο σώμα. Επίσης, το compost δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες μανιταριών, σπανακιού και άλλων φυλλωτών ειδών από τη στιγμή που αυτά τα είδη συσσωρεύουν το κάδμιο. Η Εθνική Επιτροπή Έρευνας των Η.Π.Α. (National Research Council) έχει προτείνει ότι η περιεκτικότητα των βοσκότοπων σε κάδμιο (αυτών που προορίζονται για κατανάλωση από τα ζώα) πρέπει να είναι 0,5 mg/kg ή λιγότερο. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι εφαρμογές compost από ΑΣΑ μπορεί να καταλήξουν σε συγκεντρώσεις στο ιστό των καλλιεργειών που υπερβαίνουν αυτή την τιμή. Περιστασιακά η ανάπτυξη των φυτών χωρίς compost μπορεί να παρουσιάζει συγκεντρώσεις στους ιστούς μεγαλύτερες από 0,5 mg/kg (Woodbury, 1993).

2.5.2.1.5 Επιπτώσεις στην υγεία

Η λήψη του καδμίου από τους ανθρώπους λαμβάνει χώρα κυρίως μέσω του φαγητού. Τρόφιμα που είναι πλούσια σε κάδμιο μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την συγκεντρώσή του στο ανθρώπινο σώμα.

Άλλες περιπτώσεις υψηλής έκθεσης μπορεί να παρουσιαστούν σε ανθρώπους που ζούν κοντά σε περιοχές απόρριψης επικίνδυνων αποβλήτων ή σε εργοστάσια που απελευθερώνουν κάδμιο στον αέρα και σε ανθρώπους που εργάζονται στην μεταλλουργική βιομηχανία. Όταν οι άνθρωποι ζουν σε περιοχή όπου ο αέρας έχει υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου μπορεί να παρουσιαστεί μεγάλη ζημιά στους πνεύμονες, κάτι που ενδέχεται να προκαλέσει ακόμα και το θάνατο. Άλλες επιπτώσεις στην υγεία που μπορεί να προκαλέσει το κάδμιο είναι:

1. Διάρροια, στομαχικοί πόνοι και αρκετοί έμετοι
2. Κατάγματα στα οστά
3. Αδυναμία αναπαραγωγής, ακόμα και στειρότητα
4. Βλάβη στο κεντρικό νευρικό σύστημα
5. Βλάβη στο ανοσοποιητικό σύστημα
6. Ψυχολογικές δυσλειτουργίες
7. Πιθανή βλάβη στο DNA ή ανάπτυξη καρκίνου

(Lenntech, 2007)

2.5.2.2 Μόλυβδος (Pb)

2.5.2.2.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου

Ο μόλυβδος συσσωρεύεται στους υδρόβιους και εδαφικούς οργανισμούς, με συνέπεια αυτοί να αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω δηλητηρίασης. Οι επιπτώσεις στην υγεία για τα ψάρια, λαμβάνουν χώρα ακόμα και όταν υπάρχουν χαμηλές συγκεντρώσεις μολύβδου. Οι λειτουργίες του φυτοπλαγκτόν μπορεί να διαταραχθούν εάν παρέμβει ο μόλυβδος. Το φυτοπλαγκτόν είναι μία σημαντική πηγή παραγωγής οξυγόνου στις θάλασσες και πολλά μεγάλα θαλάσσια ζώα τρέφονται με αυτό. Έτσι εξηγείται γιατί η ρύπανση από μόλυβδο μπορεί να διαταράξει τις παγκόσμιες ισορροπίες. Ο μόλυβδος είναι ένα εξαιρετικά επικίνδυνο χημικό, καθότι μπορεί να συσσωρευθεί σε ξεχωριστούς οργανισμούς, αλλά επίσης και σε όλη την τροφική αλυσίδα (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.2.2.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου

Τα φυτά λαμβάνουν μόνο ένα μικρό κλάσμα του μολύβδου στα περισσότερα εδάφη, ενώ μακροχρόνιες έρευνες στο πεδίο έχουν δείξει ότι θα εμφανιστεί πολύ μικρή αύξηση στην περιεκτικότητα των καλλιεργειών σε μόλυβδο ακόμα και με σημαντικές εναποθέσεις compost από ΑΣΑ. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν κάποιες αποδείξεις σύμφωνα με τις οποίες το compost των ΑΣΑ μπορεί πράγματι να μειώσει τη λήψη του μολύβδου από τις καλλιέργειες, πιθανώς διότι το οργανικό υλικό του compost δεσμεύει το μόλυβδο και μειώνει τη διαθεσιμότητά του στα φυτά. Η εφαρμογή compost από ΑΣΑ θα αυξήσει παρ'αυτά την περιεκτικότητα των ρυπασμένων εδαφών σε μόλυβδο (Woodbury, 2005).

2.5.2.2.3 Επιπτώσεις στην υγεία

Από όσα είναι γνωστά μέχρι τώρα, ο μόλυβδος δεν είναι αναγκαίος για τον ανθρώπινο οργανισμό και μπορεί, εν μέρει, να προκαλέσει βλάβες έπειτα από λήψη του μέσω τροφής, αέρα ή νερού. Ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει διάφορες ανεπιθύμητες επιπτώσεις, όπως:

- Διάσπαση της βιοσύνθεσης της αιμογλοβίνης και αναιμία
- Αύξηση της πίεσης του αίματος
- Βλάβη στα νεφρά
- Αποβολές εμβρύων και αύξηση των εκτρώσεων
- Βλάβη στο νευρικό σύστημα
- Βλάβη στον εγκέφαλο
- Μειωμένη γονιμότητα στους άνδρες, λόγω βλαβών στο σπέρμα
- Διαταραχές στην συμπεριφορά των παιδιών, όπως επιθετικότητα, ενστικτώδη συμπεριφορά και υπερδραστηριότητα

Ο μόλυβδος μπορεί, επίσης, να εισέλθει στο έμβρυο μέσω του πλακούντα της μητέρας. Λόγω αυτού του γεγονότος, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο νευρικό σύστημα και στον εγκέφαλο των αγέννητων παιδιών (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.2.3 Νικέλιο

2.5.2.3.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου

Δεν υπάρχουν πολλές διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις του νικελίου σε ζωντανούς οργανισμούς (εκτός από τον ανθρώπινο). Είναι γνωστό ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου στα επιφανειακά νερά μπορούν να μειώσουν τους ρυθμούς ανάπτυξης των αλγών. Επίσης, μπορεί να παρουσιαστεί αναστολή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών λόγω της παρουσίας του νικελίου, αλλά συνήθως αυτοί αναπτύσσουν ανθεκτικότητα στο νικέλιο μετά από λίγο χρόνο επαφής.

Για τα ζώα το νικέλιο αποτελεί ένα σημαντικό ιχνοστοιχείο σε μικρές ποσότητες. Όμως το νικέλιο εκτός από το πλεονέκτημα του αναγκαίου στοιχείου, μπορεί να είναι και επικίνδυνο όταν παρουσιαστεί υπέρβαση των ποσοτήτων μέγιστης ανοχής. Αυτό μπορεί να προκαλέσει διάφορες μορφές καρκίνου σε διαφορετικές περιοχές του σώματος των ζώων.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι δεν είναι γνωστό αν το νικέλιο συσσωρεύεται στα φυτά ή στα ζώα και σαν αποτέλεσμα αυτού δεν βιομεγεθυνόεται στην τροφική αλυσίδα (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.2.3.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου

Οι συγκεντρώσεις νικελίου είναι γενικά χαμηλές σε compost προερχόμενο από ΑΣΑ. Έτσι, το νικέλιο, παρόλο που είναι τοξικό για τα φυτά, είναι απίθανο να μειώσει την ανάπτυξή τους με την χρήση του compost (Woodbuy, 2005).

2.5.2.3.3 Επιπτώσεις στην υγεία

Οι άνθρωποι μπορεί να εκτεθούν στο νικέλιο μέσω του εισπνεόμενου αέρα, του πόσιμου νερού, της τροφής ή των τσιγάρων. Σε μικρές ποσότητες το νικέλιο είναι αναγκαίο, αλλά όταν υπάρχει λήψη πολύ μεγάλων ποσοτήτων μπορεί να είναι επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Η λήψη πολύ μεγάλων ποσοτήτων νικελίου έχει τις ακόλουθες συνέπειες:

- Υψηλότερες πιθανότητες ανάπτυξης καρκίνου του πνεύμονα, της ρινικής κοιλότητας, του λάρυγγα και του προστάτη
- Ασθένεια και ζαλάδα μετά από έκθεση σε αέριο νικέλιο
- Πνευμονική εμβολή
- Αποτυχία αναπαραγωγής

- Εκ γενετής ανωμαλίες στα έμβρυα
- Άσθμα και χρόνια βρογχίτιδα
- Αλλεργικές αντιδράσεις όπως δερματικά εξανθήματα, κυρίως από τα κοσμήματα
- Καρδιακή δυσλειτουργία

Οι ατμοί του νικελίου ερεθίζουν το αναπνευστικό σύστημα και μπορεί να προκαλέσουν πνευμονία. Η έκθεση σε νικέλιο και σε ενώσεις αυτού μπορεί να καταλήξει στην ανάπτυξη ενός είδους δερματίτιδας σε ευαίσθητα άτομα. Το πρώτο σύμπτωμα είναι συνήθως φαγούρα, που εμφανίζεται μέχρι και επτά μέρες πριν αρχίσει η διάρρηξη του δέρματος. Η πρωτογενής διάρρηξη πραγματοποιείται με κοκκίνισμα του δέρματος ή εμφάνιση φολίδων και μπορεί να ακολουθηθεί από δερματικές πληγές. Η ευαισθησία στο νικέλιο, από την στιγμή που είναι επίκτητη, εμφανίζεται να επιμένει αόριστα (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.2.4 Ψευδάργυρος

2.5.2.3.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου

Κάποια είδη ψαριών μπορούν να συσσωρεύουν τον ψευδάργυρο στα σώματά τους, όταν ζουν σε νερά ρυπασμένα με αυτόν. Όταν ο ψευδάργυρος εισέρχεται στα σώματα αυτών των ψαριών είναι ικανός να μεγεθυνθεί εντός της τροφικής αλυσίδας.

Μεγάλες ποσότητες ψευδαργύρου μπορούν να βρεθούν και στα εδάφη. Όταν τα εδάφη αγροκτημάτων ρυπαίνονται με ψευδάργυρο, τα ζώα θα απορροφήσουν συγκεντρώσεις, επιβλαβείς για την υγεία τους. Ο υδατοδιαλυτός ψευδάργυρος που εντοπίζεται στα εδάφη μπορεί να ρυπάνει και τα υπόγεια ύδατα.

Ο ψευδάργυρος μπορεί να αποτελέσει απειλή όχι μόνο για τα βοοειδή αλλά και για φυτικά είδη, τα οποία συνήθως λαμβάνουν ποσότητες ψευδαργύρου που τα συστήματά τους δεν μπορούν να διαχειριστούν, λόγω της συσσώρευσής του στα εδάφη.

Σε εδάφη πλούσια σε ψευδάργυρο μόνο ένας περιορισμένος αριθμός φυτών έχει πιθανότητες επιβίωσης. Αυτό εξηγεί γιατί δεν υπάρχει μεγάλη ποικιλία φυτών κοντά σε εργοστάσια με ψευδάργυρο. Λόγω των επιπτώσεων στα φυτά παρουσιάζεται μία σοβαρή απειλή στις παραγωγές των αγροτών. Παρόλ'αυτά, λιπάσματα που περιέχουν ψευδάργυρο εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται.

Τέλος, ο ψευδάργυρος μπορεί να παρεμποδίσει την εδαφική δραστηριότητα, καθότι επηρεάζει αρνητικά την κινητικότητα των μικροοργανισμών και των γεωσκώληκων. Η αποσύνθεση του οργανικού υλικού μπορεί, επίσης, να επιβραδυνθεί επικίνδυνα λόγω αυτού του γεγονότος (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.2.3.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου

Παρόλο που οι εφαρμογές ιλύος από επεξεργασία υγρών αποβλήτων έχει προκαλέσει τοξικότητα στα φυτά λόγω του ψευδαργύρου, το compost που προέρχεται από ΑΣΑ περιέχει πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου από αυτές της ιλύος. Ο ψευδάργυρος στο compost από ΑΣΑ είναι απίθανο να βλάψει τις καλλιέργειες και μπορεί, στην πραγματικότητα, να είναι ευεργετικός σε περιοχές με έλλειψη ψευδαργύρου (Woodbury, 2005).

2.5.2.3.3 Επιπτώσεις στην υγεία

Ο ψευδάργυρος αποτελεί ένα ιχνοστοιχείο, απαραίτητο στην ανθρώπινη υγεία. Όταν οι άνθρωποι απορροφούν πολύ μικρές ποσότητες ψευδαργύρου χάνουν την όρεξή τους, έχουν μειωμένη αίσθηση της γεύσης και της όσφρησης, παρουσιάζουν καθυστέρηση στην epούλωση πληγών και δερματικών παθήσεων. Αυτού του είδους η έλλειψη μπορεί να προκαλέσει ακόμα και ανωμαλίες κατά τη γέννα.

Παρόλο που οι άνθρωποι μπορούν να χειριστούν αναλογικά μεγάλες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα υγείας, όπως στομαχικές διαταραχές, δερματικούς ερεθισμούς, έμετους, ναυτία και αναιμία. Πολύ υψηλά επίπεδα ψευδαργύρου μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στο πάγκρεας, να παρεμποδίσουν το μεταβολισμό των πρωτεϊνών και να προκαλέσουν αρτηριοσκλήρυνση. Εκτεταμένη έκθεση στο χλωρίδιο του ψευδαργύρου μπορεί να προκαλέσει διαταραχές στην αναπνοή.

Επίσης ο ψευδάργυρος μπορεί να είναι επικίνδυνος για τα αγέννητα και τα νεογέννητα παιδιά. Όταν οι μητέρες τους έχουν απορροφήσει μεγάλες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, τα παιδιά ενδέχεται να εκτεθούν σε αυτές μέσω του αίματος ή του γάλακτος (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.2.4 Χαλκός

2.5.2.3.1 Διάθεση/απόρριψη στερεών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού

Μόλις ο χαλκός καταλήξει στο έδαφος ενώνεται ισχυρά με το οργανικό υλικό και τα ορυκτά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην ταξιδεύει πολύ μακριά μετά την απελευθέρωσή του ενώ σχεδόν ποτέ δεν εισέρχεται στα υπόγεια ύδατα. Στα επιφανειακά ύδατα ο χαλκός μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις, είτε διαλυμένος σε σωματίδια λάσπης είτε σαν ελεύθερο ιόν.

Δεν αποσυντίθεται στο περιβάλλον και για αυτό το λόγο μπορεί να συσσωρεύεται στα φυτά και στα ζώα όταν βρίσκεται στα εδάφη. Σε εδάφη, που είναι πλούσια σε χαλκό, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός φυτών έχει πιθανότητες να επιβιώσει και έτσι εξηγείται γιατί δεν υπάρχει μεγάλη ποικιλία φυτών κοντά σε εργοστάσια εναπόθεσης χαλκού. Λόγω των επιδράσεων πάνω στα φυτά, ο χαλκός αποτελεί σοβαρή απειλή για τις παραγωγές των αγροκτημάτων. Μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τις διαδικασίες σε εδάφη τέτοιων αγροκτημάτων, ανάλογα με την οξύτητα του εδάφους και την παρουσία οργανικού υλικού. Ανεξαρτήτως αυτού, τα λιπάσματα που περιέχουν χαλκό εξακολουθούν και χρησιμοποιούνται.

Ο χαλκός μπορεί να παρεμβληθεί στις δραστηριότητες των εδαφικών οργανισμών, καθώς επηρεάζει αρνητικά την δραστηριότητα των μικροοργανισμών και των γεωσκωλήκων. Η αποσύνθεση του οργανικού υλικού μπορεί να επιβραδυνθεί σε μεγάλο βαθμό εξαιτίας αυτού.

Όταν τα αγροτικά εδάφη ρυπαίνονται με χαλκό, τα ζώα που τρέφονται με φυτά θα απορροφήσουν συγκεντρώσεις που είναι επιβαρυντικές για την υγεία τους. Κυρίως τα πρόβατα υποφέρουν από δηλητηρίαση από χαλκό, διότι οι επιπτώσεις του χαλκού παρουσιάζονται σε σαφώς χαμηλές συγκεντρώσεις (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.2.3.2 Compost με υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού

Μακροχρόνιες μελέτες στο πεδίο δείχνουν πολύ μικρή αύξηση της περιεκτικότητας των καλλιεργειών σε χαλκό με σημαντικές αποθέσεις compost από ΑΣΑ. Το οργανικό υλικό στο compost δεσμεύει το χαλκό και μειώνει τη διαθεσιμότητά του στα φυτά (Woodbury, 2005).

2.5.2.3.3 Επιπτώσεις στην υγεία

Η μακροχρόνια έκθεση σε χαλκό μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό της μύτης, του στόματος και των ματιών καθώς και πονοκεφάλους, στομαχόπονους, ζαλάδες, έμετους και διάρροια. Επίσης, υψηλά επίπεδα λήψης χαλκού μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στο συκώτι και τα νεφρά και να οδηγήσουν ακόμα και στο θάνατο. Το αν ο χαλκός είναι καρκινογενής ή όχι δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί.

Υπάρχουν επιστημονικές αναφορές που υποδεικνύουν σύνδεση μεταξύ της μακροχρόνιας έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού και σε μείωση της ευφυΐας σε νεαρούς εφήβους.

Η χρόνια δηλητηρίαση από χαλκό καταλήγει στην λεγόμενη ασθένεια του Wilson, που χαρακτηρίζεται από ηπατική κίρωση, εγκεφαλική βλάβη, απομυελίνωση, νεφρική ανεπάρκεια και εναπόθεση χαλκού στον κερατοειδή χιτώνα (Alloway, 1995 ; Lenntech, 2007).

2.5.3 Οργανικοί ρύποι

Στη συγκεκριμένη εργασία δεν εξετάστηκαν οργανικοί ρύποι που ενδεχομένως περιέχονται στα διάφορα είδη δειγμάτων. Γι' αυτό το λόγο γίνεται μία σύντομη γενική παρουσίαση των κυριοτέρων εξ αυτών, για τις διάφορες επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

2.5.3.1 Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)

Όσον αφορά τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), πρόκειται για μίγματα από 209 ξεχωριστές χλωριωμένες οργανικές ενώσεις. Μπορούν να εισέλθουν στον αέρα, το έδαφος και τα νερά μέσω διαφόρων δραστηριοτήτων, μία από τις οποίες είναι και η καύση των ανεξέλεγκτα διαθέσιμων απορριμμάτων, ενώ δεν αποσυντίθενται αμέσως και έτσι μπορούν να παραμείνουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα PCBs λαμβάνονται από μικρούς οργανισμούς και τα ψάρια στα νερά. Όπως είναι φυσικό, τα PCBs προκαλούν προβλήματα και στον ίδιο τον άνθρωπο και συγκεκριμένα σε αυτούς που εκτίθενται σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Τα προβλήματα αυτά έχουν να κάνουν με δερματικές παθήσεις όπως την παρουσία ακμής και εξανθημάτων. Επίσης, βάσει μελετών έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στο αίμα και την ουρία που μπορεί να σημαίνουν βλάβη στο συκώτι. Τέλος, έχουν αναφερθεί και περιπτώσεις εμφάνισης καρκίνου του ήπατος (Polychlorinated Biphenyls, 2001).

2.5.3.2 Πολυχλωριωμένες διβενζο – π – διοξίνες και φουράνια (PCDDs και PCDFs)

Όσον αφορά τα PCDD/Fs, ονομάζονται κοινώς διοξίνες. Παράγονται ακούσια και απελευθερώνονται από θερμικές διαδικασίες όπως είναι η ατελής καύση των απορριμμάτων (που συμβαίνει σε πολλούς ΧΑΔΑ).

Οι διοξίνες μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις όταν απελευθερώνονται στον αέρα και γι' αυτό το λόγο μπορούν να βρεθούν σε πολλά μέρη ανά τον κόσμο. Από τη στιγμή που αποσυντίθενται πολύ αργά μπορούν να εναποτεθούν στα φυτά και να ληφθούν από τα ζώα και τους υδρόβιους οργανισμούς.

Όσον αφορά, τέλος, την έκθεση του ανθρώπου σε διοξίνες σημειώνεται πως οι εμφανιζόμενοι κίνδυνοι είναι αρκετοί, όπως σοβαρές δερματικές αλλοιώσεις (χλωράλη και υπερπαραγωγή ορμονών ανάπτυξης), αλλαγή στην ηπατική λειτουργία και στο μεταβολισμό των λιπιδίων, γενική αδυναμία λόγω της δραστηκής απώλειας βάρους, κατάπτωση του ανοσοποιητικού συστήματος και ανωμαλίες στο νευρικό και ενδοκρινικό σύστημα. Βέβαια όλες αυτές οι επιπτώσεις έχουν να κάνουν και με το ύψος των συγκεντρώσεων των ουσιών αυτών, καθότι δεν υπάρχουν αποδείξεις δημιουργίας προβλημάτων σε χαμηλές συγκεντρώσεις (www.epa.gov/hk).

2.5.3.3 Προσροφήσιμα Οργανικά Αλογονοειδή (AOXs)

Η τελευταία κατηγορία οργανικών ρύπων είναι τα AOXs (Adsorbable Organic Halides), δηλαδή στοιχεία της οικογένειας των αλογόνων που παρουσιάζουν υψηλούς βαθμούς αντίδρασης: φθόριο, βρώμιο, χλώριο και ιώδιο. Αυτά τα στοιχεία αντιδρούν εύκολα με οργανικές ουσίες, επιτρέποντάς τους έτσι να εισέλθουν στο περιβάλλον και την τροφική αλυσίδα.

Το ανησυχητικό σχετικά με την παρουσία των AOX στο περιβάλλον είναι ότι πολλές οργανοχλωριούχες ενώσεις έχουν τοξικές επιδράσεις. Αυτές οι ενώσεις συνδέονται με προβλήματα υγείας όπως ο καρκίνος, γενετικές ανωμαλίες και ατέλειες, χαμηλά επίπεδα σπέρματος και υπολειμματική εμβρυακή ανάπτυξη (Brotten and Ritchlin, 1999).

2.6 Υφιστάμενα όρια σχετικά με την απόρριψη ή χρήση σε εδάφη και ύδατα

Εδώ παρουσιάζονται τα όρια εκείνα που δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν οι συγκεντρώσεις των μετρούμενων ανόργανων ρύπων και βαρέων μετάλλων στα εξεταζόμενα δείγματα, ούτως ώστε να είναι ασφαλής η όποια απόρριψη ή διάθεσή

τους στο περιβάλλον ή η όποια χρήση τους σε καλλιέργειες (για την περίπτωση του compost).

Προτού όμως, γίνει αναφορά στα υπάρχοντα όρια, πρέπει να αναφερθεί πως σχετικά με τα νιτρικά και τα αμμωνιακά ιόντα οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν το νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) και το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$). Αυτό σημαίνει ουσιαστικά πως υπάρχει μία αναλογία των ορίων ανάμεσα στο νιτρικό άζωτο και τα νιτρικά ιόντα και στο αμμωνιακό άζωτο και τα αμμωνιακά ιόντα, αντίστοιχα. Έτσι, στους παρακάτω πίνακες ως πρώτη τιμή θα αναφέρεται αυτή που αντιστοιχεί στο νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο και σαν δεύτερη αυτή που αναλογεί στα νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα, αντίστοιχα.

2.6.1 Υπολειμματική τέφρα

Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα ισχύοντα όρια σχετικά με την διάθεση/απόρριψη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων όπως είναι η υπολειμματική τέφρα. Τα όρια αυτά ελήφθησαν από: α) την Οδηγία 2003/33 της Ε.Ε., β) όρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού (Guidelines for drinking water quality, 1996 ; WHO Standards, 1993) και γ) την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (EPA).

Σημειώνεται πως οι τιμές που αναφέρονται στα όρια των ανόργανων ρύπων, για την περίπτωση των εδαφών, πλην των χλωριούχων και των θειικών ιόντων, έχουν βρεθεί από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές καθότι δεν ήταν δυνατή η εύρεση κάποιας Οδηγίας ή άλλου εγγράφου στο οποίο να αναφέρονταν τα εν λόγω όρια.

Επίσης, όσον αφορά τα όρια σχετικά με τον ολικό φωσφόρο, πρέπει να σημειωθεί πως αφορούν ρεύματα που καταλήγουν άμεσα σε λίμνες ή ταμιευτήρες νερού (1^η τιμή) και ρεύματα που δεν καταλήγουν άμεσα σε λίμνες ή ταμιευτήρες νερού (2^η τιμή). Οι τιμές αυτές δεν αποτελούν θεσπιζόμενα όρια αλλά προτεινόμενες τιμές για τον έλεγχο του ευτροφισμού.

Πίνακας 2.1: Όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων σχετικά με τους ανόργανους ρύπους

ΟΡΙΑ (mg/lit)	ΡΥΠΟΙ					
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	ΣN	SO_4^{2-}	ΣP	Cl^-
Εδάφη	~ 500	~ 500 mg/kg	~ 500 mg/kg	***	---	***
Πόσιμο νερό	0.39/0.5	11.5/50	50	250	0.05/0.1	250

Στον Πίνακα 2.2 παρακάτω, αναφέρονται τα όρια διάθεσης των εκχυλισμάτων επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό (L/S) ίσο με 2 και 10 lt/kg αντίστοιχα, ενώ στον Πίνακα 2.3 τα όρια σχετικά με την παρουσία των βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό. Τα όρια των παρακάτω Πινάκων βασίζονται στην Απόφαση της Επιτροπής της Ε.Ε. της 19^{ης} Δεκεμβρίου 2002 για τον καθορισμό κριτηρίων για την αποδοχή αποβλήτων σε ΧΥΤΑ σε συμφωνία με το άρθρο 16 και το Παράρτημα II της Οδηγίας 1999/31 της Ε.Ε. και των ορίων για την ποιότητα του πόσιμου νερού (Guidelines for drinking water quality, WHO, 1996).

Πίνακας 2.2: Όρια διάθεσης επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (ppm)	ΡΥΠΟΙ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
L/S = 2 lt/kg	20	25	90	50	3
L/S = 10 lt/kg	40	50	200	100	5

Πίνακας 2.3: Θεσπιζόμενα όρια σχετικά με την παρουσία βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό

ΟΡΙΑ (mg/lt)	ΡΥΠΟΙ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
	0.02	0.1	3	2	0.003

2.6.2 Στερεά απόβλητα σε ΧΑΔΑ

Στους Πίνακες 2.4 έως 2.6 που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα ισχύοντα όρια για την διάθεση/απόρριψη των στερεών αποβλήτων. Λόγω της κατηγοριοποίησης των αποβλήτων σε αδρανή, μη επικίνδυνα και επικίνδυνα και του γεγονότος πως σε έναν ΧΑΔΑ απορρίπτονται όλα τα είδη αυτών, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα όρια, σχετικά με τα εκχυλίσματά τους, για κάθε μία από τις προαναφερόμενες κατηγορίες και για λόγο υγρό προς στερεό (L/S) ίσο με 2 και 10 lt/kg αντίστοιχα. Τα προαναφερθέντα όρια ελήφθησαν όπως αυτά της προηγούμενης παραγράφου.

Πίνακας 2.4: Όρια διάθεσης αδρανών στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (ppm)	ΡΥΠΟΙ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
L/S = 2 lt/kg	0.2	0.2	2	0.4	0.03
L/S = 10 lt/kg	0.4	0.5	4	2	0.04

Πίνακας 2.5: Όρια διάθεσης μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (ppm)	ΡΥΠΟΙ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
L/S = 2 lt/kg	5	5	25	25	0.6
L/S = 10 lt/kg	10	10	50	50	1

Πίνακας 2.6: Όρια διάθεσης επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 2 και 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (ppm)	ΡΥΠΟΙ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
L/S = 2 lt/kg	20	25	90	50	3
L/S = 10 lt/kg	40	50	200	100	5

Ακολουθεί ο Πίνακας 2.7 σχετικά με τα όρια που αφορούν τους ανόργανους ρυπαντές. Τα όρια σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.7: Όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων σχετικά με τους ανόργανους ρύπους

ΟΡΙΑ (mg/lt)	ΡΥΠΟΙ					
	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N	ΣN	SO ₄ ⁻²	ΣΡ	Cl ⁻
Εδάφη	~ 500	~ 500 mg/kg	~ 500 mg/kg	***	---	***
Πόσιμο νερό	0.39/0.5	11.5/50	50	250	0.05/0.1	250

***Τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 2.8:

Πίνακας 2.8: Όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 και 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	560	550
L/S = 10 lt/kg	1000	800
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	10000	10000
L/S = 10 lt/kg	20000	15000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	25000	17000
L/S = 10 lt/kg	50000	25000

Σημειώνεται πως η αναφορά σε όρια που αντιστοιχούν σε λόγο $L/S = 2 \text{ lt/kg}$, ενώ κατά την μέθοδο DIN 19730 ο λόγος είναι 3,3, γίνεται διότι οι δύο τιμές βρίσκονται πάρα πολύ κοντά, επομένως θεωρείται εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων, παρακάτω, με αυτά τα όρια.

2.6.3 Ώριμο compost προερχόμενο από (ΑΣΑ)

Σε αυτή την παράγραφο ο Πίνακας 2.9 παρουσιάζει τα όρια σχετικά με την εφαρμογή/χρήση του compost για τα βαρέα μέταλλα και τους ανόργανους ρύπους. Τα όρια αυτά βασίζονται στην Απόφαση της Επιτροπής της Ε.Ε. περί καθορισμού οικολογικών κριτηρίων για την απονομή του κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους και καλλιεργητικά μέσα (2001/688/EC).

Πίνακας 2.9: Όρια βαρέων μετάλλων για χρήση του compost (2001/688/EC)

ΟΡΙΑ (ppm)	ΡΥΠΟΙ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
	50	100	300	100	1

Ακολουθούν στον Πίνακα 2.10 οι τυπικές τιμές των ανόργανων ρύπων που δεν θα πρέπει να υπερβαίνονται στην περίπτωση εδαφικής χρήσης του compost. Σημειώνεται, πως οι τιμές του παρακάτω Πίνακα έχουν προκύψει από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές καθότι δεν ήταν δυνατή η εύρεση κάποιας Οδηγίας ή άλλου εγγράφου στο οποίο να αναφέρονταν τα εν λόγω όρια.

Πίνακας 2.10: Τυπικές τιμές ανόργανων ρύπων που δεν πρέπει να υπερβαίνονται για χρήση του compost

ΟΡΙΑ	ΡΥΠΟΙ					
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	ΣN	SO_4^{2-}	ΣP	Cl^-
	< 300 mg/kg ή ίχνη	250 – 350 ppm	100 – 300 mg/kg	---	< 800 mg/lt	50 – 2000 mg/lt

3. ΕΚΧΥΛΙΣΗ

3.1 Εισαγωγή

Όταν πολλά στερεά υλικά έρχονται σε επαφή με ένα υγρό (που ονομάζεται εκχυλιστής), διαλύονται σε κάποιο βαθμό. Στο παραγόμενο υγρό, που λέγεται εκχύλισμα, κυριαρχεί ο βαθμός αυτής της διάλυσης, με το οποίο είναι σε επαφή τα στερεά. Η εκχύλιση μπορεί να εμφανιστεί στο πεδίο, σε υπολείμματα που βρίσκονται σε σωρούς, σε χώρους υγειονομικής ταφής ή στο εργαστήριο κατά τη διάρκεια πειραμάτων διαλείποντος έργου (batch) ή πειραμάτων με στήλες για την πραγματοποίηση πειραμάτων εκχύλισης.

Ο βαθμός της διάλυσης των ξεχωριστών συστατικών στο υγρό με το οποίο έρχονται σε επαφή, οδηγεί σε ένα εκχύλισμα (προϊόν διήθησης) ή στη σύσταση ενός αποστάγματος που είναι ξεχωριστής σημασίας για διάφορους λόγους. Τα πειράματα εκχύλισης/απόσταξης σχεδιάζονται συχνά για να αντικατοπτρίσουν την κατάσταση έκθεσης στο πεδίο. Υπάρχει ένας αριθμός παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν τον βαθμό στον οποίο διαλύονται τα συστατικά από τη δομή του υλικού. Αυτοί διακρίνονται σε φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες. Οι τελευταίοι μπορούν γενικά να μεταφραστούν σε χημικούς παράγοντες όπως η επίδραση του pH, η παραγωγή διαλυμένου υλικού ή η ανάπτυξη αναγωγικών συνθηκών (Van der Sloot et al., 1997).

3.1.1 Φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εκχύλιση

Τυπικοί φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εκχύλιση είναι:

- A. Το μέγεθος των σωματιδίων, καθώς η εκχύλιση συνδέεται εν μέρει με την επιφάνεια που εκτίθεται στον εκχυλιστή
- B. Η ομοιογένεια ή ετερογένεια της δομής του στερεού με την έννοια των ορυκτών φάσεων
- C. Το χρονικό πλαίσιο εκχύλισης
- D. Ο βαθμός ροής του εκχυλιστή
- E. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της εκχύλισης
- F. Το πορώδες της δομής του στερεού
- G. Το γεωμετρικό σχήμα και μέγεθος των υλικών από τα οποία ελέγχεται η εκχύλιση (και κυρίως από τις διαδικασίες διάχυσης)

- H. Η διαπερατότητα της δομής του στερεού κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ή κάτω από συνθήκες πεδίου
- I. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες

3.1.2 Χημικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εκχύλιση

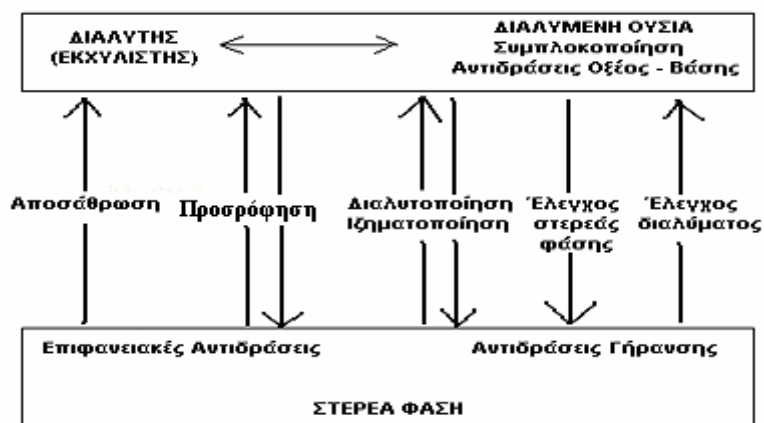
Τυπικοί χημικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εκχύλιση είναι:

- A. Η ισορροπία ή ο κινητικός έλεγχος της απελευθέρωσης
- B. Το δυναμικό εκχυλισιμότητας των συστατικών
- C. Το pH του υλικού ή αυτού που επιβάλλεται από το περιβάλλον (π.χ. η επίδραση του CO₂)
- D. Η συμπλοκοποίηση με οργανικές ή ανόργανες ενώσεις
- E. Η οξειδοαναγωγική κατάσταση του υλικού ή αυτής που επιβάλλεται από το περιβάλλον
- F. Οι διαδικασίες προσρόφησης
- G. Οι βιολογικά παραγόμενοι παράγοντες που είναι ικανοί να επηρεάσουν το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής και την συμπλοκοποίηση με το οργανικό υλικό.

(Van der Sloot et al., 1997)

3.2 Η θεωρία του συστήματος εκχύλισης

Η εκχύλιση μπορεί ευρέως να καθοριστεί ως η κινητοποίηση, απόσταξη ή πλύση διαλυτών συστατικών από μία στερεά φάση σε επαφή με ένα διαλύτη. Για να περιγραφεί το φαινόμενο της εκχύλισης κατάλληλα, είναι απαραίτητο να καθοριστεί το σύστημα και να παρασχεθεί ονοματολογία. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.1 (Van der Sloot et al., 1997), το υπόλειμμα αποτελεί την στερεά φάση. Η εκχύλιση της στερεάς φάσης από έναν διαλύτη (ή εκχυλιστή) προκαλεί τη διάλυση των συνιστωσών της στερεάς φάσης μέσα στο διαλύτη. Το σύστημα διαλύτη - διαλυμένης ουσίας, περιγράφεται αρχικά από τα χαρακτηριστικά του εκχυλιστή, κυριαρχείται έπειτα περισσότερο από την διαλυμένη ουσία και τέλος παίρνει τα χαρακτηριστικά του εκχυλίσματος.



Διάγραμμα 3.1: Το σύστημα εκχύλισης

3.3 Χημική αποσάθρωση και γήρανση

Η χημική αποσάθρωση μπορεί να καθοριστεί ως η διάλυση των σχετικά αδιάλυτων ουσιών λόγω της κίνησης του νερού και των διαλυμένων, σε αυτό, ουσιών. Εδώ κυριαρχούν τρία πεδία. Το πρώτο είναι το πεδίο ελέγχου της μεταφοράς, όπου η διάλυση είναι τόσο γρήγορη, που η ικανότητα του διαλύτη να διαχέεται μέσω των κενών της επιφάνειας του ορυκτού ή έξω από το οριακό στρώμα της διάχυσης την περιορίζει. Το δεύτερο είναι το πεδίο ελέγχου των επιφανειακών αντιδράσεων, όπου η κινητική της διάλυσης είναι τόσο αργή, συγκρινόμενη με την μεταφορά μέσω της διάχυσης, που ελέγχει το βαθμό των αντιδράσεων αυτών. Το τρίτο πεδίο αποτελεί ένα συνδυασμό των δυο προηγούμενων.

Όσον αφορά την γήρανση, υπάρχουν τουλάχιστον έξι διαδικασίες που μπορεί να εμφανιστούν κατά τις αντιδράσεις της:

1. η οξείδωση των στοιχειακών μετάλλων σε οξείδια,
2. η υδρόλυση των οξειδίων και η απελευθέρωση της θερμότητας των εξώθερμων αντιδράσεων,
3. η λήψη του διοξειδίου του άνθρακα και ο συνεπακόλουθος σχηματισμός ορυκτών που περιέχουν άνθρακα,
4. η οξείδωση των στοιχειακών μετάλλων από το δυναμικό οξειδοαναγωγής και η αναγωγή του νερού σε αέριο υδρογόνο,
5. ο σχηματισμός συγκεκριμένων ορυκτών φάσεων σε υπολειμματικές τέφρες που δρουν σαν ποζολάνες για την συσσώρευση σωματιδίων και την ανάπτυξη ισχύος και
6. ο σχηματισμός αργιλόμορφων φάσεων στα υπολείμματα

3.4 Προσρόφηση

Η στερεά φάση του συστήματος εκχύλισης του υλικού μπορεί να παίξει, επίσης, σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της εμφάνισης και εξαφάνισης των διαλυμένων ουσιών στο εκχυλιζόμενο διάλυμα μέσω της διαδικασίας της προσρόφησης/εκρόφησης. Όπως η καθίζηση/διάλυση και η συμπλοκοποίηση της διαλυτής φάσης, έτσι και η απορρόφηση είναι συνήθως μία αντίδραση ισορροπίας. Για την ολοκληρωμένη εφαρμογή της εκχύλισης, θα πρέπει να ερμηνευθούν πολλά δεδομένα από το πεδίο και το εργαστήριο, με την προσρόφηση να είναι μία διαδικασία ισορροπίας που πρέπει να λυθεί ταυτόχρονα με άλλες εκφράσεις ισορροπίας.

3.5 Μοντελοποίηση εκχύλισης

Ο απώτερος στόχος για την επιλογή ενός κατάλληλου πειράματος εκχύλισης ή την αξιολόγηση των δεδομένων εκχύλισης του πεδίου είναι η ικανότητα ερμηνείας της παρατηρούμενης συμπεριφοράς εκχύλισης. Με την κατανόηση της συμπεριφοράς αυτής στο πεδίο, μπορούν να γίνουν προβλέψεις και μοντελοποίηση σχετικά με το πώς αλλάζει αυτή η συμπεριφορά στο χρόνο και κάτω από διάφορα σενάρια. Αυτό, εν τέλει, παρέχει στον ερευνητή την ικανότητα να αναπτύξει επιλογές διαχείρισης βασισόμενες στην προβλεπόμενη συμπεριφορά εκχύλισης.

Στην μοντελοποίηση της εκχύλισης χρησιμοποιούνται δύο κύριες προσεγγίσεις. Η μία εμπλέκει την χρήση προγραμμάτων που χρησιμοποιούν μία επαναληπτική τεχνική για ταυτόχρονη λύση των εκφράσεων ισορροπίας και των ισοζυγίων μάζας. Τέτοια θερμοδυναμικά μοντέλα ισορροπίας βασίζονται στην υπόθεση ότι η ισορροπία θα εμφανιστεί μεταξύ της στερεάς φάσης και του υγρού. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πρόβλεψη του τρόπου με τον οποίο η αλλαγή στο pH του συστήματος, στο δυναμικό οξειδοαναγωγής, στην συμπλοκοποίηση της διαλυτής φάσης και στην προσρόφηση μπορούν να ελέγξουν την ισορροπία του συστήματος.

Η δεύτερη προσέγγιση συνδέει το φαινόμενο της ισορροπίας της πρώτης προσέγγισης με συμμεταφορά μάζας, μέσω του υλικού που χρησιμοποιείται για εκχύλιση. Τέτοια μοντέλα περιλαμβάνουν συνήθως τους μηχανισμούς μεταφοράς της μάζας και της διάλυσης/συν-καθίζησης. Η πολυσύνθετη αυτή προσέγγιση είναι χρήσιμη, ειδικά στην πρόβλεψη μακροχρόνιων συμπεριφορών εκχύλισης.

Προεξοφλείται ότι τα μοντέλα θερμοδυναμικής ισορροπίας και πολυσύνθετης συμμεταφοράς ενσωματώνονται με τα μοντέλα τύχης και μεταφοράς, ούτως ώστε να

παρέχουν μεγαλύτερη κλίμακα δυνατοτήτων μοντελοποίησης για τις περιοχές χρησιμοποίησης/εκμετάλλευσης, αποθήκευσης ή απόρριψης του υλικού.

3.6 Θεωρητικό υπόβαθρο πειραμάτων εκχύλισης

Σε γενικές γραμμές, ένα πείραμα εκχύλισης περιλαμβάνει την επαφή ενός στερεού υλικού με ένα εκχυλιστή για τον καθορισμό των συστατικών του υλικού που θα διαλυθούν στον εκχυλιστή και θα δημιουργήσουν ένα εκχυλιζόμενο διάλυμα (ή εκχύλισμα). Για την διερεύνηση των διαφόρων διαδικασιών που κυβερνούν το βαθμό και το εύρος της εκχύλισης, μπορούν να εισαχθούν ατελείωτες μεταβολές, αλλάζοντας τις μεταβλητές του πειράματος, όπως την σύσταση του εκχυλιστή, την μέθοδο επαφής, το λόγο L/S (υγρού/στερεού), τον χρόνο επαφής και τον έλεγχο του συστήματος [pH, pE (ή E_h), θερμοκρασία]. Τα πειράματα εκχύλισης έχουν ένα μεγάλο εύρος αντικειμενικών σκοπών, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω.

Τα πειράματα εκχύλισης χρησιμοποιούνται τυπικά για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την συγκέντρωση μίας συνιστώσας ή την απελευθέρωσή της από ένα υλικό κάτω από αναφερόμενες πειραματικές συνθήκες ή κάτω από συνθήκες που προσεγγίζουν περισσότερο τον πραγματικό χώρο απόρριψης/διάθεσης.

3.7 Παράμετροι πειραμάτων εκχύλισης

Υπάρχουν αρκετές πειραματικές παράμετροι που είναι κοινές σε όλα τα πειράματα εκχύλισης και στα δυναμικά. Αυτές οι παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν σχεδιάζεται ένα πείραμα εκχύλισης για συγκεκριμένους σκοπούς. Εδώ αναφέρονται οι σημαντικότερες από αυτές.

3.7.1 Προετοιμασία δείγματος

Ανάλογα με την φύση του αποβλήτου και του πειράματος που πρόκειται να πραγματοποιηθεί, το δείγμα ενδέχεται να απαιτεί ένα από τα παρακάτω προπαρασκευαστικά στάδια:

- Διαχωρισμό υγρού/στερεού
- Διαίρεση των δειγμάτων σε κλάσματα
- Μείωση μεγέθους σωματιδίων
- Πλύση επιφάνειας
- Συμπίεση
- Συντήρηση

- ο Φροντίδα
- ο Γήρανση

3.7.2 Σύσταση εκχυλιστή

Η απελευθέρωση ρύπων από ένα στερεό σε οποιοδήποτε πείραμα εκχύλισης μπορεί να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την αρχική σύσταση του εκχυλιστή, ειδικά σε υψηλούς λόγους L/S ή από τη χρήση ενός επιθετικού διαλύματος. Οι χημικές ιδιότητες ενός εκχυλιστή που επηρεάζουν την κινητικότητα ενός ρύπου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 (H.A. van der Sloot et al., 1997).

3.7.3 Μέθοδος επαφής

Από τη στιγμή που ένα πείραμα εκχύλισης είναι πρωταρχικώς ένα σύστημα για τη μελέτη της μεταφοράς των ρύπων από ένα στερεό σε ένα υγρό, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψιν οι προεκτάσεις των συνθηκών του πειράματος που προάγουν την μεταφορά της μάζας, όπως η ανάδευση, καθώς και της επίδρασης της ανταλλαγής μάζας με άλλα συστατικά του συστήματος και πρώτα από όλα του δοχείου εκχύλισης και της ατμόσφαιρας.

Πίνακας 3.1: Σημαντικοί παράγοντες σχετικά με τη σύσταση του εκχυλιστή

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΕΠΗΡΕΑΖΟΜΕΝΟΣ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ
pH	Διαλυτοποίηση/Ψηματοποίηση Διαφοροποίηση Προσρόφηση/Εκρόφηση	μετάλλων ανόργανων ειδών
Δυναμικό οξειδοαναγωγής	Οξειδοαναγωγή	ανόργανων ειδών
Ιοντική ισχύ	Ιονανταλλαγή διαφοροποίησης διαλυτοποίησης	μετάλλων, και χημεία προϊόντα
Παράγοντες χηλικής συμπλοκοποίησης	Μεταλλική διαλυτότητα	
Ικανότητα ουδετεροποίησης	Όλες οι παραπάνω ιδιότητες	

3.7.4 Λόγος L/S (υγρό/στερεό)

Ο λόγος L/S είναι ο λόγος της ποσότητας του εκχυλιστή που βρίσκεται σε επαφή με το υπόλειμμα προς την ποσότητα του στερεού που εκχυλίζεται. Παρόλο που αυτός ο ορισμός είναι εμφανής με την πρώτη ματιά, μπορεί να προκαλέσει σύγχυση λόγω των πολλών τρόπων με τους οποίους καθορίζονται οι δύο μεταβλητές στον λόγο. Ο λόγος L/S εκφράζεται ως:

- Ο όγκος του εκχυλιστή προς τη μάζα του στερεού

- Η μάζα του εκχυλιστή προς τη μάζα του στερεού και
- Ο όγκος του εκχυλιστή προς την επιφάνεια του στερεού (για μονολιθικά υλικά)

3.7.5 Χρόνος επαφής

Ο συνολικός χρόνος που βρίσκεται σε επαφή ένας εκχυλιστής με ένα στερεό δείγμα προτού επιτευχθεί ισορροπία, επηρεάζει την ποσότητα του απελευθερωμένου ρύπου. Στα πειράματα εκχύλισης, ο χρόνος επαφής είναι ίσος με την διάρκεια του πειράματος, ενώ στα δυναμικά πειράματα εξαρτάται από το βαθμό ροής ή τον αριθμό των αραιώσεων, συναρτήσει της διάρκειας του πειράματος.

3.7.6 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει τα αποτελέσματα τόσο στα πειράματα εκχύλισης όσο και στα δυναμικά. Τόσο η σχέση του van't Hoff, που εφαρμόζεται σε σταθερές θερμοδυναμικής ισορροπίας και σε προϊόντα διαλυτότητας, όσο και η σχέση του Arrhenius, που εφαρμόζεται σε διαδικασίες κινητικής, όπως η προσρόφηση και η διάχυση, υποδεικνύουν ότι οι ιδιότητες ή οι μηχανισμοί που είναι σχετικοί με την εκχύλιση μεταβάλλονται εκθετικά με την θερμοκρασία.

3.7.7 Διαχωρισμός του εκχυλίσματος

Τα εκχυλίσματα διαχωρίζονται συνήθως από αναδεδυόμενα, μη μονολιθικά απόβλητα με φίλτρανση (διήθηση) χρησιμοποιώντας ένα μεμβρανόφιλτρο (φίλτρο που έχει και το ρόλο μεμβράνης) με διάμετρο πόρων 0,45 μm , κάτι που αποτελεί μία σύμβαση για τον καθορισμό των διαλυτών ειδών. Παρόλα αυτά, πολύ μικρά κολλοειδή σωματίδια μπορεί να περάσουν μέσα από το φίλτρο αυτό, οπότε σε μία τέτοια περίπτωση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μικρότερο φίλτρο (0,2 μm) για την απομάκρυνση αυτών των σωματιδίων. Η χρήση μικρότερου φίλτρου θα πρέπει να αναφέρεται στα δεδομένα της αναφοράς.

3.7.8 Διαλυτότητα και απελευθέρωση των στοιχείων

Η μέτρηση της διαλυτότητας απαιτεί ότι θα υπάρχει αρκετός χρόνος επαφής για την διάλυση και για τις στερεές φάσεις να προσεγγίσουν την ισορροπία. Το πιο κοινό χρονικό κλάσμα που χρησιμοποιείται στα εργαστηριακά πειράματα είναι 18 μέχρι 24 ώρες. Οι μελέτες εκχύλισης που εξαρτώνται από το χρόνο έχουν δείξει ότι η

ισορροπία προσεγγίζεται στις περισσότερες συνιστώσες μετά από περίπου 24 ώρες για ένα μέγεθος σωματιδίου μικρότερο από 3 mm.

3.7.9 Βαθμοί απελευθέρωσης των στοιχείων

Η παρατηρούμενη απελευθέρωση ενός συγκεκριμένου στοιχείου μετά από ένα χρονικό διάστημα είναι αποτέλεσμα της διαθεσιμότητάς του, της διαλυτότητας και του βαθμού μεταφοράς της μάζας από τη στερεά στην υγρή φάση. Ο βαθμός της μεταφοράς της μάζας μεταξύ των φάσεων είναι αρκετά συχνά ελεγχόμενος από την διάχυση μέσω της πορώδους στερεάς φάσης, των γεωμετρικών διαστάσεων αυτής και του τρόπου επαφής στερεού υγρού.

3.8 Ταξινόμηση των πειραμάτων εκχύλισης

Τα πειράματα εκχύλισης έχουν χωριστεί σε δύο ευρείες κατηγορίες, βασιζόμενες στην ανανέωση ή μη του εκχυλιστή:

1. πειράματα εκχύλισης χωρίς ανανέωση του εκχυλιστή και
2. δυναμικά πειράματα με ανανέωση

Η θεωρία της ανανέωσης βασίζεται στην τροποποίηση του συστήματος εκχύλισης για την προώθηση του ελέγχου της εκχύλισης παρά τον έλεγχο της στερεάς φάσης. Στον παρακάτω Πίνακα 3.2 (Van der Sloot, 1997), παρουσιάζονται οι στόχοι που επιτυγχάνονται με την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων εκχύλισης, εξηγώντας παράλληλα το τι επιδιώκεται να φανεί με την επίτευξη του κάθε στόχου.

3.8.1 Πειράματα εκχύλισης χωρίς ανανέωση του εκχυλιστή

Τα πειράματα εκχύλισης περιλαμβάνουν όλα τα πειράματα στα οποία μία συγκεκριμένη ποσότητα του εκχυλιστή έρχεται σε επαφή με μία συγκεκριμένη ποσότητα του στερεού για ένα συγκεκριμένο χρονικό εύρος, χωρίς ανανέωση του εκχυλιστή. Ο εκχυλιστής διαχωρίζεται από την στερεά φάση και αναλύεται είτε σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπως γίνεται στα περισσότερα από αυτά τα πειράματα, είτε στο τέλος του πειράματος. Η ανάλυση των εκχυλισμάτων που γίνεται σε διάφορες χρονικές στιγμές μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό της κινητικής της διαδικασίας εκχύλισης ή στο κατά πόσο έχει επιτευχθεί η ισορροπία.

Το σημαντικό σε αυτού του τύπου τα πειράματα είναι ότι μία κατάσταση ισορροπίας επιτυγχάνεται με το τέλος του πειράματος εκχύλισης (π.χ. όταν οι

συγκεντρώσεις των διαλυμένων ουσιών στο εκχύλισμα σταθεροποιηθούν). Τα πειράματα εκχύλισης μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε τέσσερις υποκατηγορίες:

- πειράματα εκχύλισης με ανάδευση
- πειράματα εκχύλισης χωρίς ανάδευση
- πειράματα διαδοχικών χημικών εκχυλίσεων και,
- πειράματα σταδιακής αύξησης της συγκέντρωσης

3.8.1.1 Πειράματα εκχύλισης με ανάδευση

Τα πειράματα αυτά πραγματοποιούνται για την επίτευξη σταθερών συνθηκών όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Μετράνε τις χημικές ιδιότητες ενός συστήματος στερεού – εκχυλιστή, το οποίο αντιτίθεται στους περιοριστικούς μηχανισμούς μεταφοράς μάζας. Η ανάδευση εξασφαλίζει μία ομοιογενή ανάμιξη, παρέχει επαφή μεταξύ του στερεού και του εκχυλιστή και μειώνει το πάχος του οριακού στρώματος.

Πίνακας 3.2: Στόχοι μεθόδων εκχύλισης

ΣΤΟΧΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Αναγνώριση των εκχυλίσμων συστατικών	Καθορισμός των συστατικών του αποβλήτου που υπόκεινται σε διάλυση μετά από επαφή με κάποιο υγρό
Κατηγοριοποίηση των επικίνδυνων αποβλήτων	Σύγκριση αποβλήτων σε σχέση με την απόδοσή τους για την κατηγοριοποίησή τους σε ακίνδυνα ή επικίνδυνα
Αξιολόγηση των τροποποιήσεων στη διαδικασία	Καθορισμός της κατάληξης των τροποποιήσεων σε μία διαδικασία παραγωγής αποβλήτων σε ένα, λιγότερο ή μη, εκχυλίσμο απόβλητο
Σύγκριση των μεθόδων επεξεργασίας των αποβλήτων	Καθορισμός εάν μία δοσμένη μέθοδος / διαδικασία επεξεργασίας αποβλήτου καταλήγει σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ρύπους
Ποιοτικός έλεγχος της επεξεργασίας των αποβλήτων	Επαλήθευση της απόδοσης μίας διαδικασίας επεξεργασίας χρησιμοποιώντας ένα απλό κριτήριο επιτυχίας-αποτυχίας
Σχεδιασμός των συστημάτων επεξεργασίας των εκχυλισμάτων	Απόκτηση ενός τυπικού εκχυλίσματος για την πραγματοποίηση πειραμάτων επεξεργασίας
Υπολογισμοί συγκεντρώσεων στο πεδίο	Χρονική αναπαράσταση εκχύλισης (π.χ. χρήση αυτής ως πηγή για την μοντελοποίηση των υπογείων υδάτων)
Ποσοτικοποίηση παραμέτρων για μοντελοποίηση	Ποσοτικοποίηση συντελεστών διαμερισματοποίησης και κινητικών παραμέτρων για χρήση στην μοντελοποίηση της μεταφοράς
Ανάλυση επικινδυνότητας	Υπολογισμός των επιπτώσεων απόρριψης επικίνδυνων αποβλήτων στο περιβάλλον

3.8.1.2 Πειράματα εκχύλισης χωρίς ανάδευση

Ένα τέτοιο πείραμα πραγματοποιείται για τη μελέτη των φυσικών μηχανισμών που περιορίζουν την εκχύλιση. Αυτό που έχει σημασία σε ένα τέτοιο πείραμα είναι ότι η φυσική ακεραιότητα της μήτρας του στερεού και οι περιορισμοί της συμμεταφοράς

της μάζας (και τα δύο εσωτερικά του δείγματος και εξωτερικά του οριακού στρώματος) επηρεάζουν την ποσότητα των ρύπων που εκχυλίζονται κατά τη διάρκεια του πειράματος.

3.8.1.3 Πειράματα διαδοχικών χημικών εκχυλίσεων

Ένα τέτοιο πείραμα προκύπτει από πειράματα χωρίς ανάδευση σε σειρά. Εμπλέκει την πραγματοποίηση διαδοχικών αραιώσεων τμημάτων ενός δείγματος με διαφορετικούς εκχυλιστές. Ένα τύπος αυτής της μεθόδου υποθέτει ότι κάθε τέτοιος εκχυλιστής εξάγει επίσης το άθροισμα των ρύπων που εξάγονται από όλους τους προηγούμενους εκχυλιστές. Ο άλλος τύπος της μεθόδου διεξάγεται υποβάλλοντας το ίδιο τμήμα του δείγματος σε κάθε εκχυλιστή.

3.8.1.4 Πειράματα σταδιακής αύξησης της συγκέντρωσης

Σε ένα τέτοιο πείραμα, επιτυγχάνεται εκχύλιση σε πολύ χαμηλό αθροιστικό λόγο L/S. Τα κλάσματα των δειγμάτων έρχονται επιτυχώς σε επαφή με τον ίδιο εκχυλιστή. Η επαφή του εκχυλίσματος με φρέσκο στερεό υλικό μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα μοντέλο για ένα στοιχειώδη όγκο του νερού που ρέει μέσω ενός μεγάλου σώματος του υπολείμματος προσεγγίζοντας επίσης τον κορεσμό σε αντιστοιχία με συγκεκριμένες ανόργανες φάσεις.

3.8.2 Δυναμικά πειράματα

Τα δυναμικά πειράματα περιλαμβάνουν όλα τα πειράματα στα οποία ο εκχυλιστής ανανεώνεται συνεχώς ή περιοδικά για την διατήρηση μία δρώσας δύναμης για την εκχύλιση, που είναι ελεγχόμενη από το διάλυμα. Τα δυναμικά πειράματα μπορεί να πραγματοποιούνται με εναλλαγή περιόδων εκχύλισης με ξηρές περιόδους για τη μελέτη των επιδράσεων των συνθηκών ξήρανσης ή ακόρεστης ροής. Τα δυναμικά πειράματα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κινητική της διάλυσης της στερεάς φάσης και της ροής του ρύπου.

Επίσης, μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε υποκατηγορίες σύμφωνα με το πώς καθορίζεται η διεπιφάνεια μεταξύ του στερεού και του εκχυλιστή. Τα πειράματα στα οποία ξεχωριστά σωματίδια στερεού χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της διεπιφάνειας ονομάζονται σειριακά πειράματα batch. Τα πειράματα στα οποία μία χαρακτηριστική διάσταση του στερεού (όπως η εξωτερική γεωμετρική επιφάνεια ή η γεωμετρική επιφάνεια που είναι κάθετη στη ροή) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό

της διεπιφάνειας, περιλαμβάνουν τα flow-around πειράματα και τα flow-through ή πειράματα στήλης.

3.8.2.1 Σειριακά πειράματα *batch*

Ένα τέτοιο πείραμα πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα κοκκώδες ή θραυσμένο δείγμα, το οποίο είναι αναμεμιγμένο με έναν εκχυλιστή σε ένα δοσμένο λόγο L/S για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Το εκχύλισμα διαχωρίζεται από τα στερεά και αντικαθίσταται με ένα νέο εκχυλιστή μέχρι να ολοκληρωθεί ο επιθυμητός αριθμός των περιόδων εκχύλισης.

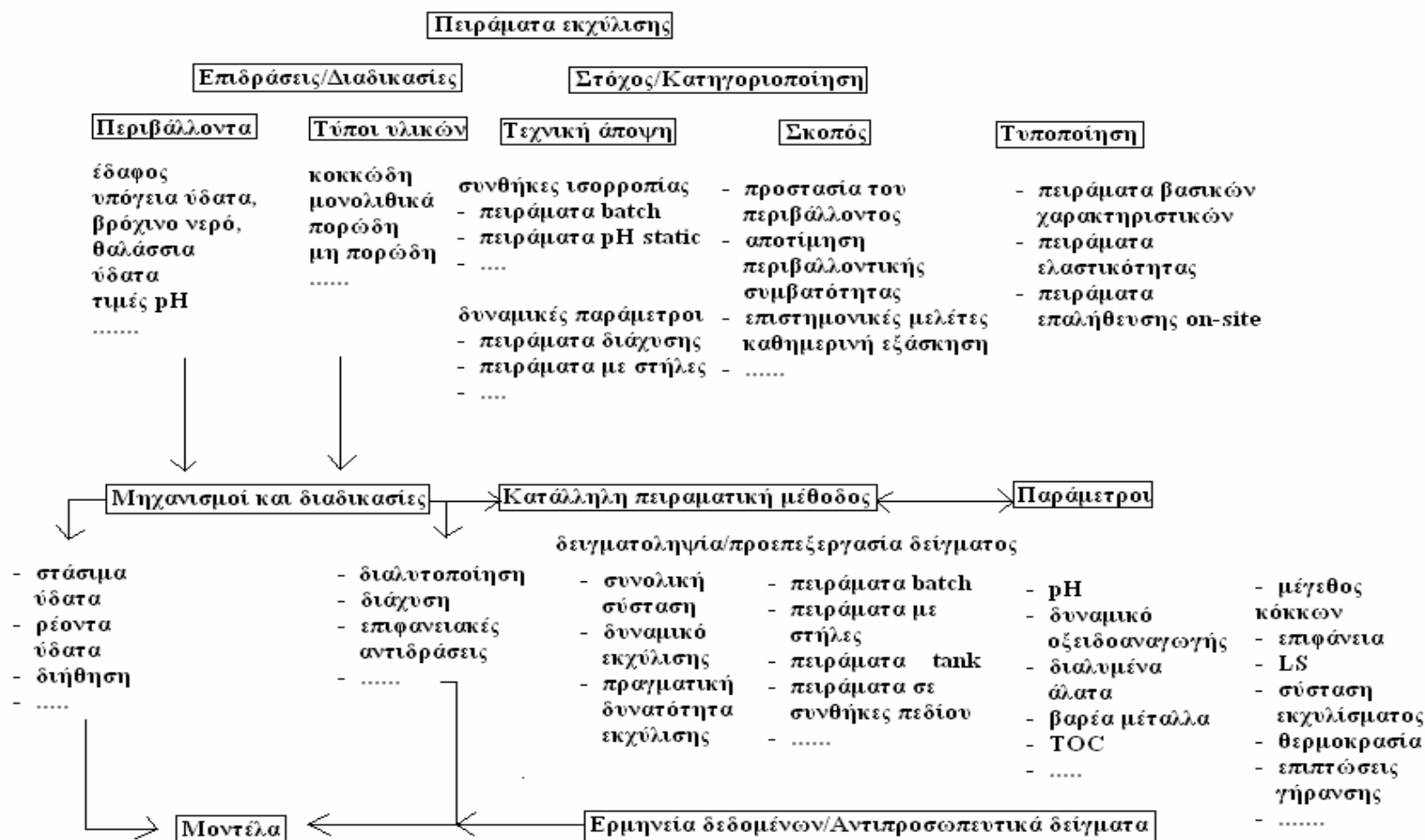
3.8.2.2 Πειράματα *flow-around*

Στα πειράματα αυτά, ένα δείγμα ή υπόλειμμα τοποθετείται σε ένα δοχείο εκχύλισης και η ροή του φρέσκου εκχυλιστή γύρω από το υπόλειμμα παρέχει την δρώσα δύναμη για την διατήρηση της εκχύλισης. Ο λόγος L/S τροποποιείται για να εκφράσει τον όγκο του εκχυλίσματος διαιρούμενου με την επιφάνεια του στερεού δείγματος.

3.8.2.3 Πειράματα *flow-through*

Σε αυτά τα πειράματα, ένας ανοικτός κλωβός συμπιέζεται μαζί με ένα πορώδες στερεό και ο εκχυλιστής περνάει μέσω αυτών, είτε συνεχόμενα είτε περιοδικά. Η εκροή ελέγχεται με δειγματοληψία περιοδικά και αναλύεται σχετικά με τις παραμέτρους που ενδιαφέρουν. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την εξέταση της απομάκρυνσης του ρύπου, στην οποία ο κυρίαρχος μηχανισμός μεταφοράς είναι η συμμεταφορά (Van der Sloot et al., 1997).

Το Διάγραμμα 3.2 (H.A. van der Sloot et al., 1997) που ακολουθεί, συνοψίζει τις διάφορες σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων σε σχέση με την εκχύλιση των υλικών:



Διάγραμμα 3.2: Σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων σε σχέση με την εκχύλιση των υλικών

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Παρουσίαση δειγμάτων

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή μελετήθηκαν τα ακόλουθα δείγματα: υπολειμματική τέφρα από κλίβανο νοσοκομειακών αποβλήτων, στερεά απόβλητα από δυο διαφορετικούς χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου και ΧΑΔΑ Κουρουπητού), και κομποστοποιημένα αστικά στερεά απορρίμματα, προερχόμενα από το Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ) του νομού Χανίων.

4.1.1 Υπολειμματική τέφρα

Το συγκεκριμένο δείγμα υπολειμματικής τέφρας έχει παρθεί από έναν κλίβανο νοσοκομειακών στερεών απορριμμάτων, κάτι που σημαίνει πως περιέχει τα υπολείμματα διαφόρων μεταλλικών και πλαστικών τμημάτων ή/και εργαλείων, όπως βελόνων, συρίγγων, μπουκαλιών (πλαστικών και μη), άχρηστων γενικότερα και μολυσματικών υλικών, που επιβάλλεται να υποστούν καύση προτού διατεθούν σε κάποιο χώρο για περαιτέρω επεξεργασία και διάθεση.

Το δείγμα έχει προκύψει έπειτα από καύση νοσοκομειακών αποβλήτων σε αποτεφρωτήρα με θερμοκρασία λειτουργίας περίπου 850 °C. Για όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν στα πλαίσια αυτής της διατριβής, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σχετικά με διάφορα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, όπως:

1. Μέτρηση του αρχικού pH του δείγματος,
2. Μέτρηση του ποσοστού οργανικού άνθρακα (OC, Organic Carbon) και,
3. Μέτρηση των αρχικών συγκεντρώσεων πέντε εξεταζόμενων βαρέων μετάλλων (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni)

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων:

Πίνακας 4.1: Τιμή pH και συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο ανεπεξέργαστο δείγμα της υπολειμματικής τέφρας

Δείγμα υπολειμματικής τέφρας	pH	Βαρέα μέταλλα				
		Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
	8.90	73.52	925	1987.1	5052.5	3.725

Από τον παραπάνω Πίνακα, διαπιστώνεται πως οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο ανεπεξέργαστο δείγμα της υπολειμματικής τέφρας είναι αρκετά υψηλές, λόγω των ειδών των νοσοκομειακών αποβλήτων που έχουν αποτεφρωθεί, αλλά και των ποσοτήτων αυτών.

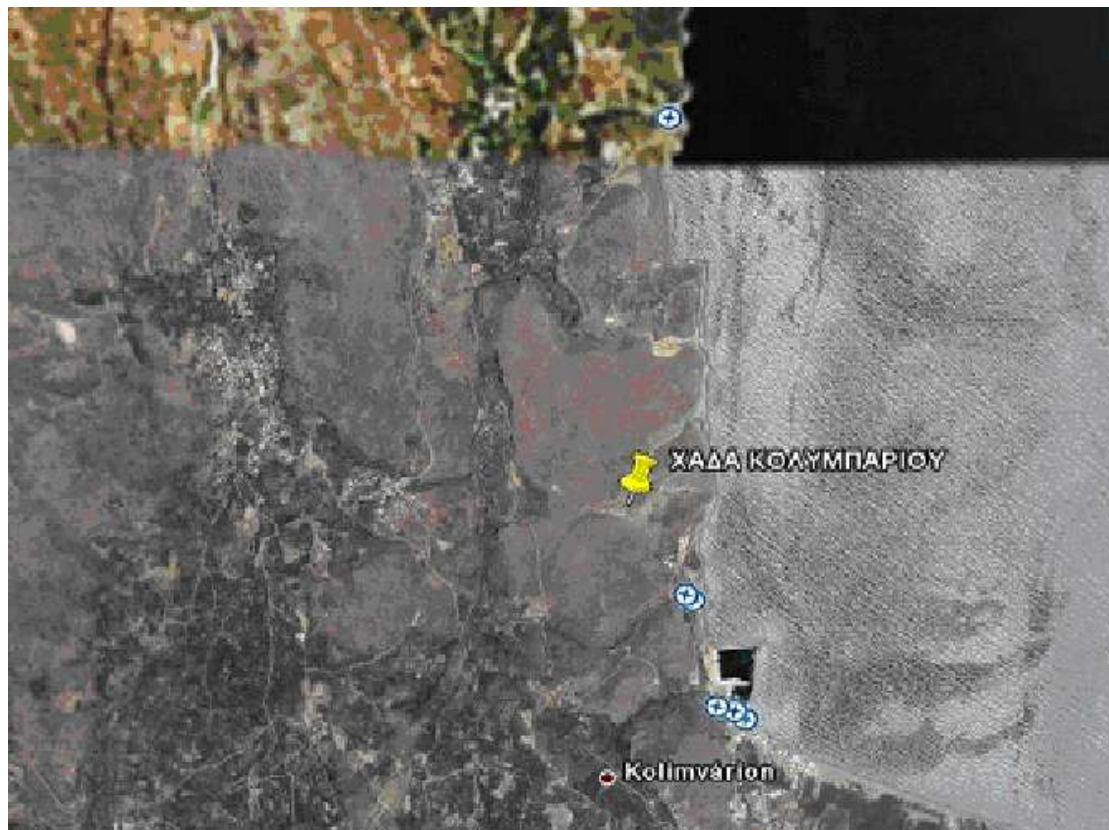
Σημειώνεται πως δεν έγινε μέτρηση του ποσοστού οργανικού άνθρακα για το συγκεκριμένο δείγμα, καθώς προέρχεται από αποτεφρωμένα υλικά και δεν υπάρχει λόγος μέτρησης του εν λόγω χαρακτηριστικού.

4.1.2 Στερεά απόβλητα από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου

Τα δείγματα που εξετάστηκαν σε αυτή την περίπτωση προήλθαν από τον ΧΑΔΑ της περιοχής Κολυμπαρίου. Ο συγκεκριμένος ΧΑΔΑ είναι ανενεργός εδώ και 5 χρόνια περίπου. Από τον συγκεκριμένο ΧΑΔΑ ελήφθησαν τρία διαφορετικά δείγματα από τρία, αντίστοιχα, διαφορετικά σημεία της περιοχής:

1. Το πρώτο προήλθε από το πρανές του ΧΑΔΑ (σημειώνεται πως στον συγκεκριμένο ΧΑΔΑ γινόταν ανεξέλεγκτη ρίψη των απορριμμάτων τα οποία έπειτα σκεπάζονταν με χώμα). Ήταν, δηλαδή, ένα στερεό δείγμα απορριμμάτων.
2. Το δεύτερο προήλθε από τη βάση του πρανούς του ΧΑΔΑ. Ήταν ένα στερεό δείγμα (ίζημα), επιβαρυμένο με στραγγίσματα που διέρχονταν από το εν λόγω σημείο.
3. Το τρίτο ήταν ένα στερεό δείγμα (ίζημα εντός ρέματος) που προήλθε από ένα σημείο, περίπου 200 m από το πρανές του ΧΑΔΑ, επιβαρυμένο με στραγγίσματα, που διέρχονταν από το συγκεκριμένο σημείο (όπως το δεύτερο δείγμα).

Στις παρακάτω Εικόνες 4.1 και 4.2 φαίνεται η θέση του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου και των σημείων δειγματοληψίας:



Εικόνα 4.1: Θέση ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου σε σχέση με τον ομώνυμο οικισμό



Εικόνα 4.2: Σημεία δειγματοληψίας στον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της παραπάνω ομάδας δειγμάτων:

Πίνακας 4.2: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου

Δείγμα	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά						
	pH	OC (%)	Βαρέα μέταλλα				
			Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές	7.90	2.28 %	68.25	25.1	53.8	25.1	1.2
Ϊζημα βάσης πρανούς	8.45	1.05 %	60.48	26.4	46.95	23.9	1.2
Ϊζημα ρέματος	8.40	1.47 %	55.13	24.9	45.9	20.85	1.4

Λόγω της απόρριψης διαφόρων ειδών στερεών αποβλήτων στον εν λόγω ΧΑΔΑ από τους κατοίκους της περιοχής ήταν φυσικό να εντοπιστούν όλα τα εξεταζόμενα βαρέα μέταλλα στα ανεπεξέργαστα δείγματα, όχι όμως σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, λόγω αυτών των ειδών (κυρίως αστικά οικιακά απορρίμματα).

4.1.3 Στερεά απόβλητα από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού

Τα εξεταζόμενα δείγματα σε αυτή την περίπτωση προήλθαν από τον ΧΑΔΑ της χαράδρας του Κουρουπητού, ο οποίος δεχόταν ανεξέλεγκτα, απορρίμματα όλων των ειδών (ζωικά, οικιακά, βιομηχανικά, νοσοκομειακά κτλ) από την δεκαετία του 1960 και που είναι πλέον ανενεργός εδώ και 10 χρόνια περίπου. Από τον συγκεκριμένο ΧΑΔΑ ελήφθησαν τέσσερα δείγματα, από τέσσερα, διαφορετικά σημεία της περιοχής:

1. Το πρώτο δείγμα προήλθε από πρανές του ΧΑΔΑ (σημειώνεται πως στον συγκεκριμένο ΧΑΔΑ γινόταν ανεξέλεγκτη ρίψη των απορριμμάτων χωρίς αυτά να σκεπάζονται με χώμα αλλά, αντιθέτως, προκαλούνταν αυτανάφλεξη αυτών, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου που παράγονταν από την αναερόβια χώνευση που λάμβανε χώρα). Ήταν, δηλαδή, ένα στερεό δείγμα απορριμμάτων.
2. Το δεύτερο, στερεό, δείγμα (ίζημα) προήλθε από τη βάση της χαράδρας του Κουρουπητού, ένα σημείο επιβαρυμένο με τα διερχόμενα (μέσω της φυσικής ροής) στραγγίσματα από τα πρανή του ΧΑΔΑ.
3. Το τρίτο δείγμα προήλθε από ένα σημείο του ΧΑΔΑ στο οποίο εκείνη τη χρονική στιγμή, λόγω των εργασιών αποκατάστασης της περιοχής, υπήρχε η δυνατότητα λήψης δείγματος με ηλικία είκοσι και πλέον ετών, δηλαδή

δείγματος που είχε υποστεί αποσάθρωση, γήρανση, καύση και βιοαποικοδόμηση.

4. Το τέταρτο, στερεό, δείγμα (ίζημα) προήλθε από την έξοδο της χαράδρας του Κουρουπητού, που καταλήγει σε μία μικρή παραλία, επιβαρυνόμενο με το σύνολο των στραγγισμάτων του ΧΑΔΑ (μέσω της φυσικής ροής).

Στις παρακάτω Εικόνες 4.3 και 4.4 φαίνεται η θέση του ΧΑΔΑ Κουρουπητού και των σημείων δειγματοληψίας:



Εικόνα 4.3: Θέση ΧΑΔΑ Κουρουπητού



Εικόνα 4.4: Σημεία δειγματοληψίας στον ΧΑΔΑ Κουρουπητού

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της παραπάνω ομάδας δειγμάτων:

Πίνακας 4.3: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού

Δείγμα	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά						
	pH	OC (%)	Βαρέα μέταλλα				
			Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές ΧΑΔΑ	7.85	4.34 %	166.8	473.75	1187.3	848.7	4.75
Ίζημα βάσης πρανούς ΧΑΔΑ	8.00	5.39 %	45.3	112.5	558.7	246.3	2.6
Αποσαθρωμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	8.05	5.94 %	469.7	1066.7	12.2	3405	3.2
Ίζημα παραλίας	8.65	2.81 %	85.15	668.75	1210	1226.7	6.5

Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν, σχετικά με τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, στα ανεπεξέργαστα δείγματα του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου, στα ανεπεξέργαστα δείγματα από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού παρατηρούνται πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις για όλα τα βαρέα μέταλλα. Αυτό είναι κάτι που οφείλεται, ενδεχομένως, στα είδη των αποβλήτων που απορρίπτονταν εκεί (από αστικά μέχρι και νοσοκομειακά απόβλητα) και στην ποσότητα αυτών (από όλο το νομό Χανίων).

4.1.4 Ώριμο compost προερχόμενο από την επεξεργασία στερεών αποβλήτων στο Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ) του νομού Χανίων

Το εν λόγω δείγμα προήλθε από παρασκευασμένο ώριμο compost, το οποίο έχει παραχθεί από τμήμα ταχείας κομποστοποίησης σύμφωνα με την ακόλουθη περιγραφή:

Το ρεύμα των οργανικών υλικών διαχωρίζεται από τα σύμμεικτα απορρίμματα στο τμήμα της μηχανικής διαλογής και οδηγείται στο τμήμα ταχείας κομποστοποίησης μαζί με ποσότητα κλαδιών και χόρτων και αποδομείται με συνεχή ανάδευση.

Η ταχεία κομποστοποίηση αναπτύσσεται σε δύο γραμμές επεξεργασίας. Το υλικό κομποστοποίησης παραμένει στην μονάδα ταχείας κομποστοποίησης για χρονικό διάστημα 6 εβδομάδων υπό συνεχή αερισμό και ανάδευση. Προκειμένου η διεργασία της κομποστοποίησης να είναι επιτυχής, απαιτείται η υγρασία του προς κομποστοποίηση υλικού να κυμαίνεται μεταξύ 55-65%.

Ακολουθεί έπειτα η διαδικασία της ωρίμανσης του compost. Το ραφινάρισμένο compost, λοιπόν, μετά τη φάση του ραφινάρισματος οδηγείται στην ανοικτή πλατεία χουμοποίησης όπου διαστρώνεται με τη μορφή σωρών. Το υλικό παραμένει στην πλατεία χουμοποίησης για διάστημα 4 εβδομάδων, προκειμένου να ολοκληρωθεί η ωρίμανσή του πριν τη διάθεσή του στην αγορά (Τσάκωνα, 2007).

Στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά για το δείγμα του ώριμου compost:

Πίνακας 4.4: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ώριμου compost

Δείγμα ώριμου compost	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά						
	pH	OC (%)	Βαρέα μέταλλα				
			Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
			6.00	37.59 %	62.1	259.2	603.3

Από τον παραπάνω Πίνακα, παρατηρείται πως εντοπίζονται όλα τα βαρέα μέταλλα στο ανεπεξέργαστο δείγμα του ώριμου compost και, ορισμένα από αυτά, σε αρκετά υψηλές ποσότητες, κάτι που εξαρτάται από τα στερεά απορρίμματα που έχουν κομποστοποιηθεί και τα οποία προήλθαν από τον ΧΥΤΑ Κορακιάς.

4.2 Μέθοδοι μέτρησης φυσικοχημικών χαρακτηριστικών

Εδώ αναφέρονται όλες οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Προτού γίνει αναφορά σε κάθε μέθοδο ξεχωριστά, παρουσιάζονται αρχικά όλα τα αντιδραστήρια, τα φίλτρα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή των περιγραφόμενων μεθόδων.

4.2.1 Αντιδραστήρια και συσκευές

4.2.1.1 Αντιδραστήρια

- ✓ Νιτρικό οξύ (HNO_3) 65 %: Fluka
- ✓ Υδροξείδιο του νατρίου (NaOH): Riedel-de Haën
- ✓ Νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3): Fluka
- ✓ Υδροχλωρικό οξύ (HCl) 37 %: Riedel-de Haën
- ✓ Sulfate Cell Test MERCK για την μέτρηση των θεικών ιόντων
- ✓ Phosphate Cell Test MERCK για την μέτρηση του ολικού φωσφόρου

- ✓ Ammonium Cell Test MERCK για την μέτρηση των αμμωνιακών ιόντων
- ✓ Chloride Cell Test MERCK για την μέτρηση των χλωριούχων ιόντων
- ✓ Nitrogen (total) Cell Test MERCK για την μέτρηση του ολικού αζώτου
- ✓ Nitrate Cell Test MERCK για την μέτρηση των νιτρικών ιόντων

4.2.1.2 Φίλτρα

- ✓ Whatman Membrane Filters (Mixed cellulose ester): 0.45 μm
- ✓ Whatman Folder Filters: \varnothing 150 mm

4.2.1.3 Συσκευές

- ✓ Θερμοαντιδραστήρας Spectroquant TR 420 MERCK
- ✓ Φωτόμετρο Spectroquant NOVA 60 MERCK
- ✓ Αναδευτήρας GFL 3015
- ✓ Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectrometry, AAS) Anton Parr 110A
- ✓ Στήλη διήθησης υπό κενό
- ✓ pH – meter pH 25 CRISON
- ✓ Centrifuge Sigma 2 – 5

4.2.2 Μέθοδος μέτρησης pH (ASTM D4972)

Πρέπει να αναφερθεί αρχικώς, πως η μέτρηση του pH είναι σημαντική διότι το pH καθορίζει τη διαλυτότητα και την κινητικότητα των ιόντων σε στερεά δείγματα.

Η μέτρηση του pH έγινε με τη χρήση ποτενσιόμετρου με ένα σύστημα ευαίσθητου ηλεκτροδίου. Αρχικά το δείγμα ξηραινόταν και κοσκινιζόταν για μείωση του μεγέθους των κόκκων κάτω από τα 2 mm και ομογενοποίηση αυτού. Στη συνέχεια ζυγιζόταν κλάσμα του δείγματος βάρους 10 gr και τοποθετούνταν μαζί με 10 ml απιονισμένου νερού σε πλαστικό σωληνάριο. Ακολουθούσε ανάδευση του μίγματος για 15 min. Μετά το πέρας της ανάδευσης το μίγμα αφηνόταν ήρεμο για την κατακάθιση του στερεού και επακολουθούσε η μέτρηση του pH.

4.2.3 Μέθοδος μέτρησης οργανικού άνθρακα (OC, ASTM D2974)

Αρχικά το δείγμα ξηραινόταν και κοσκινιζόταν για μείωση του μεγέθους των κόκκων κάτω από τα 2 mm και ομογενοποίηση αυτού. Έπειτα ποσότητα 1 gr από το δείγμα τοποθετείτο σε ένα προζυγισμένο χωνευτήριο. Το χωνευτήριο τοποθετείτο έπειτα σε

κλίβανο θερμοκρασίας 500 °C για χρονική περίοδο 30 min. Έπειτα το δείγμα αφηνόταν να επανέλθει στη θερμοκρασία περιβάλλοντος με συνθήκες έλλειψης υγρασίας.

4.2.4 Μέθοδος μέτρησης βαρέων μετάλλων (Horizontal draft standard composed of parts of the following existing standards: ISO 11466, EN 13346, EN 13650 και EN 13657)

Για όλα τα δείγματα των στερεών αποβλήτων που εξετάστηκαν εφαρμόστηκε η κάτωθι μέθοδος χώνευσης:

Ποσότητα δείγματος ίση με 3 gr τοποθετείτο σε ογκομετρική φιάλη μαζί με 30 ml aqua regia (βασιλικό νερό). Έπειτα το μίγμα αφηνόταν ήρεμο, σε θερμοκρασία δωματίου, για χρονική διάρκεια 24 hrs. Στη συνέχεια ακολουθούσε βρασμός σε θερμοκρασία ~ 100 °C για 2 ώρες. Μετά το πέρας του βρασμού το μίγμα αφηνόταν να αποκτήσει θερμοκρασία δωματίου. Κατόπιν γινόταν διήθηση του μίγματος με χρήση φίλτρων και τελικά αποθήκευση του διηθημένου υγρού.

4.2.5 Μέθοδοι μέτρησης ανόργανων ρυπών στα ανεπεξέργαστα δείγματα (Φωτομετρικά τεστ κιτ)

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν περισσότερες των μία μεθόδων για τη μέτρηση των ανόργανων ρυπών στα αρχικά δείγματα των στερεών αποβλήτων. Οι μέθοδοι αυτές είναι τα λεγόμενα φωτομετρικά τεστ κιτ, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε ένα από τους μετρούμενους ανόργανους ρύπους.

4.2.5.1 Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+ - N)

Η περιοχή μέτρησης ήταν 2 – 75 mg/l NH_4 – N ή 5 – 150 mg/l NH_4 – N (ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης). Αρχικά γινόταν προσθήκη 5 ml του αντιδραστηρίου NH_4 – 1 σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και έπειτα 0,2 ml δείγματος για την 1^η περιοχή μέτρησης ή 0,1 ml δείγματος για την 2^η και ακολουθούσε ανάμιξη. Έπειτα γινόταν προσθήκη 2 δόσεων του αντιδραστηρίου NH_4 – 2 και ανακίνηση του σωλήνα για τη διάλυση του αντιδραστηρίου. Ο χρόνος αντίδρασης ήταν 15 λεπτά, ενώ στη συνέχεια λαμβανόταν η επιθυμητή μέτρηση.

4.2.5.2 Νιτρικά ιόντα (NO_3^- - N)

Η περιοχή μέτρησης ήταν 0,5 – 25 mg/l NO_3^- - N. Αρχικά γινόταν προσθήκη 1 ml δείγματος στην κυψελίδα με το τεστ και 1 ml του αντιδραστηρίου NO_3^- - 1K και ακολουθούσε ανάμιξη. Ο χρόνος αντίδρασης ήταν 10 λεπτά και έπειτα ακολουθούσε η μέτρηση.

4.2.5.3 Ολικό Άζωτο (TN)

Η περιοχή μέτρησης ήταν 0,5 – 15 mg/l N. Αρχικά τοποθετούνταν 10 ml από το δείγμα σε μία άδεια κυλινδρική κυψελίδα. Έπειτα γινόταν προσθήκη μίας δόσης του αντιδραστηρίου N – 1K, 6 σταγόνες του αντιδραστηρίου N – 2K και ακολουθούσε ανάμιξη. Ακολούθως η κυψελίδα τοποθετείτο στον θερμοαντιδραστήρα Spectroquant TR 420 MERCK για μία ώρα και σε θερμοκρασία 120 °C. Μετά το πέρας των δυο ωρών, η κυψελίδα έπρεπε να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια ακολουθούσε προσθήκη 1 ml του προπαρασκευασμένου δείγματος σε μία κυψελίδα με το τεστ αναμιγνύοντας μαζί με 1 ml του αντιδραστηρίου N – 3K. Ο χρόνος αντίδρασης διαρκούσε δέκα λεπτά.

4.2.5.4 Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})

Η περιοχή μέτρησης ήταν 100 – 1000 mg/l SO_4^{2-} . Αρχικά γινόταν έλεγχος του pH, που θα έπρεπε να είναι 0 – 10, διαφορετικά γινόταν διόρθωση της τιμής του με αραιό καυστικό νάτριο ή θειικό οξύ. Έπειτα από προσθήκη 1 ml του δείγματος στην κυψελίδα με το τεστ ακολουθούσε ανάμιξη. Στη συνέχεια γινόταν προσθήκη 1 δόσης του αντιδραστηρίου SO_4^{2-} - 1K και ανακίνηση της κυψελίδας με σκοπό να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Ο χρόνος αντίδρασης διαρκούσε 2 λεπτά, ενώ η μέτρηση πραγματοποιούνταν αμέσως μετά.

4.2.5.5 Χλωριούχα ιόντα (Cl^-)

Η περιοχή μέτρησης ήταν 10 – 250 mg/l Cl^- ή 2,5 – 25 mg/l Cl^- (ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης). Αρχικά γινόταν έλεγχος του pH, που θα έπρεπε να είναι 0 – 10, διαφορετικά γινόταν διόρθωση της τιμής του με αραιό καυστικό νάτριο ή θειικό οξύ. Έπειτα ακολουθούσε προσθήκη 1 ml δείγματος για την 1^η περιοχή μέτρησης ή 5 ml για την 2^η περιοχή μέτρησης σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Στη συνέχεια γινόταν προσθήκη 2,5 ml του αντιδραστηρίου Cl^- - 1, έπειτα ακολουθούσε ανάμιξη και άλλα 0,5 ml του αντιδραστηρίου Cl^- - 2 και ξανά ανάμιξη. Ο χρόνος αντίδρασης διαρκούσε

ένα λεπτό. Έπειτα το δείγμα τοποθετείται στην κυψελίδα και πραγματοποιούνται η μέτρηση.

4.2.5.6 Φωσφορικά (Προσδιορισμός του ολικού φωσφόρου, δηλαδή το σύνολο των ορθοφωσφορικών, πολυφωσφορικών και οργανοφωσφορικών, TP)

Η περιοχή μέτρησης ήταν $0,05 - 5 \text{ mg/l PO}_4^{-3} - \text{P}$ (ή $0,2 - 15 \text{ mg/l PO}_4^{-3}$). Αρχικά γινόταν έλεγχος του pH, που θα έπρεπε να είναι $0 - 10$, διαφορετικά γινόταν διόρθωση της τιμής του με αραιό καυστικό νάτριο ή θειϊκό οξύ. Έπειτα γινόταν προσθήκη 5 ml του δείγματος στην κυψελίδα, ακολουθούσε ανάμιξη και προσθήκη 1 δόσης του αντιδραστηρίου $\text{P} - 1\text{K}$ και τέλος τοποθέτηση της κυψελίδας στον θερμοαντιδραστήρα για μία ώρα και σε θερμοκρασία 120°C . Μετά το πέρας της μίας ώρας, η κυψελίδα έπρεπε να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έπειτα γινόταν προσθήκη 5 σταγόνων του αντιδραστηρίου $\text{P} - 2\text{K}$ και ακολουθούσε ανάμιξη. Τέλος γινόταν προσθήκη 1 δόσης του αντιδραστηρίου $\text{P} - 3\text{K}$. Μεσολαβούσε αναμονή για 5 λεπτά και έπειτα ακολουθούσε η μέτρηση του ολικού φωσφόρου.

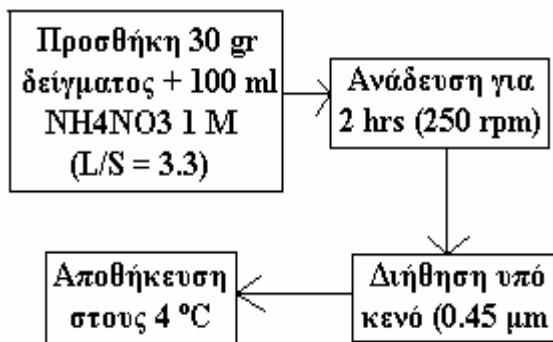
4.3 Μέθοδοι εκχύλισης στερεών αποβλήτων

Οι μέθοδοι εκχύλισης που εφαρμόστηκαν ήταν τρεις: 1) η DIN 38414 που χρησιμοποιεί ως μέσο εκχύλισης το απιονισμένο νερό, 2) η DIN 19730 που χρησιμοποιεί ως μέσο εκχύλισης διάλυμα νιτρικού αμμωνίου (NH_4NO_3) και 3) η pH static test που εξετάζει την εκχυλισιμότητα διαφόρων ουσιών και στοιχείων σε διαφορετικές τιμές pH και χρησιμοποιεί ως μέσο εκχύλισης απιονισμένο νερό. Σκοπός των εφαρμογών των συγκεκριμένων μεθόδων ήταν η εκχύλιση ιχνοστοιχείων από δείγματα στερεών αποβλήτων.

Πριν από την εφαρμογή κάθε μεθόδου όλος ο εξοπλισμός καθώς και τα δοχεία αποθήκευσης των εκχυλισμάτων τοποθετούνταν σε διάλυμα νιτρικού οξέος 1 M για χρονικό διάστημα 24 hrs και έπειτα ξεπλένονταν με απιονισμένο νερό. Επίσης, γινόταν διαχωρισμός των αιχμηρών, αδιάλυτων ή/και μεταλλικών τμημάτων που, ενδεχομένως περιείχε το εκάστοτε δείγμα, το οποίο έπειτα κοσκινιζόταν (για μείωση του μεγέθους των κόκκων $< 2 \text{ mm}$) και ξηραίνονταν, πριν τη χρήση του.

4.3.1 DIN 19730 - Εκχύλιση με νιτρικό αμμώνιο (NH_4NO_3)

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην συγκεκριμένη μέθοδο εκχύλισης:

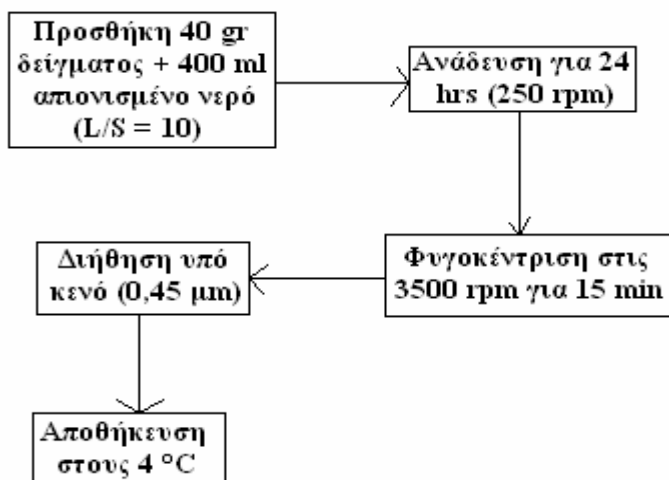


Διάγραμμα 4.1: Μέθοδος DIN 19730

Όπως αναφέρεται και στο Διάγραμμα 4.1, αρχικά γινόταν προσθήκη του δείγματος μαζί με το μέσο εκχύλισης (διάλυμα 1 M NH_4NO_3) σε ένα μπουκάλι από PE (πολυαιθυλένιο). Έπειτα ακολουθούσε ανάδευση του μίγματος, διήθηση του προκύπτοντος εκχυλίσματος και τέλος, αποθήκευση του καθαρού, πλέον, εκχυλίσματος με σκοπό την μέτρηση των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων ανόργανων ρύπων και βαρέων μετάλλων σε αυτό. Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου κρινόταν απαραίτητη η πραγματοποίηση ενός τυφλού δείγματος.

4.3.2 DIN 38414 (S4) – Εκχύλιση με απιονισμένο νερό

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην συγκεκριμένη μέθοδο εκχύλισης:

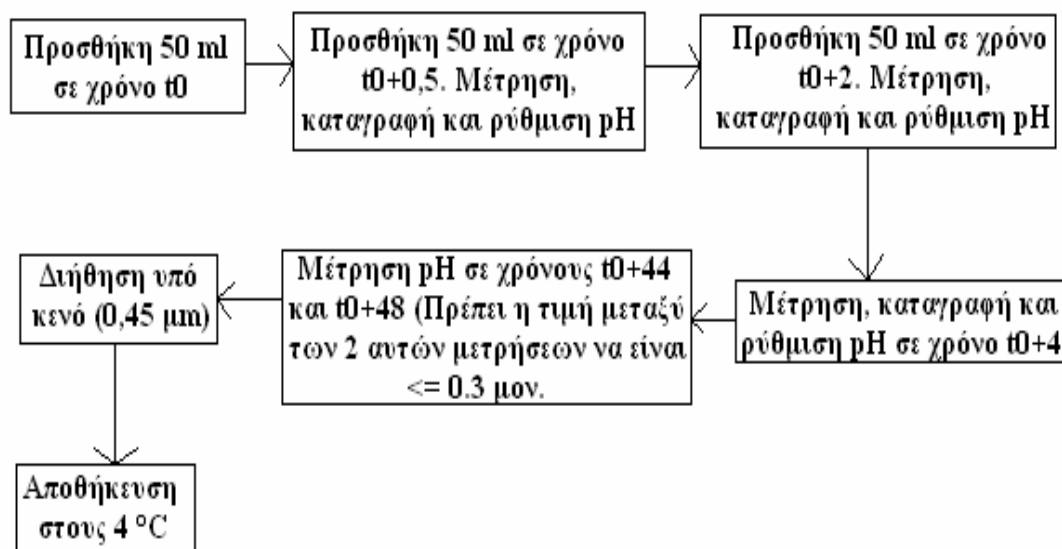


Διάγραμμα 4.2: Μέθοδος DIN 38414

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 4.2, αρχικά γινόταν προσθήκη του δείγματος μαζί με το μέσο εκχύλισης (απιονισμένο νερό) σε ένα μπουκάλι από PE (πολυαιθυλένιο). Έπειτα ακολουθούσε ανάδευση του μίγματος, φυγοκέντριση αυτού, διήθηση του προκύπτοντος εκχυλίσματος και τέλος, αποθήκευση του καθαρού εκχυλίσματος με σκοπό την μέτρηση των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων ανόργανων ρύπων και βαρέων μετάλλων σε αυτό.

4.3.3 pH static test (prEN 14429) – Εκχύλιση με ρύθμιση των τιμών pH

Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν οκτώ δοχεία για την εισαγωγή και την ανάδευση των δειγμάτων, ένας αριθμός που μπορεί όμως να είναι μικρότερος, ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Το χρησιμοποιούμενο υγρό εκχύλισης ήταν το απιονισμένο νερό και ο λόγος L/S ήταν 10 (15 gr δείγματος με 150 ml απιονισμένου νερού). Η υπόλοιπη διαδικασία παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.3:



Διάγραμμα 4.3: Μέθοδος pH static test

Στο παραπάνω Διάγραμμα 4.3 ο χρόνος t αναφέρεται σε ώρες (π.χ. t0 η αρχή του πειράματος και t0+0.5 μισή ώρα μετά την έναρξη του πειράματος). Σημειώνεται πως κατά την ρύθμιση των τιμών του pH, θα έπρεπε δύο διαδοχικές τιμές να μην απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από 1.5 μονάδες. Επίσης, η ρύθμιση των τιμών του pH γινόταν με τη βοήθεια διαλυμάτων νιτρικού οξέος (HNO₃) 0.1 – 5 M και καυστικού νατρίου (NaOH) 0.1 – 0.5 M, προσέχοντας ώστε ο λόγος L/S = 10 ± 0.2 lt/kg. Τέλος,

κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου γινόταν η εφαρμογή τριών τυφλών δειγμάτων:

- Το πρώτο δημιουργήθηκε από τις μέγιστες ποσότητες οξέος και βάσης που χρησιμοποιήθηκαν για τη ρύθμιση του pH
- Το δεύτερο είχε ως ρυθμιζόμενη τιμή $\text{pH} = 4$ και,
- Το τρίτο είχε ως ρυθμιζόμενη τιμή $\text{pH} = 12$

Η ρύθμιση του pH στις τιμές 4 και 12 γινόταν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με διαλύματα νιτρικού οξέος και καυστικού νατρίου.

Όταν απαιτούνταν η εφαρμογή τυφλών δειγμάτων, θα έπρεπε οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στα ανάλογα τυφλά διαλύματα να ήταν $\leq 10\%$ των αντίστοιχων τιμών στα πραγματικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην εκάστοτε μέθοδο. Μόνο έτσι θεωρείται ότι η μέθοδος εφαρμόστηκε σωστά.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης στα εξεταζόμενα δείγματα, δηλαδή:

- η παρουσίαση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων και των υπόλοιπων ανόργανων ρύπων στο εκάστοτε εξεταζόμενο δείγμα, καθώς και στα εκχυλίσματα των δειγμάτων, μετά την εφαρμογή των τριών αυτών τεχνικών εκχύλισης,
- το ποσοστό εκχύλισης των ρύπων αυτών και,
- η σύγκριση των παραπάνω τιμών με τα τυπικά όρια που έχουν ήδη αναφερθεί, σχετικά με την απόρριψη στερεών αποβλήτων και τη χρήση compost σε εδάφη

Σημειώνεται πως γίνεται αναφορά σχετικά με την εφαρμογή των τριών τεχνικών για κάθε δείγμα ξεχωριστά, ενώ με αυτό τον τρόπο γίνεται και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή τυφλών δειγμάτων για κάθε μία από τις τρεις εφαρμοζόμενες μεθόδους εκχύλισης για να εξασφαλιστεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων. Η τελευταία ελεγχόταν από τα αποτελέσματα των αναλύσεων που γίνονταν στα τυφλά δείγματα, με την έννοια ότι οι εξαγόμενες τιμές θα έπρεπε να ήταν $\leq 10\%$ των αντίστοιχων τιμών που θα προέκυπταν από τις αναλύσεις των εκχυλισμάτων των εξεταζόμενων δειγμάτων. Από όλες τις εφαρμογές τυφλών δειγμάτων που πραγματοποιήθηκαν, σε καμία δεν παρουσιάστηκαν αποκλίσεις σε σχέση με τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

5.1 Δείγμα υπολειμματικής τέφρας

Πρωτίστως παρουσιάζονται οι αρχικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που προέκυψαν από την διαδικασία χώνευσης του δείγματος της υπολειμματικής τέφρας. Οι συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων της υπολειμματικής τέφρας

METΑΛΛΟ	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
TIMH (ppm)	73.52	925	1987.1	5052.5	3.72

Παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο δείγμα της υπολειμματικής τέφρας είναι πολύ υψηλές, λόγω των υλικών (οργανικών και μη) που έχουν αποτεφρωθεί και των οποίων τα υπολείμματα περιλαμβάνονται στο εν λόγω

δείγμα (σύριγγες, πλαστικά, οργανικά υπολείμματα, βελόνες κτλ). Αυτό που ενδιαφέρει αρχικά είναι οι συγκεντρώσεις (και το ποσοστό αυτών) που εν τέλει εκχυλίζονται με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης και το κατά πόσο οι συγκεντρώσεις αυτές υπερβαίνουν τα θεσπιζόμενα όρια.

5.1.1 Μέθοδος DIN 19730

Στην συγκεκριμένη μέθοδο πραγματοποιήθηκε η εκχύλιση των μετρούμενων ανόργανων ρύπων και βαρέων μετάλλων, χρησιμοποιώντας ως μέσο εκχύλισης διάλυμα 1 M νιτρικού αμμωνίου (NH_4NO_3). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα άλλα δείγματα, παρακάτω, κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Το αρχικό pH του δείγματος ήταν 8.90 και το pH του εκχυλίσματος 9.02 (όταν γίνεται αναφορά στο pH του εκχυλίσματος εννοείται το pH του υγρού που προκύπτει από την διαδικασία της εκχύλισης). Στον Πίνακα 5.2, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ανόργανων ρύπων στο εκχύλισμα της τέφρας, που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου, καθώς και τα αντίστοιχα όρια ποιότητας πόσιμου νερού.

Σημειώνεται πως η σύγκριση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων και των θεικών και χλωριούχων ιόντων στο εκχύλισμα γίνεται με τα όρια και των τριών κατηγοριών εκχυλισμάτων και όχι μόνο με αυτά για τα επικίνδυνα στερεά απόβλητα, όπω παρουσιάστηκε στο 2^ο Κεφάλαιο.

Επίσης, αναφέρεται πως στον Πίνακα 5.2 (αλλά και σε κάθε Πίνακα που αναφέρεται στους ανόργανους ρύπους), οι συγκεντρώσεις εκφράζονται τόσο σε mg/l, όσο και σε mg/kg. Αυτό συμβαίνει διότι τα όρια με τα οποία συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ρύπων αυτών, εκφράζονται, παρομοίως, είτε σε mg/l είτε σε mg/kg. Η έκφραση της συγκέντρωσης σε mg/l προσδιορίζει την συγκέντρωση του ρύπου στο εκχύλισμα του εκάστοτε δείγματος και η έκφραση σε mg/kg την συγκέντρωση του ρύπου επί ξηρού βάρους του δείγματος (του εκάστοτε εξεταζόμενου στερεού αποβλήτου).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές που αφορούν στον ολικό φώσφορο δεν αποτελούν όρια για το πόσιμο νερό, αλλά ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης ολικού φωσφόρου που δεν θα πρέπει να υπερβαίνονται για τον έλεγχο του ευτροφισμού και οι οποίες έχουν ληφθεί από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (EPA).

Πίνακας 5.2: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου και όρια ποιότητάς πόσιμου νερού

ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΡΥΠΟΙ	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	TP (mg/l)
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ	2076 mg/l ή 6920 mg/kg	41150 mg/l ή 137166 mg/kg	1.30
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (mg/l)	250	250	0.05/0.1

Στον επόμενο Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα όρια για τα εκχυλίσματα των αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S (υγρό/στερεό) = 2 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων:

Πίνακας 5.3: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 lt/kg σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	560	550
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	10000	10000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	25000	17000

Αυτό που διαπιστώνεται από τους Πίνακες 5.2 και 5.3, είναι η υπέρβαση των ορίων από τις συγκεντρώσεις των χλωριούχων ιόντων, τόσο για τα εδάφη, όσο και για το πόσιμο νερό, για όλες τις περιπτώσεις εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων, ενώ για την περίπτωση των θεικών ιόντων παρατηρείται υπέρβαση των ορίων ποιότητας πόσιμου νερού. Επίσης παρατηρείται υπέρβαση των ενδεικτικών τιμών ελέγχου του ευτροφισμού από την συγκέντρωση του φωσφόρου. Αυτό σημαίνει πως αν τα εκχυλίσματα αυτά βρεθούν σε κάποια λίμνη ή άλλο ταμιευτήρα νερού, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης φωσφόρου θα δημιουργηθεί πρόσφορο έδαφος για την εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού. Η τελευταία διαπίστωση ισχύει και για κάθε άλλη περίπτωση υπέρβασης αυτών των ενδεικτικών τιμών.

Η υψηλή συγκέντρωση των χλωριούχων ιόντων δικαιολογείται από το γεγονός ότι, κατά την εφαρμογή της μεθόδου DIN 19730, παρουσιάζονται έντονοι μηχανισμοί ιονανταλλαγής, οι οποίοι πυροδοτούνται από την εξαιρετικά υψηλή ιοντική ισχύ του διαλύματος. Αυτό είναι κάτι που οδηγεί σε υπερεκτίμηση των ανιόντων και κατιόντων που απελευθερώνονται στο εκχύλισμα και έτσι

επηρεάζονται οι χημικές ισορροπίες. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση των θετικών ιόντων.

Κατά την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τις μορφές αζώτου (νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα και ολικό άζωτο), κάτι που ισχύει και για τα άλλα εξεταζόμενα δείγματα, παρακάτω. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η συνεισφορά των επιμέρους στοιχείων, υλικών κτλ, σε σχέση με την συνολική συγκέντρωση στο δείγμα βρίσκεται μερικές τάξεις μεγέθους χαμηλότερα από την συγκέντρωση του διαλύματος και έτσι δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί. Αυτό αποτελεί και ένα σημαντικό μειονέκτημα της εν λόγω μεθόδου (Chrysoschoou et al, 2003).

Στον επόμενο Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο εκχύλισμα της υπολειμματικής τέφρας, καθώς και τα όρια διάθεσης για τα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 lt/kg, τα όρια για την ποιότητα του πόσιμου νερού και τα αντίστοιχα ποσοστά εκχύλισης:

Πίνακας 5.4: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με L/S = 2 lt/kg, όρια ποιότητας πόσιμου νερού και ποσοστά εκχύλισης

ΜΕΤΑΛΛΟ	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
ΤΙΜΗ (ppm)	9	8.1	177.8	333.15	1.55
ΤΙΜΗ (mg/lt)	2.7	2.43	53.34	99.94	0.465
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (%)	1	11.01	16.5	6.6	41.75
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΛΟΓΟ ΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟ ΙΣΟ ΜΕ 2 lt/kg, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)					
Αδρανή	0.2	0.2	2	0.9	0.03
Μη επικίνδυνα	5	5	25	25	0.6
Επικίνδυνα	20	25	90	50	3
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (mg/lt)					
	0.02	0.1	3	2	0.003

Από τον παραπάνω Πίνακα, είναι εμφανές πως:

1. Ο μόλυβδος, παρουσιάζεται σε αρκετά χαμηλή συγκέντρωση στο εκχύλισμα, διότι προσροφάται ισχυρά πάνω στην επιφάνεια του στερεού και απελευθερώνεται μόνο εφόσον το pH γίνει ισχυρά όξινο. Η μετρούμενη συγκέντρωσή του υπερβαίνει το αντίστοιχο όριο ποιότητας του πόσιμου νερού και διάθεσης εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων.
2. Ο ψευδάργυρος, παρουσιάζεται σε πολύ μεγάλη συγκέντρωση, μέχρι και δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από αυτή του μολύβδου, και αυτό διότι

σχηματίζει διαλυτά σύμπλοκα κυρίως με τα θειικά ιόντα και δευτερευόντως με τα νιτρικά και τα χλωριούχα ιόντα. Η μετρούμενη συγκέντρωσή του υπερβαίνει όλα τα όρια που αναφέρονται στον Πίνακα 5.4 (Chrysochoou et al, 2003).

3. Το νικέλιο, παρουσιάζεται σε συγκέντρωση όμοιας τάξης μεγέθους με αυτή του μολύβδου. Η μετρούμενη συγκέντρωσή του υπερβαίνει το αντίστοιχο όριο ποιότητας του πόσιμου νερού και διάθεσης εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων.
4. Ο χαλκός παρουσιάζεται σε αρκετά μεγάλη συγκέντρωση στο εκχύλισμα λόγω (κυρίως) των επιφανειακών συμπλόκων που δημιουργεί με τα υδροξείδια του σιδήρου και του αλουμινίου. Γενικά, ο χαλκός είναι ένα βαρύ μέταλλο που δημιουργεί πληθώρα συμπλόκων όπως σουλφίδια, θειικά άλατα, ανθρακικά κτλ. Η μετρούμενη συγκέντρωσή του υπερβαίνει όλα τα όρια που αναφέρονται στον Πίνακα 5.4 (Dijkstra et al, 2006 ; Alloway, 1995).
5. Το κάδμιο, παρουσιάζεται σε υψηλή συγκέντρωση (συγκρίνοντας με τα υπάρχοντα όρια) και αυτό οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση των χλωριούχων ιόντων στο εν λόγω δείγμα, διότι το κάδμιο μαζί με τα χλωριούχα ιόντα δημιουργούν πολύ σταθερά διαλυτά σύμπλοκα. Επίσης το κάδμιο είναι αρκετά ανταγωνιστικό με άλλα βαρέα μέταλλα, τα οποία αποτρέπουν την προσρόφησή του πάνω στην επιφάνεια του στερεού αποβλήτου. Η μετρούμενη συγκέντρωσή του υπερβαίνει όλα τα όρια που αναφέρονται στον Πίνακα 5.4 (Alloway, 1995).

Τα παραπάνω σχόλια για τα βαρέα μέταλλα ισχύουν γενικά και για τις τρεις εφαρμόσιμες μεθόδους εκχύλισης.

Βάσει των προηγούμενων και από την σύγκριση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων με τα αντίστοιχα όρια στον Πίνακα 5.4, συμπεραίνεται πως το εν λόγω δείγμα είναι επικίνδυνο για το πόσιμο νερό και τα εδάφη, κατά την διάθεση των εκχυλισμάτων του (υπέρβαση των ορίων για τα εκχυλίσματα των μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων – μολύβδος, νικέλιο και κάδμιο – για τα εκχυλίσματα των επικίνδυνων στερεών αποβλήτων – ψευδάργυρος και χαλκός – και για το πόσιμο νερό).

5.1.2 Μέθοδος DIN 38414

Στην συγκεκριμένη μέθοδο πραγματοποιήθηκε η εκχύλιση των μετρούμενων ανόργανων ρύπων και βαρέων μετάλλων, χρησιμοποιώντας ως μέσο εκχύλισης απιονισμένο νερό. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα άλλα δείγματα, παρακάτω, κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Το αρχικό pH του δείγματος ήταν 8.90 και το pH του εκχυλίσματος ήταν 10.26. Στους Πίνακες 5.5 και 5.6 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ανόργανων ρύπων στο εκχύλισμα της τέφρας, καθώς και τα αντίστοιχα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και ποιότητας πόσιμου νερού:

Πίνακας 5.5: Συγκεντρώσεις νιτρικών και θεικών ιόντων και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και ποιότητας πόσιμου νερού

ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΡΥΠΟΙ	NO_3^-	SO_4^{2-}
TIMH	3.62 mg/l ή 36.2 mg/kg	579.6 mg/l ή 5796 mg/kg
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ		
Εδάφη (mg/kg)	500 mg/kg	---
Πόσιμο νερό (mg/l)	11.5/50	250

Πίνακας 5.6: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και αμμωνιακών ιόντων, ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και πόσιμου νερού

ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΡΥΠΟΙ	TN	NH_4^+ (mg/l)	Cl^-	TP (mg/l)
TIMH	1.29 mg/l ή 12.9 mg/kg	45	26.6 mg/l ή 266 mg/kg	0.37
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ				
Εδάφη (mg/kg)	500 mg/kg	~ 500 mg/l	---	---
Πόσιμο νερό (mg/l)	50	0.39/0.5	250	0.05/0.1

Σημειώνεται πως στους παραπάνω Πίνακες 5.5 και 5.6 (και σε κάθε Πίνακα που θα γίνεται αντίστοιχη αναφορά) όσον αφορά τα νιτρικά και τα αμμωνιακά ιόντα, οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν το νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) και το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$). Αυτό σημαίνει ουσιαστικά πως υπάρχει μία αναλογία των ορίων ανάμεσα στο νιτρικό άζωτο και τα νιτρικά ιόντα και στο αμμωνιακό άζωτο και τα αμμωνιακά ιόντα, αντίστοιχα. Έτσι ως πρώτη τιμή αναφέρεται αυτή που αντιστοιχεί στο νιτρικό και αμμωνιακό άζωτο και σαν δεύτερη αυτή που αναλογεί στα νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα, αντίστοιχα.

Τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 5.7:

Πίνακας 5.7: Όρια για τα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO_4^{2-}	Cl^-
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
$L/S = 10 \text{ lt/kg}$	1000	800
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
$L/S = 10 \text{ lt/kg}$	20000	15000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
$L/S = 10 \text{ lt/kg}$	50000	25000

Από τους Πίνακες 5.6 και 5.7, παραπάνω, διαπιστώνεται υπέρβαση των ορίων ποιότητας πόσιμου νερού από τα αμμωνιακά και τα θειικά ιόντα. Επίσης, όσον αφορά τα όρια για τα εδάφη και τη διάθεση στερεών αποβλήτων σε αυτά, διαπιστώνεται υπέρβαση των ορίων από τα θειικά ιόντα, για την περίπτωση των εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών και θεικών ιόντων ενδέχεται να οφείλονται στην σύσταση του ίδιου του αποβλήτου, λόγω των ειδών των νοσοκομειακών αποβλήτων που έχουν αποτεφρωθεί (ποσότητα κτλ) και των οποίων τα υπολείμματα περιέχονται στο δείγμα της υπολειμματικής τέφρας.

Στον Πίνακα 5.8 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$, τα όρια σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού και τα ποσοστά εκχύλισης για το δείγμα της τέφρας:

Πίνακας 5.8: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με L/S = 10 lt/kg, όρια ποιότητας πόσιμου νερού και ποσοστά εκχύλισης

ΜΕΤΑΛΛΟ	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
TIMH (ppm)	N.D.	6.83	N.D.	4.01	N.D.
TIMH (mg/lt)	N.D.	0.683	N.D.	0.401	N.D.
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (%)	---	9.29	---	0	---
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΛΟΓΟ ΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟ ΙΣΟ ΜΕ 10 lt/kg, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)					
Αδρανή	0.4	0.5	4	2	0.04
Μη επικίνδυνα	10	10	50	50	1
Επικίνδυνα	40	50	200	100	5
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (ppm)					
	0.02	0.1	3	2	0.003

N.D.: Not Detected (Δεν ανιχνεύθηκε)

Από τον παραπάνω Πίνακα 5.8 διαπιστώνεται ελάχιστη (μόλυβδος, χαλκός) και (κυρίως) μηδενική εκχύλιση των βαρέων μετάλλων, κατά την εφαρμογή της DIN 38414. Παρά τις χαμηλές ποσότητες χαλκού και μολύβδου, παρατηρείται υπέρβαση των ορίων σχετικά με τα εκχυλίσματα των αδρανών στερεών αποβλήτων και αυτών σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού (μόλυβδος), εφόσον τα όρια για αυτές τις περιπτώσεις είναι πάρα πολύ αυστηρά, με πολύ χαμηλές τιμές.

5.1.3 Μέθοδος pH stat

Στην συγκεκριμένη μέθοδο πραγματοποιήθηκε η εκχύλιση των μετρούμενων ανόργανων ρύπων και βαρέων μετάλλων σε ένα εύρος pH 2 – 12 (κάτι που ισχύει και για τις άλλες εφαρμογές της μεθόδου παρακάτω), χρησιμοποιώντας ως μέσο εκχύλισης απιονισμένο νερό, ενώ το αρχικό pH του δείγματος ήταν 8.90. Η ρύθμιση του pH γινόταν με διάλυμα καυστικού νατρίου (NaOH) 1 – 5 M και με διάλυμα νιτρικού οξέος (HNO₃) 0.1 – 0.5 M. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα άλλα δείγματα, παρακάτω, κατά την εφαρμογή αυτή της μεθόδου. Στον Πίνακα 5.9 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ανόργανων ρύπων στο εκχύλισμα της τέφρας καθώς και το pH του εκχυλίσματος:

Πίνακας 5.9: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα και τον ολικό φώσφορο

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	pH εκχυλίσματος	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Σ P (mg/l)
5.6	8.01	3125	63250	N.A.
7	8.57	4000	33500	0.26
6	9.16	N.A.	11000	0.26
7.2	9.47		16250	0.33
7.5	9.62		17500	0.21
7.5	9.63	1400	14000	N.A.
8.1	9.78	N.A.	13250	0.3
8.5	9.92		N.A.	0.22
8	9.95	1340	15000	N.A.
9	10.09	N.A.	N.A.	0.04
9.6	10.13	845	14500	0.13
9.5	10.31	N.A.	N.A.	0.03
10.73 (φυσικό pH)	10.66		13000	0.15
10.2	10.86	465	13500	0.14
11 (φυσικό pH)	10.97	215	N.A.	0.05
11.45	11.18	190	4000	0.08

N.A. = Not Analysed (Δεν έχει αναλυθεί)

Από τον παραπάνω Πίνακα διαπιστώνεται πως, με την αύξηση του pH η συγκέντρωση των θεικών και χλωριούχων ιόντων μειώνεται ενώ αυτή του ολικού φωσφόρου παραμένει σταθερή, αλλά με αρκετές αυξομειώσεις.

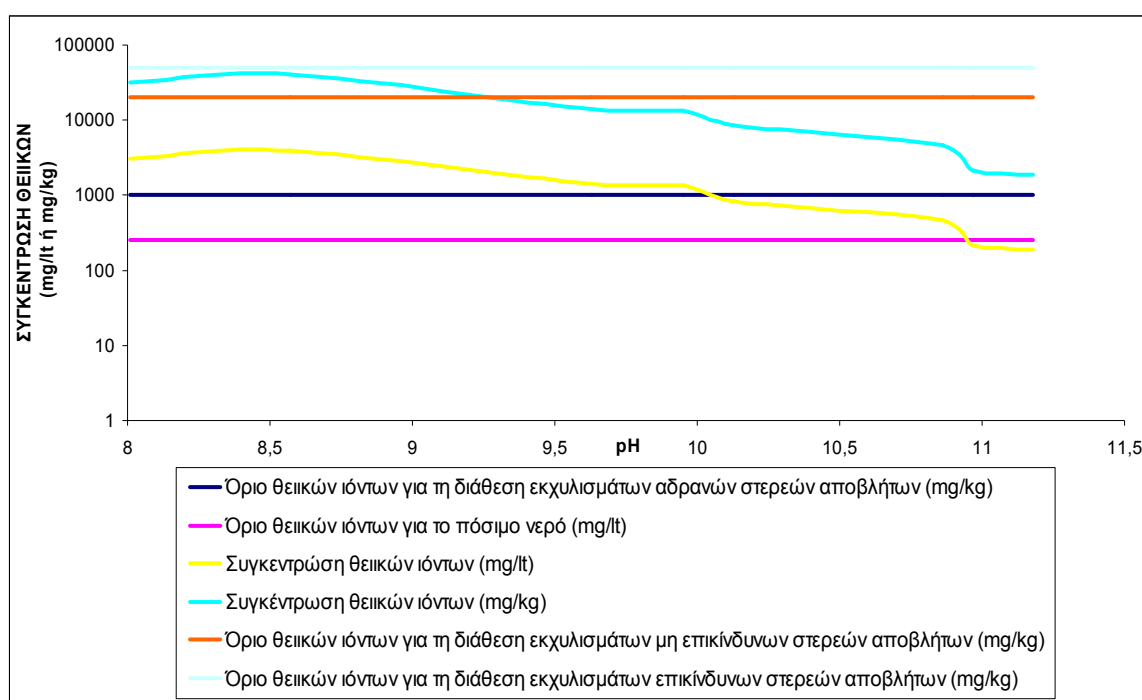
Τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 5.10. Οι ενδεικτικές τιμές για τον ολικό φώσφορο είναι 0.05/0.1 (για ρεύματα που οδηγούν άμεσα σε λίμνες και ταμιευτήρες ή όχι, αντίστοιχα).

Πίνακας 5.10: Όρια για τα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	1000	800
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	20000	15000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	50000	25000

Στα Διαγράμματα 5.1 και 5.2 παρουσιάζονται οι μετρούμενες τιμές των χλωριούχων και θειικών ιόντων σε κάθε αντίστοιχη τιμή pH, τα όρια διάθεσης των στερεών αποβλήτων σχετικά με τους ανόργανους αυτούς ρύπους σε εδάφη και πόσιμο νερό και η σύγκριση μεταξύ των, για το δείγμα της υπολειμματικής τέφρας.

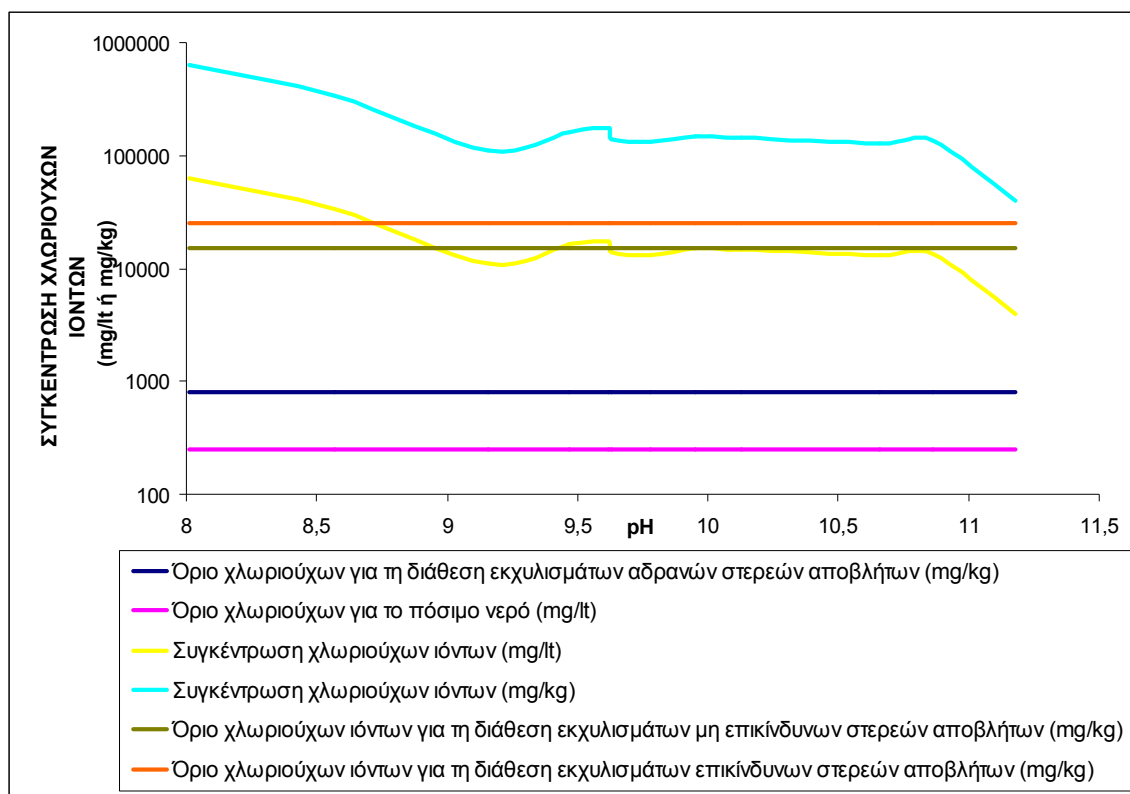
Όσον αφορά τη σύγκριση της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου στις διάφορες τιμές pH σε σχέση με τις ενδεικτικές τιμές ελέγχου του ευτροφισμού, από τον Πίνακα 5.9, παραπάνω, παρατηρείται πως εξαιτίας των αυξομειώσεων στην συγκέντρωση, σε κάποιες τιμές pH υπάρχει υπέρβαση των τιμών αυτών και σε άλλες όχι.



Διάγραμμα 5.1: Σύγκριση συγκεντρώσεων θειικών ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$ και ποιότητας πόσιμου νερού

Από τον Πίνακα 5.10 και το Διάγραμμα 5.1, παραπάνω, παρατηρούνται αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις θειικών ιόντων οι οποίες μειώνονται με την αύξηση του pH. Αυτό συμβαίνει λόγω ανταγωνισμού των θειικών ιόντων με τα ιόντα υδροξυλίου (OH^-) για την κατάληψη των ανιονικών θέσεων. Λόγω των συγκεντρώσεων αυτών, παρατηρούνται υπερβάσεις των ορίων σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού, καθώς και για τα εκχυλίσματα των αδρανών και μη επικίνδυνων (μέχρι $\text{pH} = 9$) στερεών αποβλήτων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των θειικών ιόντων, ιδιαίτερα στις χαμηλότερες τιμές pH, ενδέχεται

να οφείλεται στις υψηλές τιμές ψευδαργύρου, όπως φαίνεται παρακάτω, και αυτό γιατί δημιουργούνται διαλυτά σύμπλοκα μεταξύ τους (Chrysochoou et al, 2003).



Διάγραμμα 5.2: Σύγκριση συγκεντρώσεων χλωριούχων ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$ και πόσιμο νερό

Από τον Πίνακα 5.10 και το Διάγραμμα 5.2, παραπάνω, διαπιστώνονται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων ιόντων στο εκχύλισμα του δείγματος της υπολειμματικής τέφρας. Λόγω των υψηλών, αυτών, συγκεντρώσεων παρατηρείται υπέρβαση του ορίου ποιότητας του πόσιμου νερού, καθώς και των τριών κατηγοριών εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων. Οι συγκεντρώσεις αυτές μειώνονται μέχρι το pH του εκχυλίσματος να γίνει ουδέτερο και έπειτα σταθεροποιούνται. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις ενδέχεται να οφείλονται στις εξίσου υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, όπως φαίνεται παρακάτω, με τον οποίο σχηματίζουν διαλυτά σύμπλοκα, όπως και στην περίπτωση των θεικών ιόντων (Chrysochoou et al, 2003).

Στον παρακάτω Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ενώ στον Πίνακα 5.12 και στο Διάγραμμα 5.3 τα αντίστοιχα ποσοστά εκχύλισης, για το δείγμα της υπολειμματικής τέφρας:

Πίνακας 5.11: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων

ΠΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	pH εκχυλίσματος	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
3.2	6.3	15.71	20.06	65.2	11.74	2.09
4	6.95	9.5	15.35	171.2	5.94	1.11
4.5	7.3	8.31	14.14	153.7	7.75	1.4
6	9.16	3.6	12.08	0.88	3.8	0.61
7.2	9.47	3.08	10.25	0.91	3.76	0.53
7.5	9.62	2.9	9.5	0.99	3.54	0.9
8.1	9.78	2.77	9.39	0.88	3.23	0.6
8.5	9.92	2.42	9.21	0.81	3.18	0.74
9	10.09	2.16	8.19	0.78	3.1	N.D.
9.5	10.31	2.05	7.7	0.73	3.3	
10.73 (φυσικό pH)	10.66	2	7.75	0.99	3.41	0.36
10.75	10.72	1.56	7.25	0.83	3.77	0.47

N.D. = Not Detected (Δεν ανιχνεύθηκε)

Από τον παραπάνω Πίνακα διαπιστώνεται πως με την αύξηση του pH παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης για όλα τα βαρέα μέταλλα, ενώ όμοια είναι η εικόνα και για τα αντίστοιχα ποσοστά εκχύλισης στον Πίνακα 5.12 που ακολουθεί:

Πίνακας 5.12: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

ΠΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	pH εκχυλίσματος	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
3.2	6.3	21.37	2.17	3.28	0.23	56.18
4	6.95	12.92	1.66	8.62	0.12	29.84
4.5	7.3	11.30	1.53	7.73	0.15	37.63
6	9.16	4.90	1.31	0.04	0.08	16.40
7.2	9.47	4.19	1.11	0.05	0.07	14.25
7.5	9.62	3.94	1.03	0.05	0.07	24.19
8.1	9.78	3.77	1.02	0.04	0.06	16.13
8.5	9.92	3.29	1.00	0.04	0.06	19.89
9	10.09	2.94	0.89	0.04	0.06	N.D.
9.5	10.31	2.79	0.83	0.04	0.07	
10.73 (φυσικό pH)	10.66	2.72	0.84	0.05	0.07	9.68
10.75	10.72	2.12	0.78	0.04	0.07	12.63

Από τους δυο Πίνακες παραπάνω, διαπιστώνεται πως ανιχνεύθηκαν όλα τα εξεταζόμενα βαρέα μέταλλα στο δείγμα της υπολειμματικής τέφρας. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών είναι, σε γενικές γραμμές, χαμηλές. Παρουσιάζονται όμως περισσότερο υψηλές σε χαμηλές τιμές pH και μειώνονται

σημαντικά όσο το pH αυξάνεται. Επίσης, αντίστοιχη είναι η εικόνα σχετικά με τα ποσοστά εκχύλισης των μετάλλων, όπου με εξαίρεση το νικέλιο και το κάδμιο, παρουσιάζονται εξαιρετικά χαμηλά, έως και μηδενικά, για τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα.

Κατά την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τα νιτρικά και τα αμμωνιακά ιόντα καθώς και για την ποσότητα του ολικού αζώτου, κάτι που ισχύει και για τα άλλα εξεταζόμενα δείγματα, παρακάτω. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η προσθήκη του νιτρικού οξέος στο δείγμα, για την ρύθμιση του pH δεν θα επέτρεπε την λήψη ορθών μετρήσεων. Στον παρακάτω Πίνακα 5.13 αναφέρονται τα όρια διάθεσης αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 10 lt/kg σχετικά με τα βαρέα μέταλλα και στον Πίνακα 5.14 τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού:

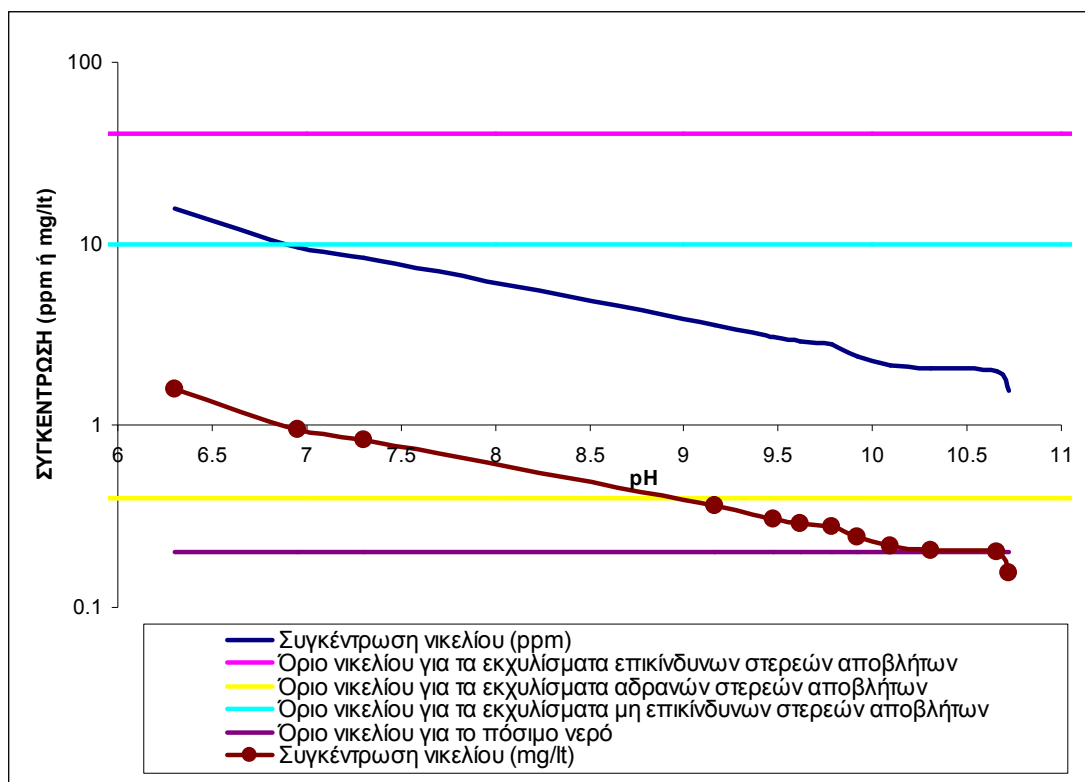
Πίνακας 5.13: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (ppm)	ΜΕΤΑΛΛΟ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
ΑΔΡΑΝΗ	0.4	0.5	4	2	0.04
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ	10	10	50	50	1
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ	40	50	200	100	5

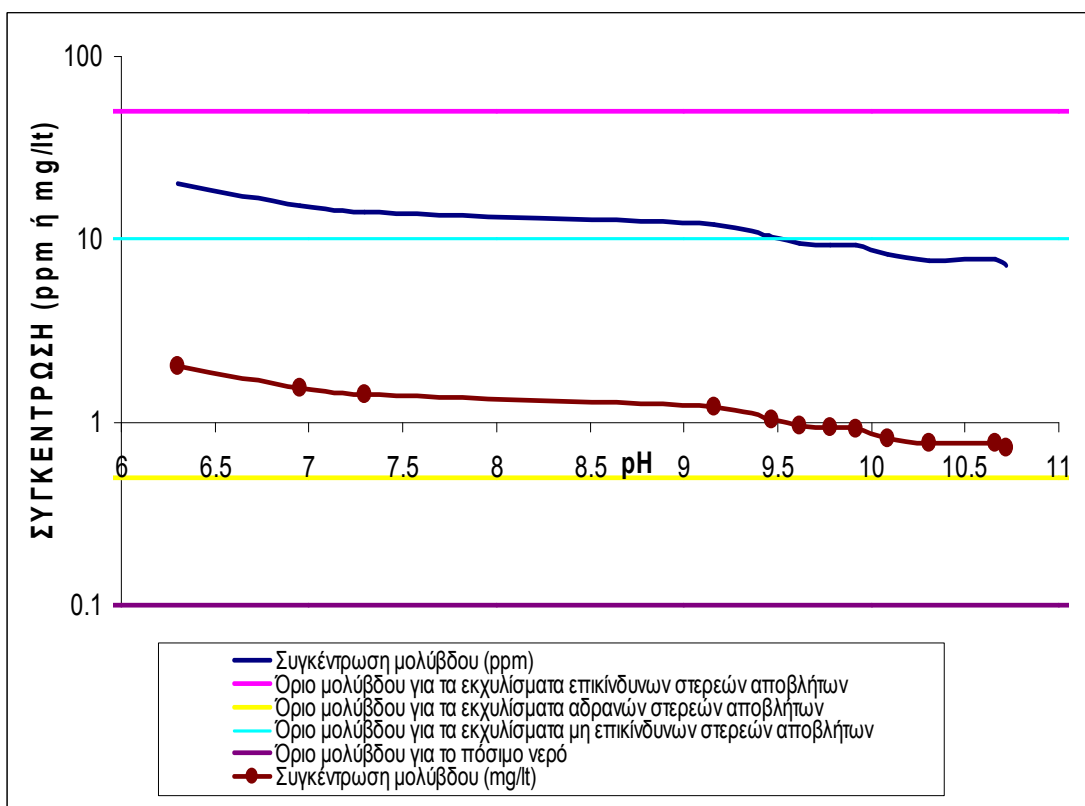
Πίνακας 5.14: Όρια ποιότητας πόσιμου νερού

ΟΡΙΑ (mg/lt)	ΜΕΤΑΛΛΟ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
	0.02	0.1	3	2	0.003

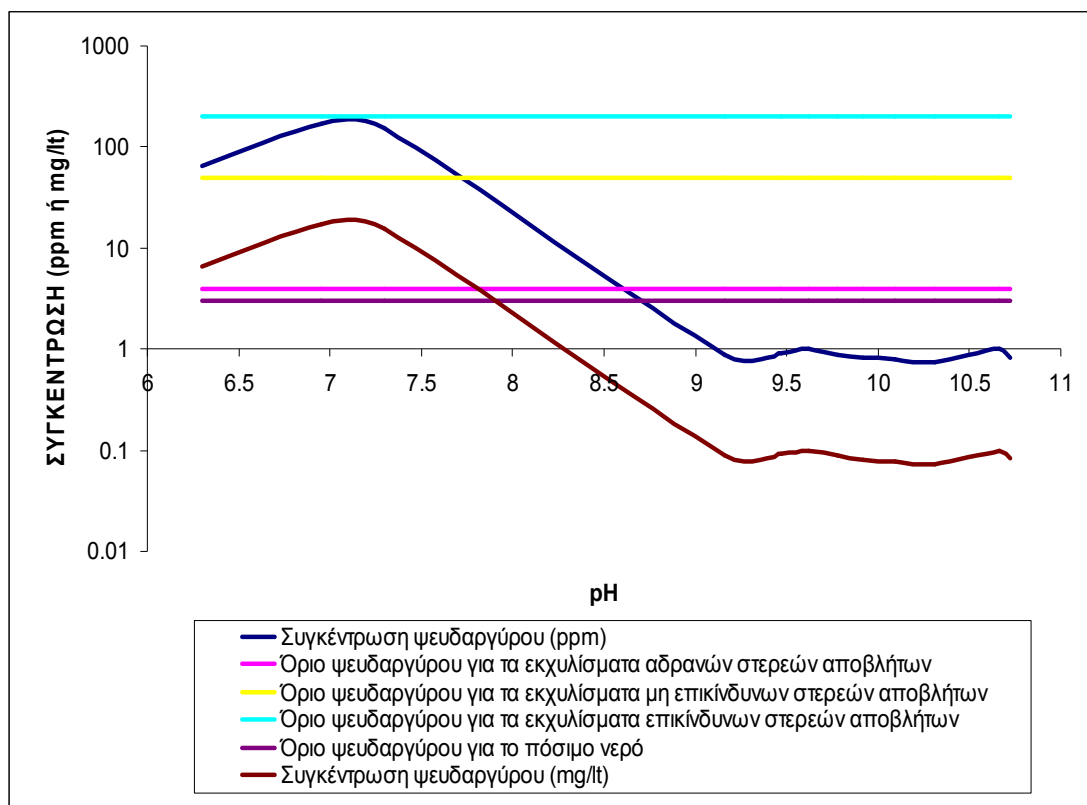
Στα Διαγράμματα 5.3 έως 5.7, που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι μετρούμενες τιμές των εξεταζόμενων βαρέων μετάλλων σε κάθε αντίστοιχη τιμή pH, τα όρια διάθεσης των εκχυλισμάτων των αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με τα βαρέα μέταλλα σε εδάφη, τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού και η σύγκριση μεταξύ των.



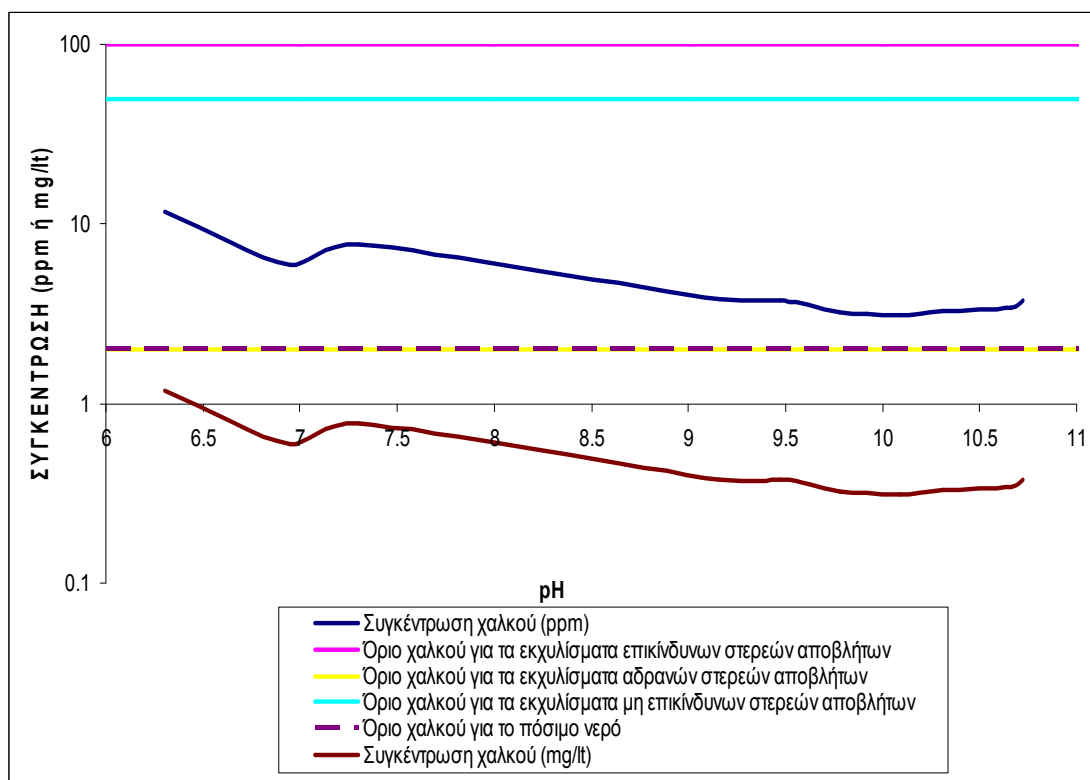
Διάγραμμα 5.3: Σύγκριση τιμών νικελίου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού



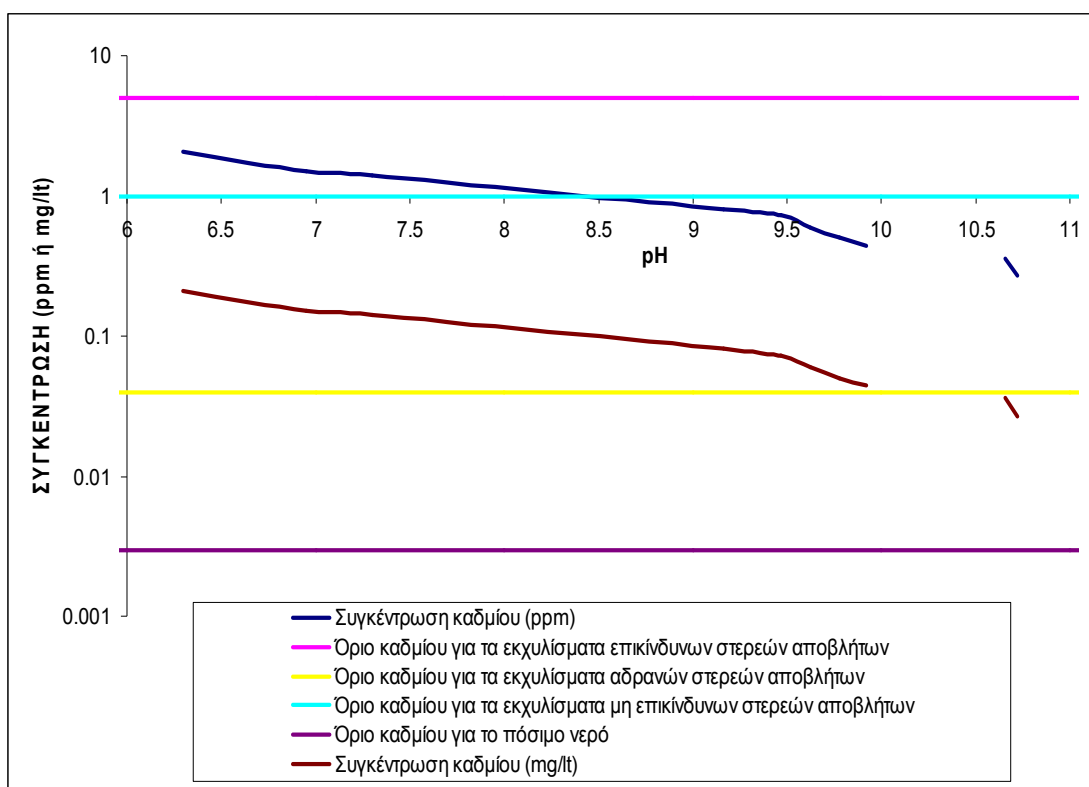
Διάγραμμα 5.4: Σύγκριση τιμών μολύβδου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού



Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση τιμών ψευδαργύρου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού



Διάγραμμα 5.6: Σύγκριση τιμών χαλκού με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού



Διάγραμμα 5.7: Σύγκριση τιμών καδμίου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού

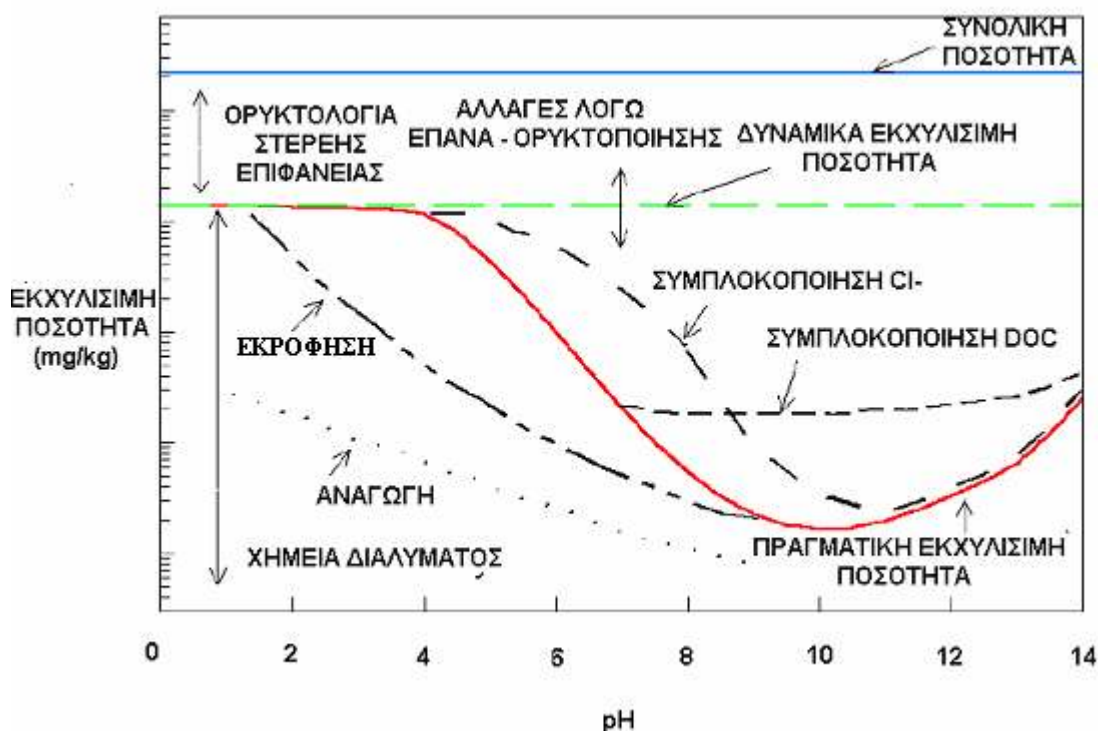
Από τα παραπάνω Διαγράμματα διαπιστώνεται πως:

- Οι συγκεντρώσεις του νικελίου υπερβαίνουν τα όρια σχετικά με τα εκχυλίσματα των αδρανών στερεών αποβλήτων και ποιότητας του πόσιμου νερού.
- Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου υπερβαίνουν τα όρια σχετικά με τα εκχυλίσματα των αδρανών στερεών αποβλήτων και ποιότητας του πόσιμου νερού, καθώς και αυτά των μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων στις χαμηλότερες τιμές του pH.
- Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου υπερβαίνουν τα όρια σχετικά με τα εκχυλίσματα των αδρανών στερεών αποβλήτων και ποιότητας του πόσιμου νερού, στις χαμηλές τιμές του pH.
- Οι συγκεντρώσεις του χαλκού υπερβαίνουν τα όρια σχετικά με τα εκχυλίσματα των αδρανών στερεών αποβλήτων.
- Οι συγκεντρώσεις του καδμίου υπερβαίνουν τα όρια σχετικά με τα εκχυλίσματα των αδρανών στερεών αποβλήτων και ποιότητας του πόσιμου νερού, καθώς και αυτά των μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων στις

χαμηλότερες τιμές pH (αν και κυμαίνονται πολύ κοντά στο εν λόγω όριο σε όλο το εύρος των τιμών του pH).

Σημειώνεται πως σε υψηλές τιμές pH τα βαρέα μέταλλα ακινητοποιούνται από σουλφίδια και οξείδια ή γιατί δεσμεύονται από οργανικές ενώσεις. Γενικά, όταν υπολείμματα (απορρίμματα, υπολειμματική τέφρα κτλ) αναμιγνύονται με διάλυμα χαμηλού pH, τα πρωτόνια αυτού θα μειώσουν την ικανότητα ουδετεροποίησης, οδηγώντας σε διάλυση ή καταστροφή των ανθρακικών και έτσι στην απελευθέρωση των βαρέων μετάλλων που ήταν δεσμευμένα με αυτά. Με περαιτέρω μείωση του pH, βαρέα μέταλλα που ήταν προσροφημένα σε οξείδια του μαγγανίου ή του σιδήρου μπορούν επίσης να απελευθερωθούν από τα υπολείμματα και να βρεθούν στο εκχύλισμα. Επίσης, όταν η τιμή του pH παραμένει κάτω από 2, εάν η κατάσταση του μέσου εκχύλισης είναι κατάλληλη για την οξείδωση των σουλφιδίων, τα βαρέα μέταλλα που ήταν δεσμευμένα σε αυτά θα απελευθερωθούν. Συμπεραίνεται λοιπόν, πως το δυναμικό εκχυλισιμότητας των βαρέων μετάλλων καθορίζεται από το pH του εκάστοτε απόβλητου (Van der Sloot et al, 2004). Τα σχόλια αυτής της παραγράφου ισχύουν και για τα υπόλοιπα εξεταζόμενα δείγματα που αναφέρονται παρακάτω.

Στο επόμενο Διάγραμμα 5.9 παρουσιάζονται όλοι οι παράγοντες που ελέγχουν την απελευθέρωση από ένα υλικό σαν συνάρτηση του pH (van der Sloot et al, 2004):



Διάγραμμα 5.8: Παράγοντες που ελέγχουν την απελευθέρωση από ένα υλικό σαν συνάρτηση του pH

5.1.4 Συμπεράσματα

Σχετικά με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης στο δείγμα της υπολειμματικής τέφρας, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Τα ποσοστά εκχύλισης παρουσιάζονται:
 - Για το νικέλιο, μέτρια στην pH stat και πρακτικά μηδενικά στις άλλες δυο μεθόδους.
 - Για τον μόλυβδο, υψηλά στην DIN 19730, μέτρια στην DIN 38414 και μηδενικά στην pH stat.
 - Για τον ψευδάργυρο, υψηλά στην DIN 19730 και μηδενικά στις άλλες δυο μεθόδους.
 - Για το χαλκό, πρακτικά μηδενικά σε όλες τις μεθόδους.
 - Για το κάδμιο, υψηλά εκτός από την μέθοδο pH stat.
2. Τα μεγαλύτερα ποσοστά εκχύλισης εμφανίζονται στην DIN 19730 και τα μικρότερα στην DIN 38414. Αυτό είναι κάτι που εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο μέσο εκχύλισης και αναλύεται λεπτομερώς στο επόμενο Κεφάλαιο.
3. Όσον αφορά το ενδεχόμενο ρύπανσης των εδαφών και του πόσιμου νερού:
 - Τα αποτελέσματα της DIN 19730 δείχνουν πως υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ρύπανσης του πόσιμου νερού από τα εκχυλίσματα του δείγματος της υπολειμματικής τέφρας, μιας και οι μετρούμενες τιμές όλων σχεδόν των μετρούμενων ρύπων υπερβαίνουν τα αντίστοιχα όρια. Επίσης, κίνδυνος ρύπανσης παρουσιάζεται και για τα εδάφη στην περίπτωση διάθεσης εκχυλισμάτων αδρανών (κυρίως) και μη επικίνδυνων (σε μερικές περιπτώσεις) στερεών αποβλήτων.
 - Τα αποτελέσματα της DIN 38414 δείχνουν πως παρουσιάζεται κίνδυνος ρύπανσης του πόσιμου νερού από τις υψηλές ποσότητες αμμωνιακών και θειικών ιόντων, μολύβδου και χαλκού. Επίσης, παρουσιάζεται κίνδυνος ρύπανσης και των εδαφών λόγω υπέρβασης των ορίων σχετικά με τη διάθεση αδρανών στερεών αποβλήτων για τους ρύπους που προαναφέρθηκαν.
 - Τα αποτελέσματα της pH stat δείχνουν πως παρουσιάζεται κίνδυνος ρύπανσης του πόσιμου νερού καθώς των εδαφών στην περίπτωση

διάθεσης αδρανών στερεών αποβλήτων από όλα τα μετρούμενα βαρέα μέταλλα και τα θειικά και χλωριούχα ιόντα.

- Επίσης, υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης ευτροφισμού σε περίπτωση που τα εκχυλίσματα καταλήξουν σε κάποιο ταμιευτήρα νερού, καθώς οι συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου υπερβαίνουν τις ενδεικτικές τιμές για τον έλεγχο του, σε όλες τις μεθόδους εκχύλισης και για όλα τα δείγματα, πλην του ιζήματος από το ρέμα κατά την εφαρμογή της pH stat.

5.2 Δείγματα από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου

Αρχικά παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που προέκυψαν από την διαδικασία χώνευσης των δειγμάτων του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου. Σημειώνεται πως στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάστηκαν συνολικά τρία δείγματα, καθένα προερχόμενο από διαφορετικό σημείο του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου:

1. Το πρώτο προήλθε από το πρανές του ΧΑΔΑ (σημειώνεται πως στον συγκεκριμένο ΧΑΔΑ γινόταν ανεξέλεγκτη ρίψη των απορριμμάτων τα οποία έπειτα σκεπάζονταν με χώμα). Ήταν, δηλαδή, ένα στερεό δείγμα απορριμμάτων.
2. Το δεύτερο προήλθε από τη βάση του πρανούς του ΧΑΔΑ. Ήταν ένα στερεό δείγμα (ίζημα), επιβαρυμένο με στραγγίσματα που διέρχονταν από το εν λόγω σημείο.
3. Το τρίτο ήταν ένα στερεό δείγμα (ίζημα εντός ρέματος) που προήλθε από ένα σημείο, περίπου 200 m από το πρανές του ΧΑΔΑ, επιβαρυμένο με στραγγίσματα, που διέρχονταν από το συγκεκριμένο σημείο (όπως το δεύτερο δείγμα).

Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω δειγμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.15:

Πίνακας 5.15: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου

	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές	68.25	25.1	53.8	25.1	1.2
Ίζημα βάσης πρανούς	60.48	26.4	46.95	23.9	1.2
Ίζημα ρέματος	55.13	24.9	45.9	20.85	1.4

Παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα δείγματα του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές, κάτι που ενδεχομένως οφείλεται στα είδη στερεών αποβλήτων που εναποτίθεντο ανεξέλεγκτα στην εν λόγω χωματερή, στην ποσότητα αυτών και στην χρονική διάρκεια λειτουργίας του εν λόγω ΧΑΔΑ. Επίσης, διαπιστώνεται ότι οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα τρία διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, κάτι που σημαίνει ότι το επίπεδο της ρύπανσης είναι σχεδόν ίδιο, τόσο στο πρανές του ΧΑΔΑ, όσο και σε μία απόσταση περί τα 200 – 300 m από αυτόν. Φυσικά, αυτό που ενδιαφέρει αρχικά είναι οι συγκεντρώσεις (και το ποσοστό αυτών) που εν τέλει εκχυλίζονται με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης και το κατά πόσο οι συγκεντρώσεις αυτές υπερβαίνουν τα θεσπιζόμενα όρια.

5.2.1 Μέθοδος DIN 19730

Σημειώνεται πως στην συγκεκριμένη μέθοδο το αρχικό pH ήταν 7.90 για το δείγμα από το πρανές του ΧΑΔΑ, 8.45 για το ίζημα από τη βάση του πρανούς και 8.40 για το ίζημα του ρέματος. Επίσης, οι αντίστοιχες τιμές για το pH του εκχυλίσματος ήταν 7.33, 7.42 και 7.40. Στον Πίνακα 5.16 παρακάτω, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις για τα χλωριούχα και θειικά ιόντα καθώς και για τον ολικό φώσφορο, καθώς και τα αντίστοιχα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού:

Πίνακας 5.16: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου και όρια ποιότητας πόσιμου νερού

	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	TP (mg/l)
Πρανές	50 mg/l ή 166.67 mg/kg	17 mg/l ή 56.67 mg/kg	0.2
Ίζημα βάσης πρανούς	52.5 mg/l ή 175 mg/kg	12 mg/l ή 40 mg/kg	0.133
Ίζημα ρέματος	51.25 mg/l ή 170.83 mg/kg	14 mg/l ή 46.67 mg/kg	0.103
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (mg/l)			
	250	250	0.05/0.1

Στον επόμενο Πίνακα 5.17 παρουσιάζονται τα όρια για τα εκχυλίσματα των αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων:

Πίνακας 5.17: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων σε εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 2 lt/kg

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	560	550
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	10000	10000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 2 lt/kg	25000	17000

Από τους Πίνακες 5.16 και 5.17 παραπάνω, διαπιστώνεται πως δεν υπάρχει καμία υπέρβαση των αναφερόμενων ορίων για τα εδάφη και το πόσιμο νερό, τόσο από τα χλωριούχα όσο και από τα θειικά ιόντα. Αντιθέτως, παρουσιάζεται υπέρβαση των ενδεικτικών τιμών ελέγχου του ευτροφισμού από τις συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου.

Στον Πίνακα 5.18 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα τρία εξεταζόμενα δείγματα του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου και τα όρια διάθεσης των εκχυλισμάτων με λόγο L/S = 2 lt/kg και ποιότητας πόσιμου νερού, ενώ στον Πίνακα 5.19 τα αντίστοιχα ποσοστά εκχύλισης:

Πίνακας 5.18: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με L/S = 2 lt/kg και όρια ποιότητας πόσιμου νερού

	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές	2.77	7.56	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα βάσης πρανούς	0.55	4.59	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα ρέματος	0.52	5.4	N.D.	N.D.	N.D.
	Ni (mg/lt)	Pb (mg/lt)	Zn (mg/lt)	Cu (mg/lt)	Cd (mg/lt)
Πρανές	0.83	2.27	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα βάσης πρανούς	0.165	1.38	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα ρέματος	0.16	1.62	N.D.	N.D.	N.D.
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ) ΜΕ ΛΟΓΟ ΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟ ΙΣΟ ΜΕ 2 lt/kg, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)					
Αδρανή	0.2	0.2	2	0.9	0.03
Μη επικίνδυνα	5	5	25	25	0.6
Επικίνδυνα	20	25	90	50	3
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (ppm)					
	0.02	0.1	3	2	0.003

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω Πίνακα, οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου, του καδμίου και του χαλκού είναι μη ανιχνεύσιμες, ενώ αυτές του μολύβδου και του νικελίου είναι πάρα πολύ χαμηλές. Υπέρβαση των ορίων παρατηρείται στην περίπτωση των εκχυλισμάτων αδρανών και μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων και ποιότητας του πόσιμου νερού. Αυτό, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως οφείλεται στο γεγονός ότι, παρά τις χαμηλές συγκεντρώσεις του μολύβδου και του νικελίου, τα όρια αυτά είναι πάρα πολύ αυστηρά, με πολύ χαμηλές τιμές.

Πίνακας 5.19: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
Πρανές	4	30	---	---	---
Ίζημα βάσης πρανούς	1	17.5	---	---	---
Ίζημα ρέματος	1	21.5	---	---	---

Όπως είναι φυσικό, βάσει και των αποτελεσμάτων του Πίνακα 5.20, τα ποσοστά εκχύλισης είναι πολύ χαμηλά για το νικέλιο και μόνο στην περίπτωση του μολύβδου αγγίζουν μέχρι και το 30 %. Για τα άλλα τρία βαρέα μέταλλα, δεν μπορούν αν προσδιοριστούν.

5.2.2 Μέθοδος DIN 38414

Σημειώνεται πως στην συγκεκριμένη μέθοδο το αρχικό pH ήταν 7.90 για το δείγμα από το πρανές του ΧΑΔΑ, 8.45 για το ίζημα από τη βάση του πρανούς και 8.40 για το ίζημα του ρέματος. Επίσης, οι αντίστοιχες τιμές για το pH του εκχυλίσματος ήταν 7.86, 8 και 7.04. Στον Πίνακα 5.20 παρακάτω, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των μετρούμενων ανόργανων ρύπων στα τρία δείγματα του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου, καθώς και τα αντίστοιχα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και ποιότητας πόσιμου νερού:

Πίνακας 5.20: Συγκεντρώσεις νιτρικών, θεικών, αμμωνιακών και χλωριούχων ιόντων και ολικού φωσφόρου και αζώτου και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων

	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	TN	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Cl ⁻	TP (mg/l)
Πρανές	4 mg/l ή 40 mg/kg	56.25 mg/l ή 562.5 mg/kg	13.93 mg/l ή 139.3 mg/kg	2.68	< 10 mg/l ή < 100 mg/kg	0.128
Ίζημα βάσης πρανούς	1.93 mg/l ή 19.3 mg/kg	72.5 mg/l ή 725 mg/kg	6.08 mg/l ή 60.8 mg/kg	2.8	< 10 mg/l ή < 100 mg/kg	0.125
Ίζημα ρέματος	5.6 mg/l ή 56 mg/kg	52.5 mg/l ή 525 mg/kg	10.5 mg/l ή 105 mg/kg	2.5	< 10 mg/l ή < 100 mg/kg	0.155
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ						
Εδάφη (mg/kg)	500 mg/kg	---	500 mg/kg	~ 500	---	---
Πόσιμο νερό (mg/l)	11.5/50	250	50	0.39/0.5	250	0.05/0.1

Τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 5.21:

Πίνακας 5.21: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων σε εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	1000	800
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	20000	15000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	50000	25000

Όπως διαπιστώνεται από τους Πίνακες 5.20 και 5.21 παραπάνω, η μόνη υπέρβαση που παρατηρείται είναι αυτή της συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων σε σχέση με το αντίστοιχο όριο ποιότητας για το πόσιμο νερό. Όπως παρατηρείται από τα εξεταζόμενα δείγματα της υπολειμματικής τέφρας, προηγουμένως, και αυτών από τον ΧΑΔΑ του Κολυμπαρίου, τα αμμωνιακά ιόντα συναντώνται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται στην δομή αυτών των στερεών αποβλήτων, η οποία μπορεί να είναι τέτοια που να επιτρέπει την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων αμμωνιακών ιόντων. Επίσης, παρατηρείται η παρουσία των νιτρικών ιόντων σε όλα τα εξεταζόμενα δείγματα, σε χαμηλές συγκεντρώσεις, κάτι που υποδεικνύει την παρουσία οξυγόνου στα εκχυλίσματα, που χρησιμοποιείται για την μερική οξείδωση των αμμωνιακών ιόντων (Chrysochoou et al, 2003).

Στον Πίνακα 5.22 παρακάτω παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα τρία δείγματα του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου καθώς και τα όρια για την ποιότητα του πόσιμου νερού και διάθεσης εκχυλισμάτων με λόγο L/S = 10 lt/kg:

Πίνακας 5.22: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με L/S= 10 lt/kg και όρια ποιότητας πόσιμου νερού

	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές	2.19	4.32	0.2	N.D.	N.D.
Ίζημα βάσης πρηνούς	N.D.	2.14	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα ρέματος	N.D.	3.41	N.D.	N.D.	N.D.
	Ni (mg/lt)	Pb (mg/lt)	Zn (mg/lt)	Cu (mg/lt)	Cd (mg/lt)
Πρανές	0.219	0.432	0.02	N.D.	N.D.
Ίζημα βάσης πρηνούς	N.D.	0.214	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα ρέματος	N.D.	0.341	N.D.	N.D.	N.D.
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ) ΜΕ ΛΟΓΟ ΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟ ΙΣΟ ΜΕ 2 lt/kg, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)					
Αδρανή	0.4	0.5	4	2	0.04
Μη επικίνδυνα	10	10	50	50	1
Επικίνδυνα	40	50	200	100	5
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (ppm)					
	0.02	0.1	3	2	0.003

Από τον παραπάνω Πίνακα, διαπιστώνεται αυτό που προαναφέρθηκε και στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου DIN 19730, δηλαδή οι πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, ακόμα και μηδενικές, με αποτέλεσμα την τήρηση όλων των αναφερόμενων ορίων για τα εδάφη και το πόσιμο νερό, με μόνη εξαίρεση (πάλι) τον μόλυβδο και το νικέλιο, οι συγκεντρώσεις των οποίων υπερβαίνουν τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών στερεών αποβλήτων και ποιότητας

του πόσιμου νερού. Στον ακόλουθο Πίνακα 5.23 παρουσιάζονται τα ποσοστά εκχύλισης για τα πέντε εξεταζόμενα βαρέα μέταλλα:

Πίνακας 5.23: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
Πρανές	3.2	17.2	---	---	---
Ίζημα βάσης πρανούς	---	8.1	---	---	---
Ίζημα ρέματος	---	13.7	---	---	---

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω Πίνακα τα ποσοστά εκχύλισης για τα τέσσερα από τα πέντε εξεταζόμενα βαρέα μέταλλα δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστούν εφόσον δεν μετρήθηκαν οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις. Μόνο στην περίπτωση του μολύβδου, τα ποσοστά εκχύλισης φτάνουν μέχρι το 17 %.

5.2.3 Μέθοδος pH stat

Αρχικά, στον Πίνακα 5.24 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές για το pH του εκχυλίσματος, καθώς και οι συγκεντρώσεις για τα θειικά και χλωριούχα ιόντα και για τον ολικό φώσφορο:

Πίνακας 5.24: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος, τα χλωριούχα ιόντα και τον ολικό φώσφορο

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	pH εκχυλίσματος	Cl⁻ (mg/l)	TP (mg/l)
Πρανές			
2	6.15	15	0.12
3	6.7	21	0.09
4	7.02	24	0.06
5	7.45	20	0.05
6	7.55	28	0.06
7	7.8	22	0.11
φυσικό pH	8.35	25	0.17
9	8.55	27	0.15
Ίζημα βάσης πρανούς			
2	6.80	21	0.07
3	6.55	30	0.13
4	7.00	43	0.05
5	7.15	32	0.05
6	7.60	24	0.03
7	8.00	25	0.03
φυσικό pH	8.60	27	0.07
9	8.90	26	0.15

Ίζημα ρέματος			
2	6.65	35	0.04
3	6.95	32	0.04
4	7.10	28	0.05
5	7.30	27	0.02
6	7.55	25	0.03
7	7.90	42	0.03
φυσικό pH	8.70	31	0.05
9	8.65	33	0.09

Από τον παραπάνω Πίνακα παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις των χλωριούχων ιόντων και του ολικού φωσφόρου στις διάφορες τιμές pH αυξομειώνονται, χωρίς να παρατηρείται κάποια τάση αύξησης ή μείωσης αυτών.

Τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία χλωριούχων ιόντων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 5.25:

Πίνακας 5.25: Όρια χλωριούχων ιόντων σε εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ
	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	
L/S = 10 lt/kg	800
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	
L/S = 10 lt/kg	15000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	
L/S = 10 lt/kg	25000

Από τους δυο προηγούμενους Πίνακες 5.24 και 5.25 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των χλωριούχων ιόντων στα τρία δείγματα από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου είναι πολύ χαμηλότερες από τα όρια των εκχυλισμάτων που αναφέρονται στον Πίνακα 5.25. Επίσης, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου οι ενδεικτικές τιμές για τον έλεγχο του ευτροφισμού είναι 0.05 για ρεύματα που καταλήγουν άμεσα σε λίμνες ή ταμιευτήρες νερού και 0.1 για ρεύματα που δεν καταλήγουν άμεσα σε λίμνες ή ταμιευτήρες νερού. Λαμβάνοντας τα προαναφερθέντα υπόψιν, καθώς και τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.24, διαπιστώνεται πως παρουσιάζεται υπέρβαση αυτών των τιμών στο δείγμα από το πρανές του ΧΑΔΑ και από το ίζημα από τη βάση του πρανούς και μόνο στην περίπτωση του ιζήματος από το ρέμα η πλειοψηφία των συγκεντρώσεων είναι μικρότερες των τιμών αυτών.

Στον Πίνακα 5.26 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα τρία δείγματα του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου. Στην περίπτωση του μολύβδου οι συγκεντρώσεις παρουσιάζονται τόσο σε ppm όσο και σε mg/l, για να μπορεί να γίνει η σύγκριση και με το αντίστοιχο όριο ποιότητας του πόσιμου νερού.

Πίνακας 5.26: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	Ni (ppm)	Pb (ppm – mg/l)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πραγές					
2	N.D.	5.66 – 0.57	N.D.	N.D.	N.D.
3	N.D.	2.45 – 0.25	N.D.	N.D.	N.D.
4	N.D.	2.01 – 0.2	N.D.	N.D.	N.D.
5	N.D.	0.89 – 0.09	N.D.	N.D.	N.D.
6	N.D.	0.79 – 0.08	N.D.	N.D.	N.D.
7	N.D.	0.62 – 0.06	N.D.	N.D.	N.D.
φυσικό pH	N.D.	0.58 – 0.06	N.D.	N.D.	N.D.
9	N.D.	0.53 – 0.05	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα βάσης πρανούς					
2	N.D.	2.41 – 0.24	N.D.	N.D.	N.D.
3	N.D.	3.48 – 0.35	N.D.	N.D.	N.D.
4	N.D.	1.9 – 0.19	N.D.	N.D.	N.D.
5	N.D.	1.79 – 0.18	N.D.	N.D.	N.D.
6	N.D.	0.97 – 0.1	N.D.	N.D.	N.D.
7	N.D.	0.74 – 0.07	N.D.	N.D.	N.D.
φυσικό pH	N.D.	0.52 – 0.05	N.D.	N.D.	N.D.
9	N.D.	0.55 – 0.06	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα ρέματος					
2	N.D.	2.68 – 0.27	N.D.	N.D.	N.D.
3	N.D.	1.84 – 0.18	N.D.	N.D.	N.D.
4	N.D.	1.40 – 0.14	N.D.	N.D.	N.D.
5	N.D.	1.17 – 0.12	N.D.	N.D.	N.D.
6	N.D.	0.81 – 0.08	N.D.	N.D.	N.D.
7	N.D.	0.58 – 0.06	N.D.	N.D.	N.D.
φυσικό pH	N.D.	0.61 – 0.06	N.D.	N.D.	N.D.
9	N.D.	0.43 – 0.04	N.D.	N.D.	N.D.

Όπως παρατηρείται από τον προηγούμενο Πίνακα, οι μόνες ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις στις διάφορες τιμές pH ήταν αυτές του μολύβδου, κάτι που συνέβει και κατά την εφαρμογή των δυο προηγούμενων μεθόδων.

Στον Πίνακα 5.27 παρουσιάζονται τα ποσοστά εκχύλισης των πέντε βαρέων μετάλλων:

Πίνακας 5.27: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
Πραγές					
2	---	22.5	---	---	---
3	---	9.8	---	---	---
4	---	8	---	---	---
5	---	3.5	---	---	---
6	---	3.15	---	---	---
7	---	2.5	---	---	---
φυσικό pH	---	2.3	---	---	---
9	---	2.1	---	---	---
Ίζημα βάσης πρανούς					
2	---	9.1	---	---	---
3	---	13.1	---	---	---
4	---	7.2	---	---	---
5	---	6.8	---	---	---
6	---	3.7	---	---	---
7	---	2.2	---	---	---
φυσικό pH	---	2.2	---	---	---
9	---	2.1	---	---	---
Ίζημα ρέματος					
2	---	10.8	---	---	---
3	---	7.4	---	---	---
4	---	5.6	---	---	---
5	---	4.7	---	---	---
6	---	3.25	---	---	---
7	---	2.3	---	---	---
φυσικό pH	---	2.5	---	---	---
9	---	1.8	---	---	---

Από τους παραπάνω δυο Πίνακες διαπιστώνεται πως, πλην του μολύβδου, δεν εντοπίστηκαν ίχνη από κάποιο άλλο βαρύ μέταλλο. Επίσης, διαπιστώνεται πως με την αύξηση του pH, οι συγκεντρώσεις του μολύβδου μειώνονται και αντιστοίχως και τα ποσοστά εκχύλισης αυτού. Η παρουσία μόνο του μολύβδου στα εκχυλίσματα των εξεταζόμενων δειγμάτων του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου επιβεβαιώνει τα όσα αναφέρθηκαν στις δυο προηγούμενες μεθόδους εκχύλισης.

Στον παρακάτω Πίνακα 5.28 αναφέρονται τα όρια διάθεσης αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με 10 lt/kg σχετικά με τα βαρέα μέταλλα και στον Πίνακα 5.29 τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού, για την περίπτωση του μολύβδου:

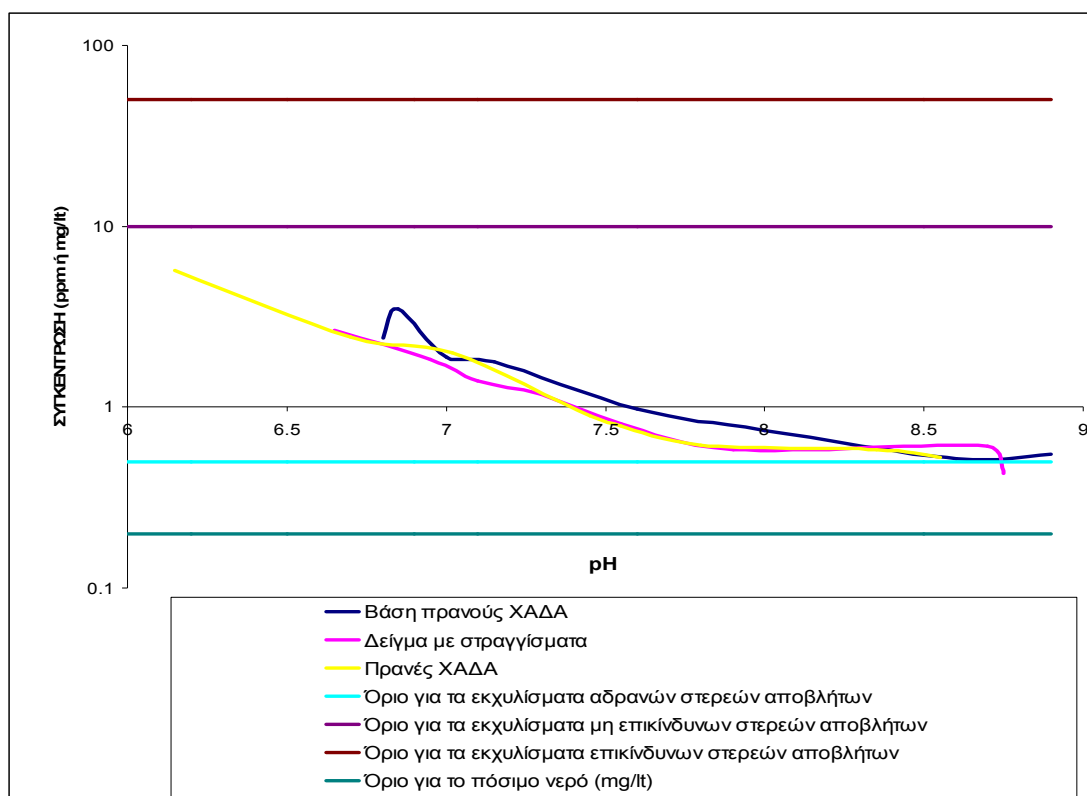
Πίνακας 5.28: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων μολύβδου με λόγο L/S = 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (ppm)	ΜΕΤΑΛΛΟ
	Pb
ΑΔΡΑΝΗ	0.5
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ	10
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ	50

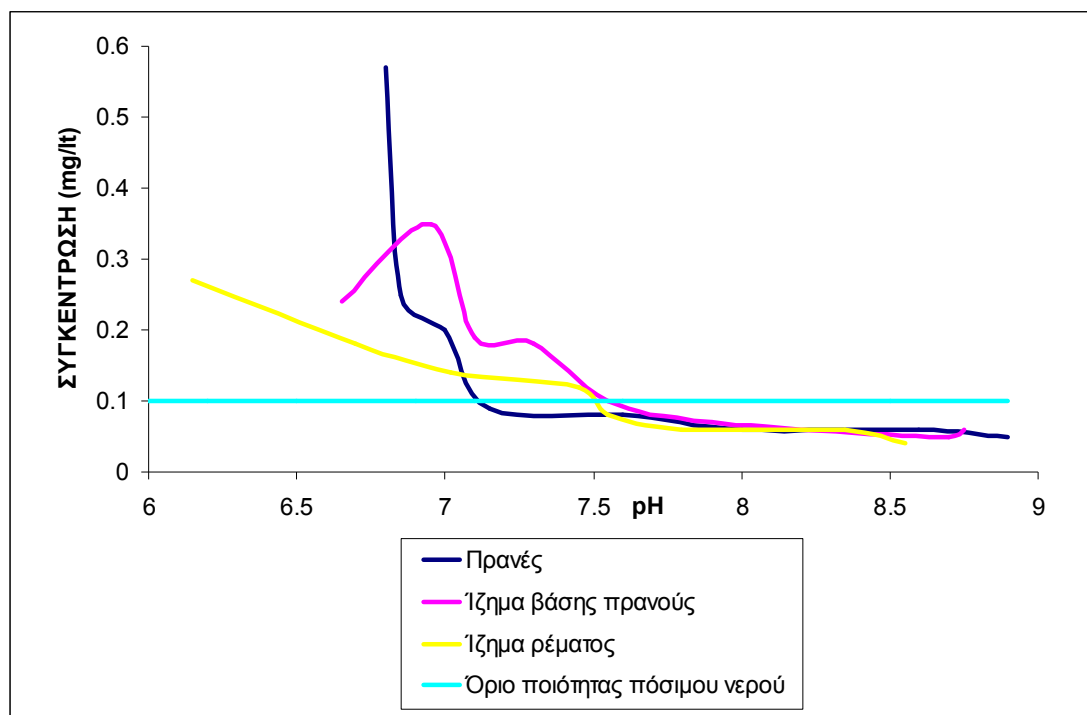
Πίνακας 5.29: Όριο ποιότητας πόσιμου νερού για το μολύβδο

ΟΡΙΟ (mg/lt)	ΜΕΤΑΛΛΟ
	Pb
	0.1

Στο Διάγραμμα 5.9 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του μολύβδου σε κάθε αντίστοιχη τιμή pH, τα όρια διάθεσης των στερεών αποβλήτων σχετικά με τον μολύβδο σε εδάφη και πόσιμο νερό και η σύγκριση μεταξύ των, για τα τρία εξεταζόμενα δείγματα που προέρχονται από τον ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου.



Διάγραμμα 5.9: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg



Διάγραμμα 5.10: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού

Από τα παραπάνω Διαγράμματα παρατηρείται υπέρβαση των ορίων για τα εκχυλίσματα αδρανών στερεών αποβλήτων και αυτού για την ποιότητα του πόσιμου νερού, όπως συνέβει και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Επίσης διαπιστώνεται μείωση των συγκεντρώσεων του μολύβδου με την αύξηση του pH, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι ο μολύβδος απελευθερώνεται περισσότερο σε όξινες συνθήκες, ενώ σε μεγαλύτερες τιμές pH προσροφάται περισσότερο πάνω στην επιφάνεια του στερεού.

5.2.4 Συμπεράσματα

Σχετικά με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης στα δείγματα του ΧΑΔΑ Κολυμπαρίου, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα, λαμβάνοντας υπόψιν ότι όλες σχεδόν οι συγκεντρώσεις των μετρούμενων βαρέων μετάλλων ήταν μη ανιχνεύσιμες πλην αυτών του μολύβδου:

1. Τα ποσοστά εκχύλισης παρουσιάζονται:
 - Για το νικέλιο πρακτικά μη ανιχνεύσιμα σε όλες τις μεθόδους.
 - Για τον μολύβδο υψηλά στην DIN 19730, μέτρια στην DIN 38414 και σχετικά χαμηλά στην pH stat.
 - Για τον ψευδάργυρο, το χαλκό και το κάδμιο μη ανιχνεύσιμα.

2. Όσον αφορά το ενδεχόμενο ρύπανσης των εδαφών και του πόσιμου νερού:

- Τα αποτελέσματα της DIN 19730 δείχνουν πως δεν υπάρχει πιθανότητα ρύπανσης των εδαφών από τους μετρούμενους ανόργανους ρύπους ενώ όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα εμφανίζεται μεγάλη πιθανότητα ρύπανσης από τον μόλυβδο (για όλες τις περιπτώσεις πλην αυτής των επικίνδυνων στερεών αποβλήτων) και το νικέλιο (στην περίπτωση των αδρανών στερεών αποβλήτων και του πόσιμου νερού).
- Τα αποτελέσματα της DIN 38414 δείχνουν πως εμφανίζεται πιθανότητα ρύπανσης του πόσιμου νερού λόγω αυξημένων ποσοτήτων αμμωνιακών ιόντων, καθώς και μολύβδου και νικελίου, για την περίπτωση των αδρανών στερεών αποβλήτων και του πόσιμου νερού.
- Τα αποτελέσματα της pH stat δείχνουν πως εμφανίζεται πιθανότητα ρύπανσης των εδαφών από την παρουσία του μολύβδου στα αδρανή στερεά απόβλητα και στο πόσιμο νερό.
- Επίσης, υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης ευτροφισμού σε περίπτωση που τα εκχυλίσματα καταλήξουν σε κάποιο ταμιευτήρα νερού, καθώς οι συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου υπερβαίνουν τις ενδεικτικές τιμές για τον έλεγχο του, σε όλες τις μεθόδους εκχύλισης και για όλα τα δείγματα, πλην του ιζήματος από το ρέμα κατά την εφαρμογή της pH stat.

3. Τα μεγαλύτερα ποσοστά εκχύλισης εμφανίζονται στην DIN 19730 και τα μικρότερα στην DIN 38414.

Από τα συνολικά αποτελέσματα εξάγεται το συμπέρασμα πως ο κίνδυνος ρύπανσης από απόρριψη των εν λόγω δειγμάτων εντοπίζεται στις αυξημένες ποσότητες μολύβδου, κυρίως, και νικελίου, σε αυτά, ενώ για τους υπόλοιπους μελετώμενους ανόργανους ρύπους ο κίνδυνος είναι αρκετά χαμηλός, έως και ανύπαρκτος. Η ρύπανση αυτή αφορά το πόσιμο νερό, καθώς και την περίπτωση διάθεσης εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων.

5.3 Δείγματα από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού

Αρχικά παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που προέκυψαν από την διαδικασία χώνευσης των δειγμάτων του ΧΑΔΑ Κουρουπητού. Σημειώνεται πως στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάστηκαν συνολικά τέσσερα δείγματα, καθένα προερχόμενο από διαφορετικό σημείο του ΧΑΔΑ:

1. Το πρώτο δείγμα προήλθε από πρανές του ΧΑΔΑ (σημειώνεται πως στον συγκεκριμένο ΧΑΔΑ γινόταν ανεξέλεγκτη ρίψη των απορριμμάτων χωρίς αυτά να σκεπάζονται με χώμα αλλά, αντιθέτως, προκαλούνταν αυτανάφλεξη αυτών, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου που παράγονταν από την αναερόβια χώνευση που λάμβανε χώρα). Ήταν, δηλαδή, ένα στερεό δείγμα απορριμμάτων.
2. Το δεύτερο, στερεό, δείγμα (ίζημα) προήλθε από τη βάση της χαράδρας του Κουρουπητού, ένα σημείο επιβαρυμένο με τα διερχόμενα (μέσω της φυσικής ροής) στραγγίσματα από τα πρανή του ΧΑΔΑ.
3. Το τρίτο δείγμα προήλθε από ένα σημείο του ΧΑΔΑ στο οποίο εκείνη τη χρονική στιγμή, λόγω των εργασιών αποκατάστασης της περιοχής, υπήρχε η δυνατότητα λήψης δείγματος με ηλικία είκοσι και πλέον ετών, δηλαδή δείγματος που είχε υποστεί αποσάθρωση, γήρανση, καύση και βιοαποικοδόμηση.
4. Το τέταρτο, στερεό, δείγμα (ίζημα) προήλθε από την έξοδο της χαράδρας του Κουρουπητού, που καταλήγει σε μία μικρή παραλία, επιβαρυμένο με το σύνολο των στραγγισμάτων του ΧΑΔΑ (μέσω της φυσικής ροής).

Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων των παραπάνω δειγμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.30:

Πίνακας 5.30: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων των δειγμάτων από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού

	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές ΧΑΔΑ	166.8	1066.7	1187.3	3405	3.2
Ίζημα βάσης πρανούς ΧΑΔΑ	45.3	112.5	558.7	246.3	2.6
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	469.7	473.75	12.2	848.7	4.75
Ίζημα παραλίας	85.15	668.75	1210	1226.7	6.5

Παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα δείγματα του ΧΑΔΑ Κουρουπητού, στον Πίνακα 5.30 παραπάνω, είναι πάρα πολύ υψηλές για όλα τα

μετρούμενα βαρέα μέταλλα, κάτι που ενδεχομένως οφείλεται στα είδη στερεών αποβλήτων που εναποτίθεντο ανεξέλεγκτα στην εν λόγω χωματερή, στην ποσότητα αυτών και στην χρονική διάρκεια λειτουργίας του εν λόγω ΧΑΔΑ, που προσέγγισε τα 40 χρόνια. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στο δείγμα από το πρανές του ΧΑΔΑ και σε αυτό από την παραλία, που βρίσκεται στην έξοδο της χαράδρας του Κουρουπητού. Αυτό συμβαίνει, διότι στο πρανές του ΧΑΔΑ γινόταν η απόρριψη των διαφόρων ειδών στερεών αποβλήτων, επομένως είναι λογικό οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων να είναι αρκετά υψηλές σε εκείνο το σημείο, όπως και στην παραλία, λόγω της συγκέντρωσης σε αυτήν, του συνόλου των στραγγισμάτων από τον ΧΑΔΑ του Κουρουπητού. Φυσικά, αυτό που ενδιαφέρει είναι οι συγκεντρώσεις (και το ποσοστό αυτών) που εν τέλει εκχυλίζονται με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης και εάν οι συγκεντρώσεις αυτές υπερβαίνουν τα θεσπιζόμενα όρια.

5.3.1 Μέθοδος DIN 19730

Σημειώνεται πως το αρχικό pH για το δείγμα από το πρανές του ΧΑΔΑ ήταν 7.85, από το ίζημα της βάσης του πρανούς 8, από τα αποσαθρωμένα - γηρασμένα στερεά απόβλητα του ΧΑΔΑ 8.05 και από το ίζημα της παραλίας 8.65. Επίσης, οι αντίστοιχες τιμές για το pH του εκχυλίσματος ήταν 7.30, 7.25, 7.40 και 7.50, αντίστοιχα. Στον Πίνακα 5.31 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των θεικών και χλωριούχων ιόντων και του ολικού φωσφόρου στα παραπάνω δείγματα, καθώς και τα αντίστοιχα όρια ποιότητας πόσιμου νερού:

Πίνακας 5.31: Συγκεντρώσεις θεικών και χλωριούχων ιόντων και ολικού φωσφόρου και όρια ποιότητας πόσιμου νερού

	SO_4^{-2}	Cl^-	TP (mg/l)
Πρανές ΧΑΔΑ	100 mg/l ή 333 mg/kg	17 mg/l ή 56.7 mg/kg	0.24
Ίζημα βάσης πρανούς ΧΑΔΑ	120 mg/l ή 400 mg/kg	5 mg/l ή 16.7 mg/kg	0.24
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	1750 mg/l ή 5833 mg/kg	90 mg/l ή 300 mg/kg	0.11
Ίζημα παραλίας	65 mg/l ή 216.7 mg/kg	34 mg/l ή 113.3 mg/kg	0.21
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (mg/l)			
	250	250	0.05/0.1

Στον επόμενο Πίνακα 5.32 παρουσιάζονται τα όρια για τα εκχυλίσματα των αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 2 \text{ lt/kg}$, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων:

Πίνακας 5.32: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων στα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 2 \text{ lt/kg}$

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO_4^{2-}	Cl^-
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
$L/S = 2 \text{ lt/kg}$	560	550
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
$L/S = 2 \text{ lt/kg}$	10000	10000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
$L/S = 2 \text{ lt/kg}$	25000	17000

Όπως διαπιστώνεται από τους παραπάνω Πίνακες 5.31 και 5.32, παρουσιάζεται υπέρβαση του ορίου ποιότητας του πόσιμου νερού και διάθεσης εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων από την συγκέντρωση των θεικών ιόντων, στο δείγμα των αποσαθρωμένων - γηρασμένων στερεών αποβλήτων, ενδεχομένως λόγω της διάσπασης οργανικών ενώσεων με το πέρασμα του χρόνου και την απελευθέρωση ιόντων, όπως τα θειικά. Επίσης παρουσιάζεται υπέρβαση των ενδεικτικών τιμών ελέγχου του ευτροφισμού από την συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου, ενώ η συγκέντρωση των χλωριούχων ιόντων δεν υπερβαίνει κανένα όριο.

Στον Πίνακα 5.33 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα τέσσερα εξεταζόμενα δείγματα και τα αντίστοιχα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων με λόγο $L/S = 2 \text{ lt/kg}$ και ποιότητας πόσιμου νερού:

Πίνακας 5.33: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 2 \text{ lt/kg}$ και όρια ποιότητας πόσιμου νερού

	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές ΧΑΔΑ	0.51	0.61	2.08	7.41	0.067
Τζημα βάσης πρανούς ΧΑΔΑ	0.41	0.63	0.54	1.9	0.065
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	0.62	1.39	1.02	7.78	0.15
Τζημα παραλίας	0.47	0.55	15.8	22.1	0.062
	Ni (mg/lt)	Pb (mg/lt)	Zn (mg/lt)	Cu (mg/lt)	Cd (mg/lt)
Πρανές ΧΑΔΑ	0.15	0.18	0.62	2.22	0.02
Τζημα βάσης πρανούς ΧΑΔΑ	0.12	0.19	0.16	0.57	0.02
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	0.19	0.42	0.31	2.33	0.04
Τζημα παραλίας	0.14	0.17	4.74	6.63	0.02

ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ) ΜΕ ΛΟΓΟ ΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟ ΙΣΟ ΜΕ 2 lt/kg, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)					
Αδρανή	0.2	0.2	2	0.9	0.03
Μη επικίνδυνα	5	5	25	25	0.6
Επικίνδυνα	20	25	90	50	3
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (mg/l)					
	0.02	0.1	3	2	0.003

Από τον παραπάνω Πίνακα φαίνεται πως οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων μετρήθηκαν στο δείγμα των αποσαθρωμένων - γηρασμένων στερεών αποβλήτων. Αυτό είναι κάτι που οφείλεται στην εκτεταμένη υποβάθμιση του οργανικού υλικού και κυρίως, στην επανακατανομή των βαρέων μετάλλων σαν αποτέλεσμα της εκχύλισης και της αποσύνθεσης των στερεών αποβλήτων. Έτσι, προκύπτει αυξημένη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε τέτοιου είδους δείγματα (Jain et al, 2005).

Παρατηρούνται επίσης, ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και χαλκού στο δείγμα που ελήφθη από την παραλία που βρίσκεται στην έξοδο της χαραδράς του Κουρουπητού. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις ενδέχεται να οφείλονται σε αλληλεπιδράσεις των δυο αυτών μετάλλων με τα χλωριούχα ιόντα, τα οποία βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο θαλασσινό νερό, καθώς και στο σχηματισμό διαλυτών συμπλόκων ή υδροξειδίων.

Τέλος, παρατηρείται υπέρβαση των ορίων διάθεσης εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων και ποιότητας του πόσιμου νερού από όλα τα βαρέα μέταλλα. Αυτό οφείλεται στην αυστηρότητα και τις ελάχιστες τιμές που παίρνουν αυτά τα όρια και στις αυξημένες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα εξεταζόμενα δείγματα, για λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί.

Στον επόμενο Πίνακα 5.34 παρουσιάζονται τα ποσοστά εκχύλισης των πέντε εξεταζόμενων βαρέων μετάλλων:

Πίνακας 5.34: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
Πρανές ΧΑΔΑ	0.3	0.057	0.18	0.21	2.09
Τζιμα βάσης πρανού ΧΑΔΑ	0.9	0.56	0.1	0.77	2.5
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	0.13	0.29	8.36	0.92	3.16
Τζιμα παραλίας	0.55	0.08	1.3	1.8	0.95

Από τον παραπάνω Πίνακα διαπιστώνεται ότι τα ποσοστά εκχύλισης για τα πέντε βαρέα μέταλλα είναι πολύ χαμηλά (στην πλειοψηφία τους κάτω από 1 %).

5.3.2 Μέθοδος DIN 38414

Σημειώνεται πως το αρχικό pH για το δείγμα από το πρανές του ΧΑΔΑ ήταν 7.85, από το ίζημα της βάσης του πρανούς 8, από τα αποσαθρωμένα - γηρασμένα στερεά απόβλητα του ΧΑΔΑ 8.05 και από το ίζημα της παραλίας 8.65. Επίσης, οι αντίστοιχες τιμές για το pH του εκχυλίσματος ήταν 7.90, 7.90, 7.90 και 7.85 αντίστοιχα. Στον Πίνακα 5.35 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των θεικών, νιτρικών, αμμωνιακών και χλωριούχων ιόντων και του ολικού φωσφόρου και αζώτου στα παραπάνω δείγματα, καθώς και τα αντίστοιχα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και ποιότητας πόσιμου νερού:

Πίνακας 5.35: Συγκεντρώσεις νιτρικών, θεικών, αμμωνιακών και χλωριούχων ιόντων, ολικού φωσφόρου και αζώτου, καθώς και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων και ποιότητας πόσιμου νερού

	NO_3^-	SO_4^{2-}	TN	NH_4^+ (mg/Lt)	Cl^-	TP (mg/Lt)
Πρανές ΧΑΔΑ	3.3 mg/Lt ή 33 mg/kg	100 mg/Lt ή 1000 mg/kg	8.9 mg/Lt ή 89 mg/kg	5	2.5 mg/Lt ή 25 mg/kg	0.04
Ίζημα βάσης πρανούς ΧΑΔΑ	2.1 mg/Lt ή 21 mg/kg	120 mg/Lt ή 1200 mg/kg	6.3 mg/Lt ή 63 mg/kg	5	1.5 mg/Lt ή 15 mg/kg	0.1
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	40.4 mg/Lt ή 404 mg/kg	1750 mg/Lt ή 17500 mg/kg	48.5 mg/Lt ή 4850 mg/kg	5	340 mg/Lt ή 3400 mg/kg	0.02
Ίζημα παραλίας	1.9 mg/Lt ή 19 mg/kg	65 mg/Lt ή 650 mg/kg	17.1 mg/Lt ή 1710 mg/kg	3	10 mg/Lt ή 100 mg/kg	0.05
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΟΡΓΑΝΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ						
Εδάφη (mg/kg)	500 mg/kg	---	500 mg/kg	~ 500	---	---
Πόσιμο νερό (mg/Lt)	11.5/50	250	50	0.39/0.5	250	0.05/0.1

Τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 5.36:

Πίνακας 5.36: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων στα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	1000	800
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	20000	15000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	50000	25000

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω Πίνακα, υπάρχει υπέρβαση των ορίων ποιότητας πόσιμου νερού από τα αμμωνιακά και τα νιτρικά ιόντα, ενώ από τα θειικά και τα χλωριούχα ιόντα μόνο για το δείγμα των αποσαθρωμένων - γηρασμένων στερεών αποβλήτων. Επίσης παρουσιάζεται υπέρβαση των ορίων από την συγκέντρωση του ολικού αζώτου για το δείγμα των αποσαθρωμένων – γηρασμένων στερεών αποβλήτων και για το δείγμα του ιζήματος από την παραλία σχετικά με τη διάθεση στα εδάφη και από τις συγκεντρώσεις των θεικών και χλωριούχων ιόντων σχετικά με τη διάθεση αδρανών στερεών αποβλήτων. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις ενδέχεται να οφείλονται στην δημιουργία διαλυτών υδροξειδίων, στην αλληλεπίδραση με τα χλωριούχα ιόντα του θαλασσινού νερού και ίσως στην ύπαρξη ποσοτήτων αυτών των ανόργανων ρύπων στο νερό της βροχής, οι οποίες προστίθενται στις αντίστοιχες ποσότητες των στραγγισμάτων. Όσον αφορά την συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου στις διάφορες τιμές pH, παρατηρείται ότι, με εξαίρεση το δείγμα του ιζήματος της βάσης του πρανούς, δεν υπάρχει υπέρβαση των ενδεικτικών τιμών για τον έλεγχο του ευτροφισμού.

Στον επόμενο Πίνακα 5.37 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα τέσσερα εξεταζόμενα δείγματα του ΧΑΔΑ Κουρουπητού, καθώς και τα αντίστοιχα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού:

Πίνακας 5.37: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg και όρια ποιότητας πόσιμου νερού

	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
Πρανές ΧΑΔΑ	0.2	N.D.	0.45	0.94	N.D.
Ίζημα βάσης πρानούς ΧΑΔΑ	0.17	N.D.	N.D.	0.36	N.D.
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	0.5	0.29	0.15	0.02	N.D.
Ίζημα παραλίας	0.1	N.D.	0.74	N.D.	N.D.
	Ni (mg/lt)	Pb (mg/lt)	Zn (mg/lt)	Cu (mg/lt)	Cd (mg/lt)
Πρανές ΧΑΔΑ	0.02	N.D.	0.04	0.09	N.D.
Ίζημα βάσης πρानούς ΧΑΔΑ	0.02	N.D.	N.D.	0.04	N.D.
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	0.05	0.03	0.02	0.002	N.D.
Ίζημα παραλίας	0.01	N.D.	0.07	N.D.	N.D.
ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ) ΜΕ ΛΟΓΟ ΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΟ ΙΣΟ ΜΕ 10 lt/kg, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)					
Αδρανή	0.4	0.5	4	2	0.04
Μη επικίνδυνα	10	10	50	50	1
Επικίνδυνα	40	50	200	100	5
ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (mg/lt)					
	0.02	0.1	3	2	0.003

Στον παραπάνω Πίνακα φαίνεται πως οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα εξεταζόμενα δείγματα του ΧΑΔΑ Κουρουπητού παρουσιάζονται πάρα πολύ χαμηλές ή ακόμα και μη ανιχνεύσιμες, με αποτέλεσμα να υπερβαίνεται μόνο το όριο περί ποιότητας του πόσιμου νερού, στην περίπτωση των αποσαθρωμένων – γηρασμένων στερεών αποβλήτων για το νικέλιο, το οποίο είναι ούτως ή άλλως πολύ αυστηρό για την διασφάλιση της ποιότητας του νερού, εφόσον αυτό προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Στον Πίνακα 5.38 παρακάτω, παρουσιάζονται τα ποσοστά εκχύλισης των βαρέων μετάλλων:

Πίνακας 5.38: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

	Ni %	Pb %	Zn %	Cu %	Cd %
Πρανές ΧΑΔΑ	0	---	0	0	---
Ίζημα βάσης πρानούς ΧΑΔΑ	0.15	---	---	0	---
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΔΑ	0.1	0	1.23	0	---
Ίζημα παραλίας	0	0	0	---	---

Τα ποσοστά εκχύλισης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.38 είναι πάρα πολύ χαμηλά ή μηδενικά και πολλά από αυτά μη προσδιορίσιμα, εφόσον οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις ήταν μη ανιχνεύσιμες.

5.3.3 Μέθοδος pH stat

Αρχικά, στον Πίνακα 5.39 παρουσιάζονται το pH του εκχυλίσματος και οι συγκεντρώσεις των θεικών και χλωριούχων ιόντων, καθώς και του ολικού φωσφόρου:

Πίνακας 5.39: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα και τον ολικό φώσφορο

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	pH εκχυλίσματος	SO₄⁻² (mg/l)	Cl⁻ (mg/l)	TP (mg/l)
Πρανές ΧΑΛΑ				
2	6.26	115	30	0.38
3	6.3	125	34	0.31
4	6.8	110	45	0.13
5	6.85	100	45	0.1
6	7.4	105	45	0.08
7	7.7	120	60	0.08
φυσικό pH	8.25	100	76	0.08
9	8.3	95	87	0.07
Ψημα βάσης πρανού ΧΑΛΑ				
2	6.70	80	49	0.37
3	6.75	90	49	0.25
4	7.25	75	50	0.08
5	7.50	40	54	0.08
6	7.50	70	62	0.06
7	7.60	75	66	0.04
φυσικό pH	8.25	120	70	0.04
9	8.25	65	72	0.02
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΛΑ				
2	6.61	1400	88	1.26
3	6.74	1450	86	1
4	6.85	1450	73	0.77
5	7.16	1475	69	0.21
6	7.40	1575	92	0.1
7	7.76	1525	90	0.09
φυσικό pH	8.01	1750	80	0.03
9	8.34	1950	89	0
Ψημα παραλίας				
2	6.85	70	40	0.25
3	6.85	70	45	0.23
4	7.00	65	56	0.22
5	7.40	60	55	0.11
6	7.75	65	57	0.07
7	7.86	70	60	0.06
φυσικό pH	8.19	65	59	0.05
9	8.19	65	63	0.06

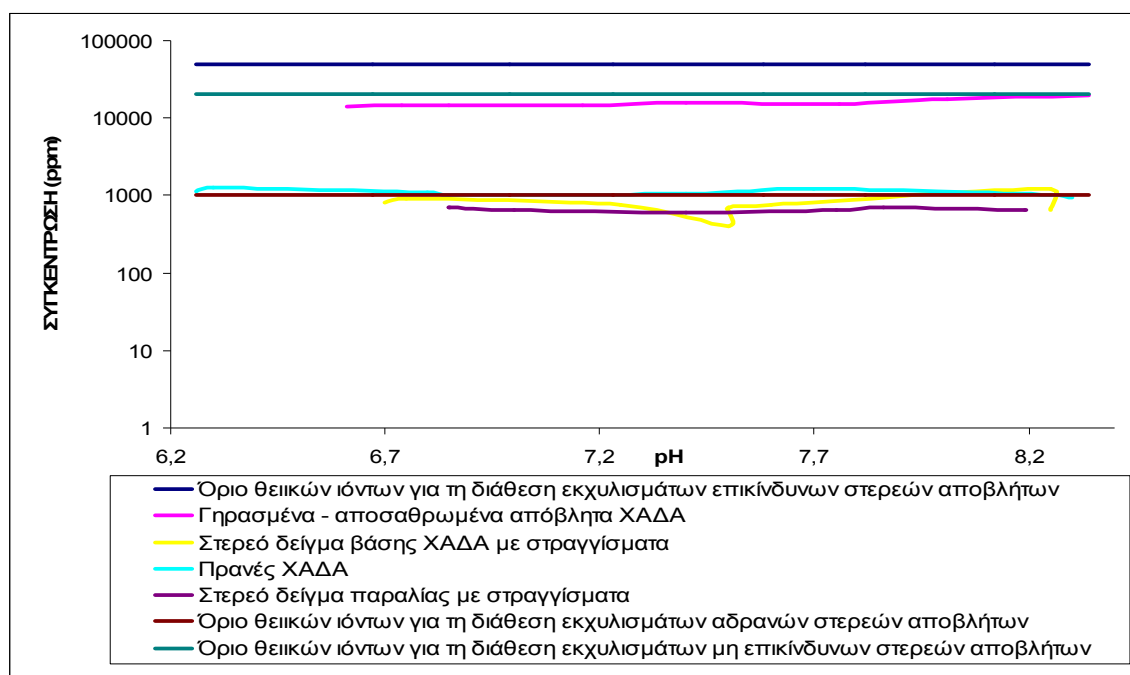
Από τον παραπάνω Πίνακα προκύπτει πως οι συγκεντρώσεις των θεικών ιόντων παραμένουν σταθερές στις διάφορες τιμές pH, με μόνη παρατήρηση ότι εμφανίζονται

πολύ υψηλές στο δείγμα των αποσαθρωμένων – γηρασμένων στερεών αποβλήτων. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των χλωριούχων ιόντων, παρατηρείται ακριβώς η ίδια εικόνα με τις συγκεντρώσεις των θεικών ιόντων. Αντιθέτως, οι συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου φαίνεται ότι μειώνονται με την αύξηση της τιμής του pH. Τα όρια για τα εκχυλίσματα αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg, σχετικά με την παρουσία θεικών και χλωριούχων ιόντων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 5.40:

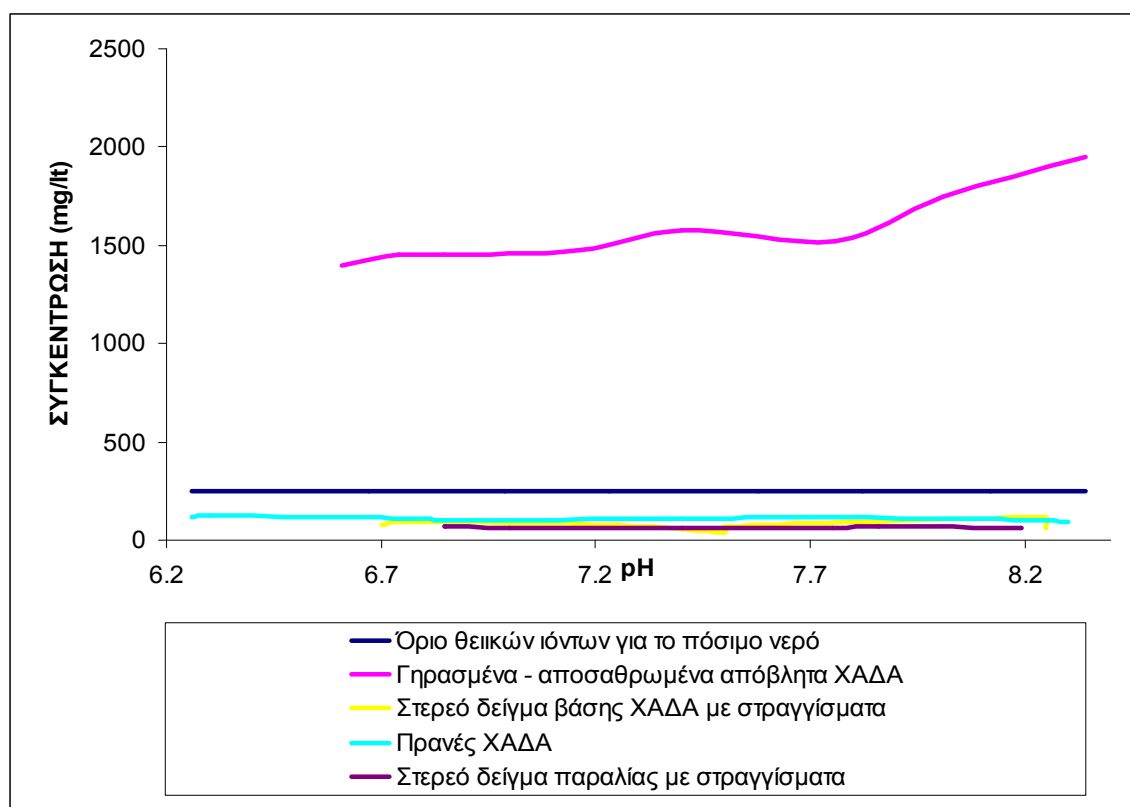
Πίνακας 5.40: Όρια θεικών και χλωριούχων ιόντων στα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (mg/kg)	ΡΥΠΟΙ	
	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	1000	800
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	20000	15000
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ		
L/S = 10 lt/kg	50000	25000

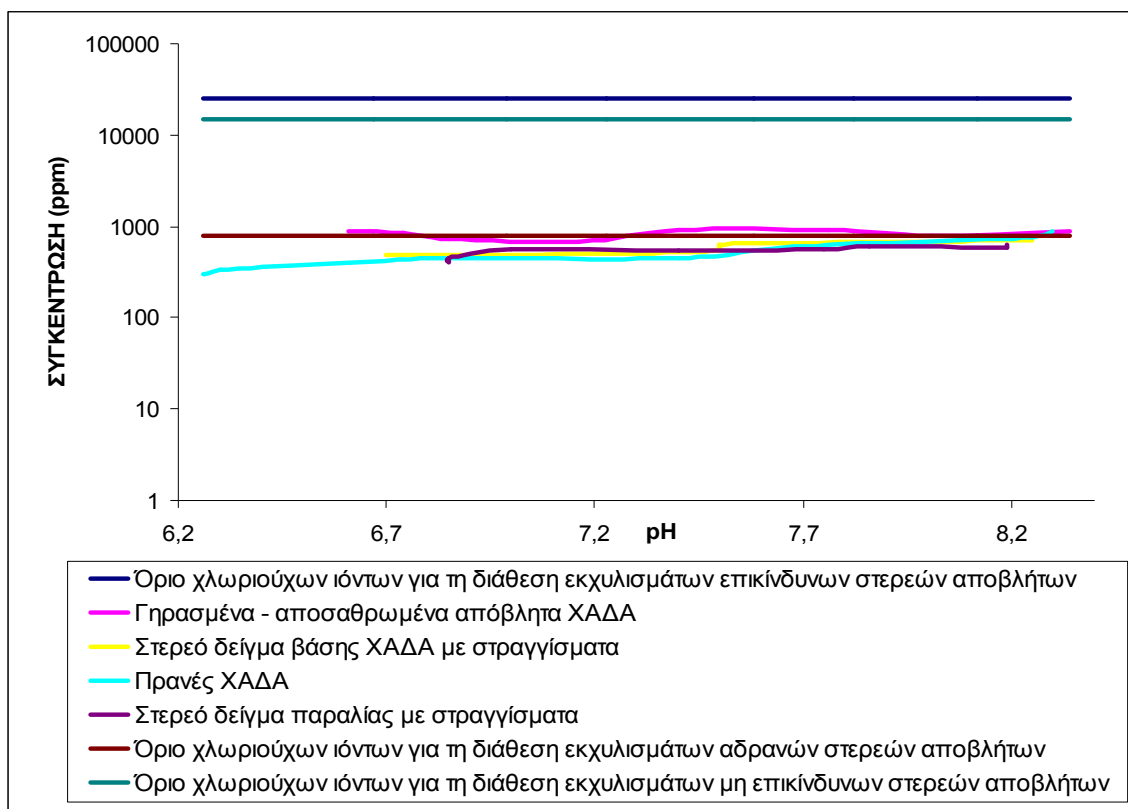
Στα Διαγράμματα 5.11 έως 5.14 παρουσιάζονται οι μετρούμενες τιμές των χλωριούχων και θεικών ιόντων σε κάθε αντίστοιχη τιμή pH, τα όρια διάθεσης των εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων σχετικά με τους ανόργανους αυτούς ρύπους στα εδάφη, τα όρια ποιότητας πόσιμου νερού και η σύγκριση μεταξύ των δυο, για κάθε ένα από τα τέσσερα δείγματα που πάρθηκαν από τον ΧΑΔΑ Κουρουπητού. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου, οι ενδεικτικές τιμές για τον έλεγχο του ευτροφισμού είναι 0.05 mg/l για ρεύματα που καταλήγουν άμεσα σε λίμνες ή άλλους ταμιευτήρες νερού και 0.1 mg/l για ρεύματα που δεν καταλήγουν άμεσα σε λίμνες ή άλλους ταμιευτήρες νερού. Παρατηρείται λοιπόν, από τον Πίνακα 5.40, παραπάνω, πως υπάρχει υπέρβαση των τιμών αυτών στη συντριπτική πλειοψηφία των συγκεντρώσεων του ολικού φωσφόρου στις διάφορες τιμές του pH.



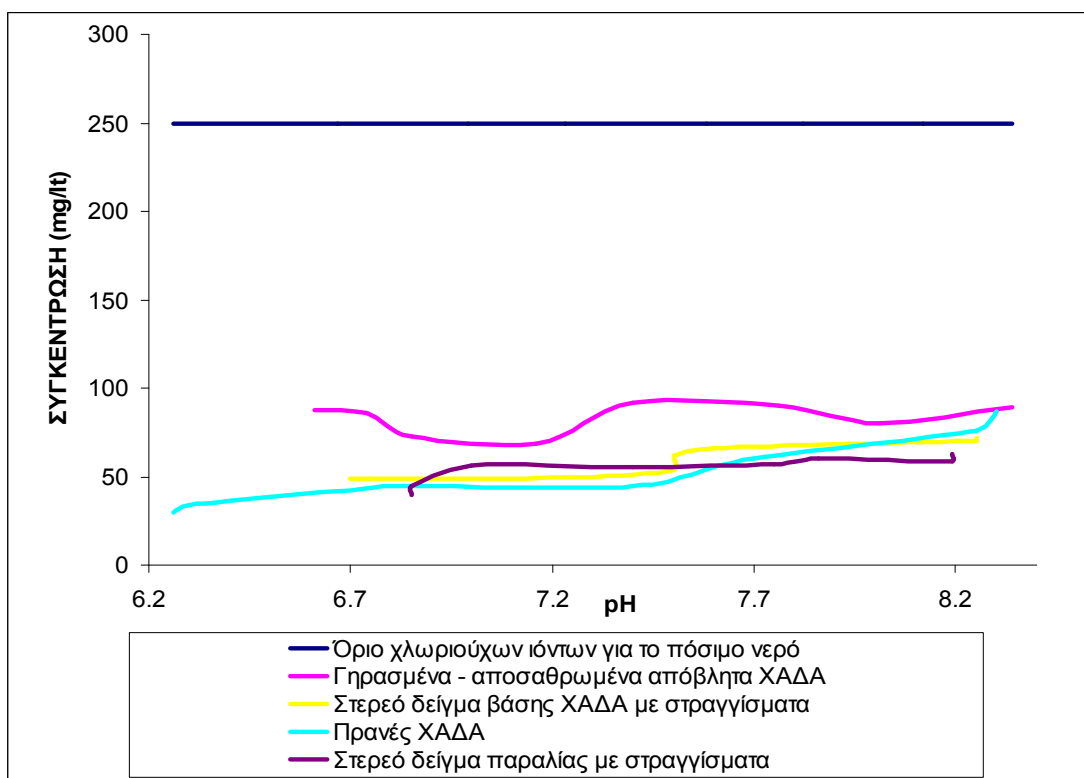
Διάγραμμα 5.11: Σύγκριση συγκεντρώσεων θειικών ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg



Διάγραμμα 5.12: Σύγκριση συγκεντρώσεων θειικών ιόντων με τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού



Διάγραμμα 5.13: Σύγκριση συγκεντρώσεων χλωριούχων ιόντων με τα όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg



Διάγραμμα 5.14: Σύγκριση συγκεντρώσεων χλωριούχων ιόντων με τα όρια ποιότητας πόσιμου νερού

Για την περίπτωση των συγκεντρώσεων των θεικών ιόντων, από τα παραπάνω Διαγράμματα 5.11 και 5.12 παρατηρείται υπέρβαση του ορίου ποιότητας του πόσιμου νερού και διάθεσης των εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων από τις συγκεντρώσεις του δείγματος των αποσαθρωμένων - γηρασμένων στερεών αποβλήτων. Επίσης, πολύ κοντά στο όριο σχετικά με τη διάθεση των εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων βρίσκονται και οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων εξεταζόμενων δειγμάτων.

Για την περίπτωση των συγκεντρώσεων των χλωριούχων ιόντων, από τα παραπάνω Διαγράμματα 5.13 και 5.14 διαπιστώνεται η ίδια εικόνα με τα θειικά ιόντα, όσον αφορά τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού. Όσον αφορά τα όρια για τα εκχυλίσματα στερεών αποβλήτων, παρατηρείται ότι για όλα τα εξεταζόμενα δείγματα, οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις βρίσκονται πολύ κοντά (ή ακόμα και υπερβαίνουν) στο όριο για τα αδρανή στερεά απόβλητα. Στον Πίνακα 5.41 παρακάτω, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα τέσσερα εξεταζόμενα δείγματα:

Πίνακας 5.41: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	Ni (ppm – mg/l)	Pb (ppm – mg/l)	Zn (ppm – mg/l)	Cu (ppm – mg/l)	Cd (ppm – mg/l)
Πραγές ΧΑΛΑ					
2	N.D.	2.89 – 0.29	10.26 – 1.03	1.77 – 0.18	0.17 – 0.02
3	N.D.	2.83 – 0.28	9.48 – 0.95	1.67 – 0.17	0.15 – 0.015
4	N.D.	1.86 – 0.19	2.08 – 0.21	1.04 – 0.1	0.06 – 0.006
5	N.D.	1.66 – 0.17	2.00 – 0.2	0.88 – 0.09	0.04 – 0.004
6	N.D.	1.10 – 0.11	0.95 – 0.095	0.76 – 0.08	N.D.
7	N.D.	0.93 – 0.09	0.38 – 0.04	0.75 – 0.075	N.D.
φυσικό pH	N.D.	0.63 – 0.06	0.04 – 0.004	0.65 – 0.065	N.D.
9	N.D.	0.66 – 0.07	0.04 – 0.004	0.55 – 0.55	N.D.
Ίζημα βάσης πρανούς ΧΑΛΑ					
2	N.D.	2.68 – 0.27	2.72 – 0.27	1.00 – 0.1	0.14 – 0.01
3	N.D.	2.73 – 0.27	2.62 – 0.26	0.87 – 0.09	0.13 – 0.01
4	N.D.	1.06 – 0.11	0.68 – 0.07	0.66 – 0.07	N.D.
5	N.D.	0.94 – 0.09	0.37 – 0.04	0.59 – 0.06	N.D.
6	N.D.	0.83 – 0.08	0.16 – 0.02	0.55 – 0.055	N.D.
7	N.D.	0.80 – 0.08	0.16 – 0.02	0.53 – 0.05	N.D.
φυσικό pH	N.D.	0.67 – 0.07	0.12 – 0.01	0.43 – 0.04	N.D.
9	N.D.	0.69 – 0.07	0.08 – 0.008	0.43 – 0.04	N.D.
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΛΑ					
2	2.98 – 0.3	2.77 – 0.28	2.84 – 0.28	0.72 – 0.07	0.28 – 0.03
3	2.59 – 0.26	2.65 – 0.27	1.34 – 0.13	0.62 – 0.06	0.23 – 0.02
4	2.40 – 0.24	2.15 – 0.21	0.74 – 0.07	0.60 – 0.06	0.19 – 0.02
5	2.21 – 0.22	1.40 – 0.14	0.47 – 0.05	0.44 – 0.04	0.14 – 0.01
6	2.02 – 0.2	0.89 – 0.09	0.23 – 0.02	0.21 – 0.02	0.10 – 0.01
7	2.03 – 0.2	0.74 – 0.07	N.D.	0.13 – 0.01	0.09 – 0.009
φυσικό pH	1.90 – 0.19	0.61 – 0.06	N.D.	0.08 – 0.008	0.07 – 0.007
9	1.70 – 0.17	0.46 – 0.05	N.D.	N.D.	N.D.
Ίζημα παραλίας					
2	N.D.	1.87 – 0.19	2.57 – 0.26	0.13 – 0.01	0.06 – 0.006
3	N.D.	1.73 – 0.17	2.45 – 0.24	0.07 – 0.007	0.04 – 0.004
4	N.D.	1.57 – 0.16	1.88 – 0.19	0.05 – 0.005	0.03 – 0.003
5	N.D.	1.21 – 0.12	0.66 – 0.07	N.D.	N.D.
6	N.D.	0.81 – 0.08	0.31 – 0.03	N.D.	N.D.
7	N.D.	0.60 – 0.06	N.D.	N.D.	N.D.
φυσικό pH	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 5.42 παρουσιάζονται τα ποσοστά εκχύλισης για τα βαρέα μέταλλα:

Πίνακας 5.42: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
Πραγές ΧΑΛΑ					
2	---	0.24	0.8	0.05	4.69
3	---	0.26	0.86	0.05	5.31
4	---	0.17	0.18	0.02	1.88
5	---	0.16	0.17	0.03	1.25
6	---	0.1	0.08	0.02	---
7	---	0.09	0.03	0.02	---
φυσικό pH	---	0.06	---	0.03	---
9	---	0.06	---	0.02	---
Ίζημα βάσης πρανούς ΧΑΛΑ					
2	---	2.38	0.48	0.4	5.38
3	---	2.43	0.47	0.35	5
4	---	0.94	0.12	0.27	---
5	---	0.84	0.07	0.24	---
6	---	0.74	0.03	0.22	---
7	---	0.71	0.03	0.22	---
φυσικό pH	---	0.6	0.08	0.38	---
9	---	0.61	0.05	0.38	---
Αποσαθρωμένα – γηρασμένα στερεά απόβλητα ΧΑΛΑ					
2	0.63	0.58	23.27	0.08	4.84
3	0.55	0.56	10.98	0.07	5.89
4	0.51	0.45	0.07	0.07	4
5	0.47	0.3	3.85	0.05	2.95
6	0.43	0.19	1.88	0.02	2.1
7	0.43	0.16	---	0.02	1.89
φυσικό pH	0.4	0.13	---	---	1.47
9	0.36	0.1	---	---	---
Ίζημα παραλίας					
2	---	0.28	0.21	0.01	0.92
3	---	0.26	0.16	---	0.61
4	---	0.23	0.2	---	0.46
5	---	0.18	0.05	---	---
6	---	0.12	0.02	---	---
7	---	0.09	---	---	---
φυσικό pH	---	---	---	---	---
9	---	---	---	---	---

Από τους παραπάνω δυο Πίνακες διαπιστώνεται πως, ανιχνεύθηκαν όλα τα μετρούμενα βαρέα μέταλλα στα εξεταζόμενα δείγματα. Το νικέλιο, όμως, εμφανίζεται μόνο στο δείγμα των αποσαθρωμένων - γηρασμένων στερεών αποβλήτων, ενώ ο χαλκός σε αρκετά χαμηλές ποσότητες. Επίσης, κατά γενική ομολογία, σε υψηλές τιμές pH δεν παρουσιάζονται ίχνη των εν λόγω μετάλλων.

Στον Πίνακα 5.43 που ακολουθεί, αναφέρονται τα όρια διάθεσης αδρανών, μη επικίνδυνων και επικίνδυνων στερεών αποβλήτων με λόγο υγρό προς στερεό ίσο με

10 lt/kg σχετικά με τα βαρέα μέταλλα και στον Πίνακα 5.44 τα όρια ποιότητας του πόσιμου νερού:

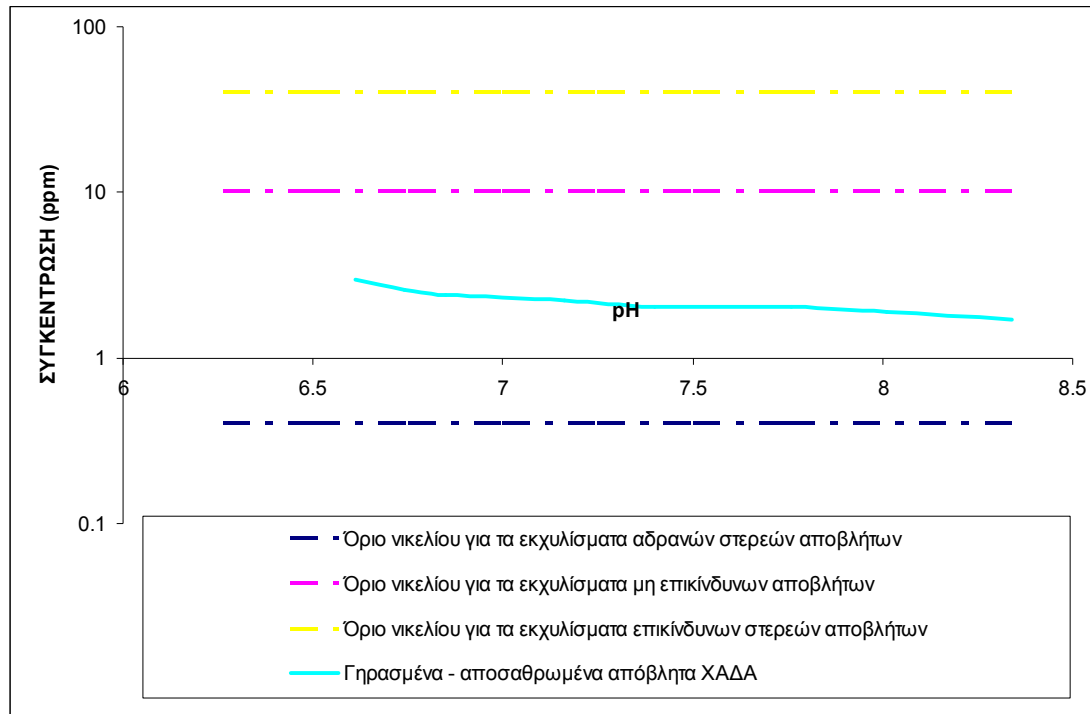
Πίνακας 5.43: Όρια διάθεσης εκχυλισμάτων στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg

ΟΡΙΑ (ppm)	ΜΕΤΑΛΛΟ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
ΑΔΡΑΝΗ	0.4	0.5	4	2	0.04
ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ	10	10	50	50	1
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ	40	50	200	100	5

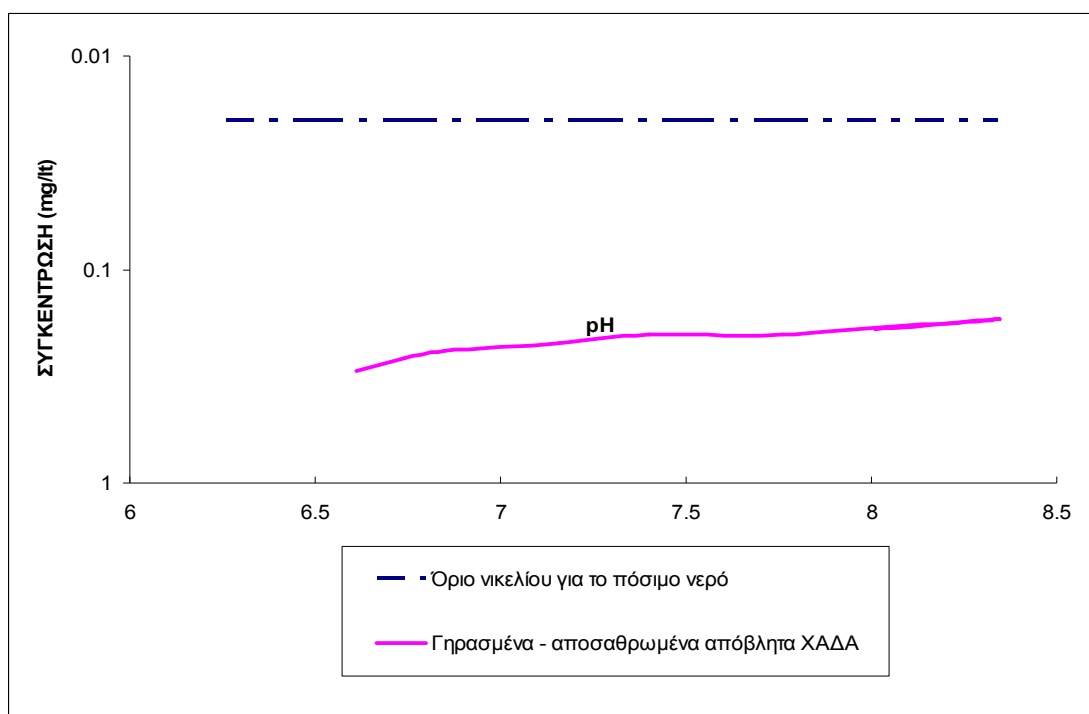
Πίνακας 5.44: Όρια ποιότητας πόσιμου νερού

ΟΡΙΑ (mg/l)	ΜΕΤΑΛΛΟ				
	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
	0.02	0.1	3	2	0.003

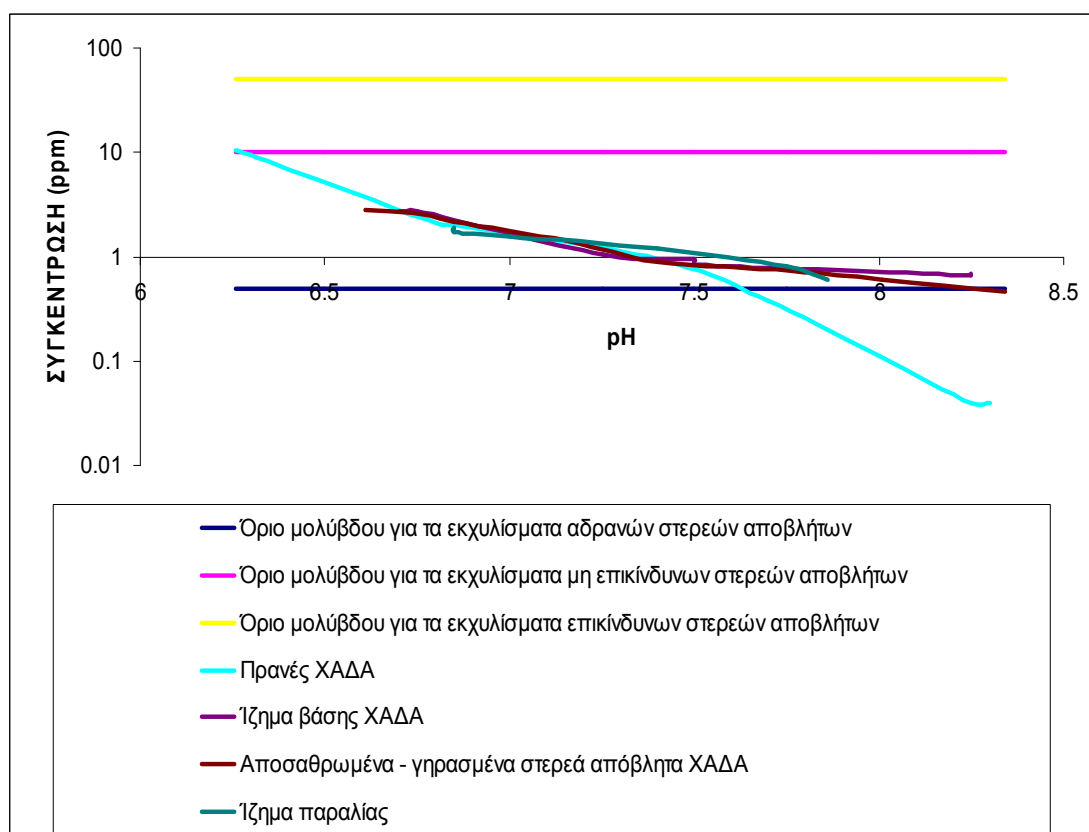
Στα Διαγράμματα 5.15 έως 5.24, που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι μετρούμενες τιμές των εξεταζόμενων βαρέων μετάλλων σε κάθε αντίστοιχη τιμή pH, τα όρια διάθεσης των στερεών αποβλήτων σχετικά με αυτά σε εδάφη και η σύγκριση μεταξύ των δυο, για τα εξεταζόμενα δείγματα του ΧΑΔΑ Κουρουπητού.



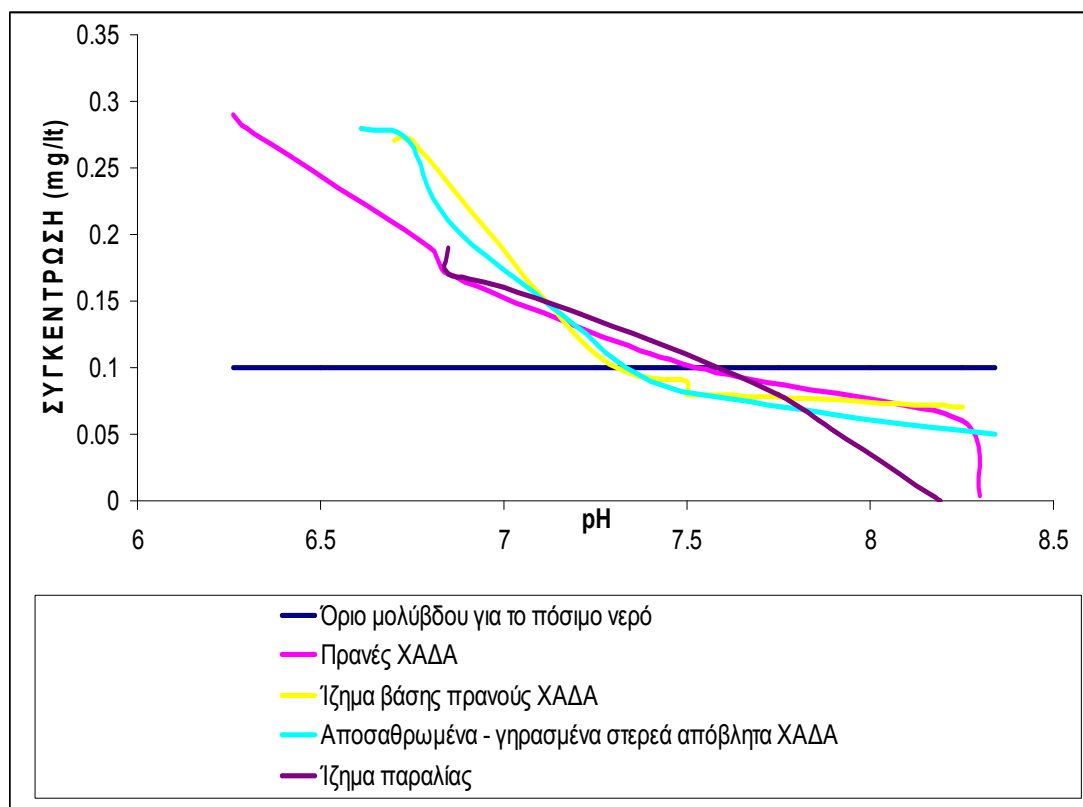
Διάγραμμα 5.15: Σύγκριση συγκεντρώσεων νικελίου με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg



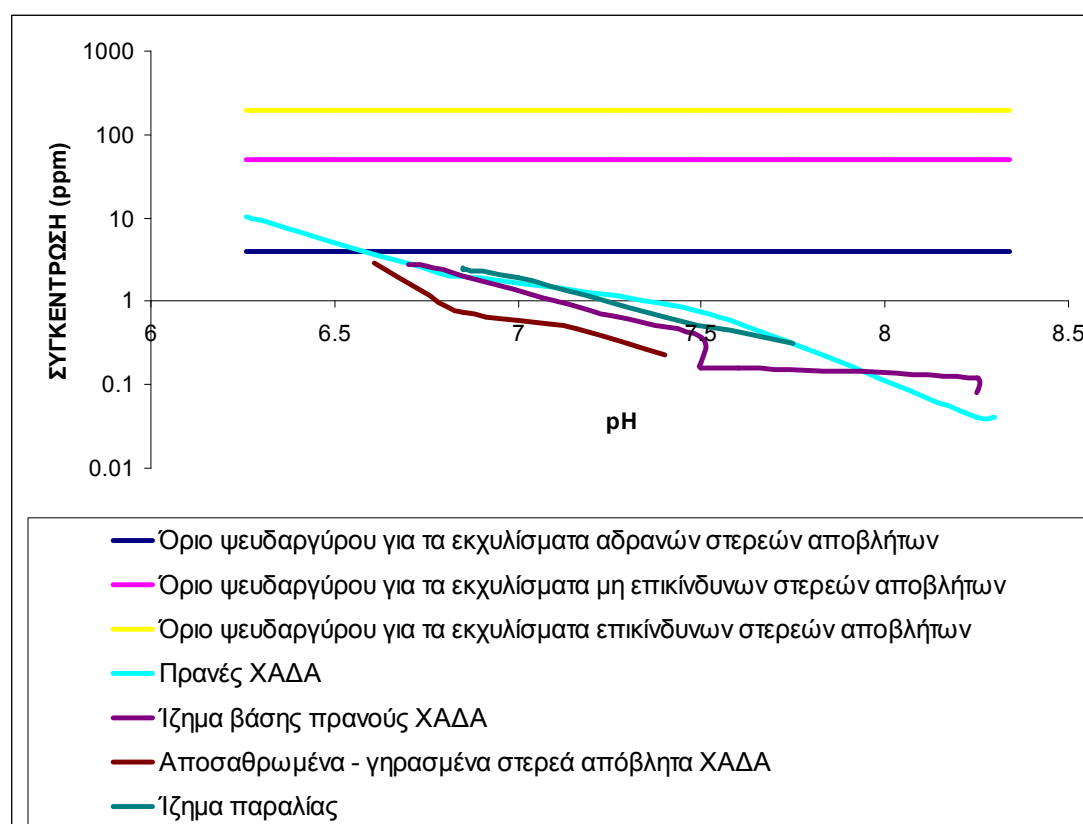
Διάγραμμα 5.16: Σύγκριση συγκεντρώσεων νικελίου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού



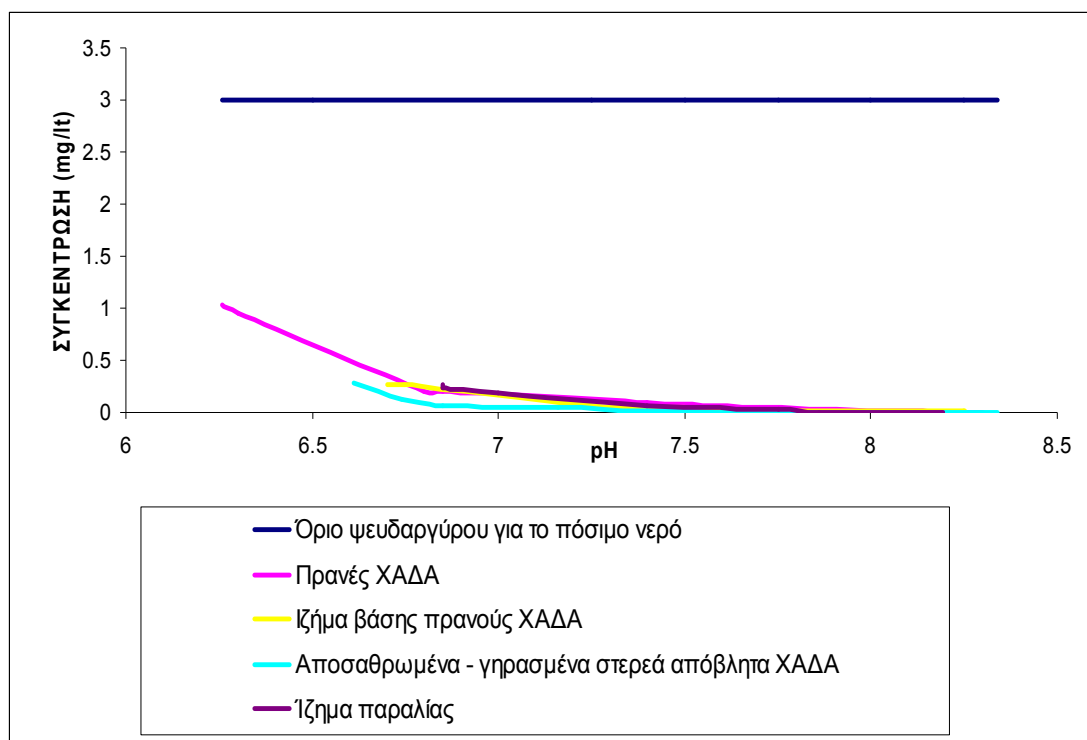
Διάγραμμα 5.17: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο L/S = 10 lt/kg



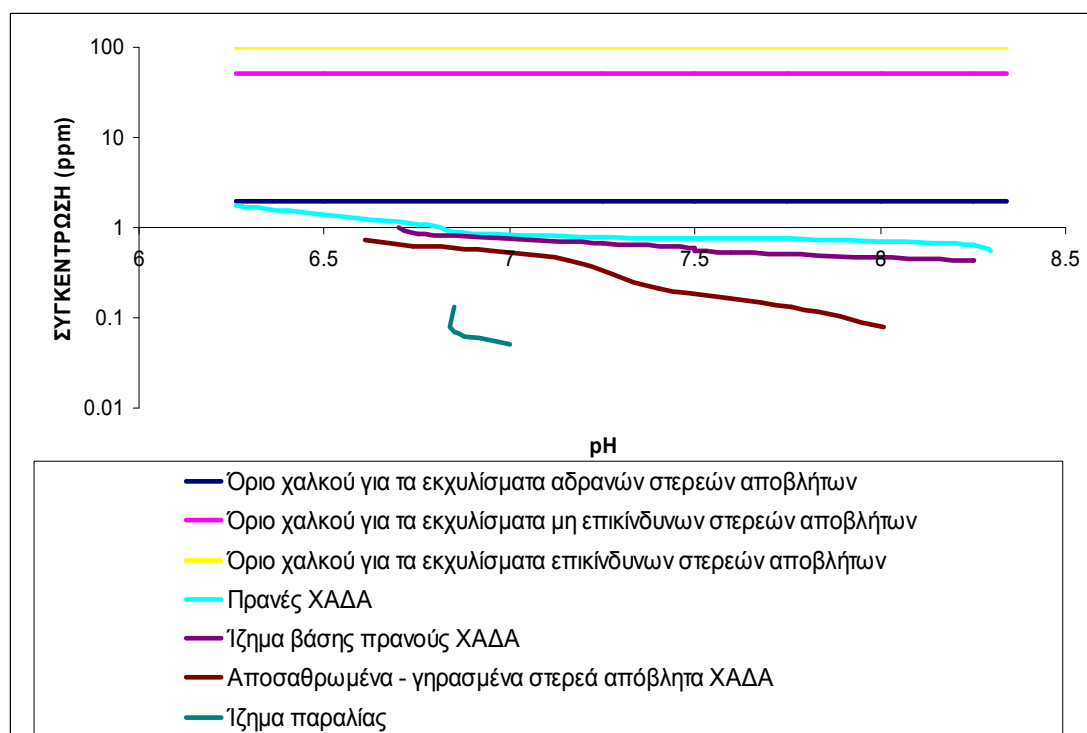
Διάγραμμα 5.18: Σύγκριση συγκεντρώσεων μολύβδου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού



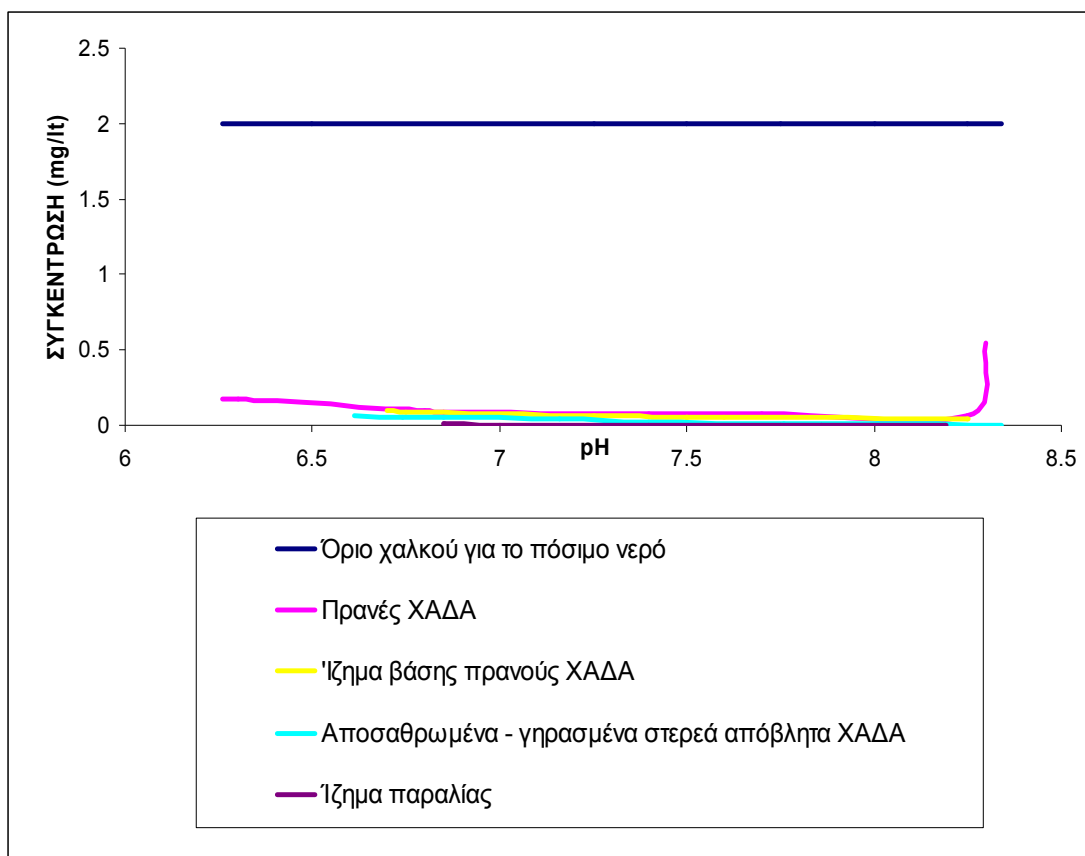
Διάγραμμα 5.19: Σύγκριση συγκεντρώσεων ψευδαργύρου με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$



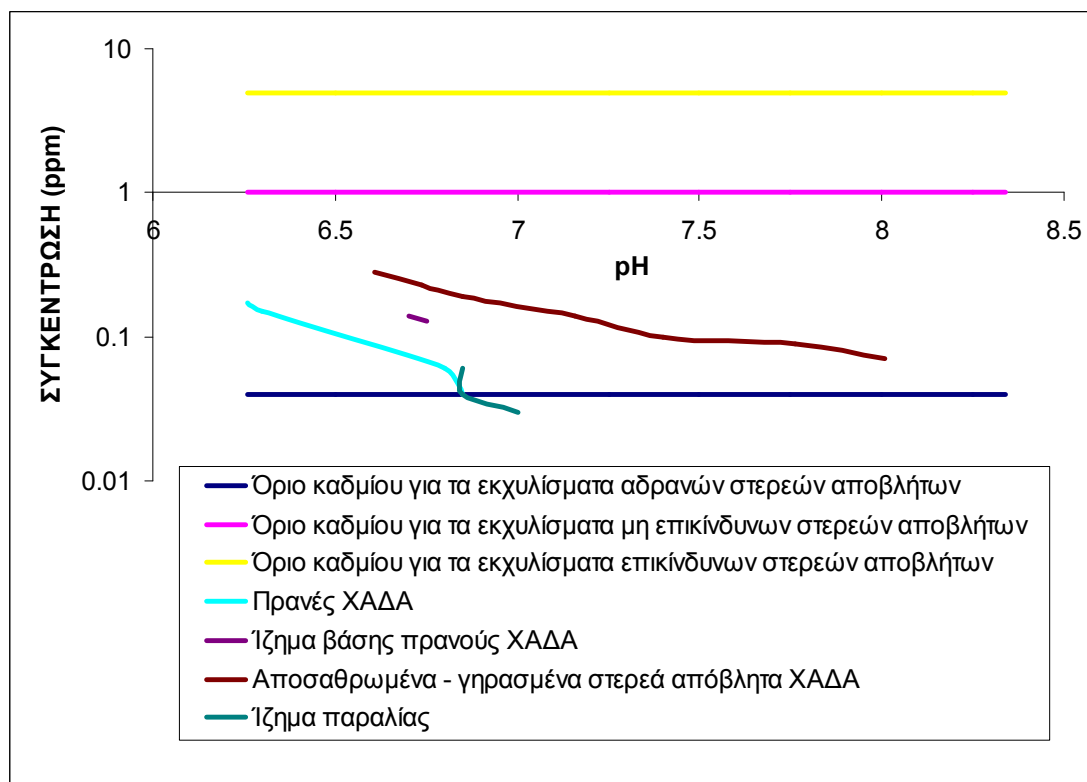
Διάγραμμα 5.20: Σύγκριση συγκεντρώσεων ψευδαργύρου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού



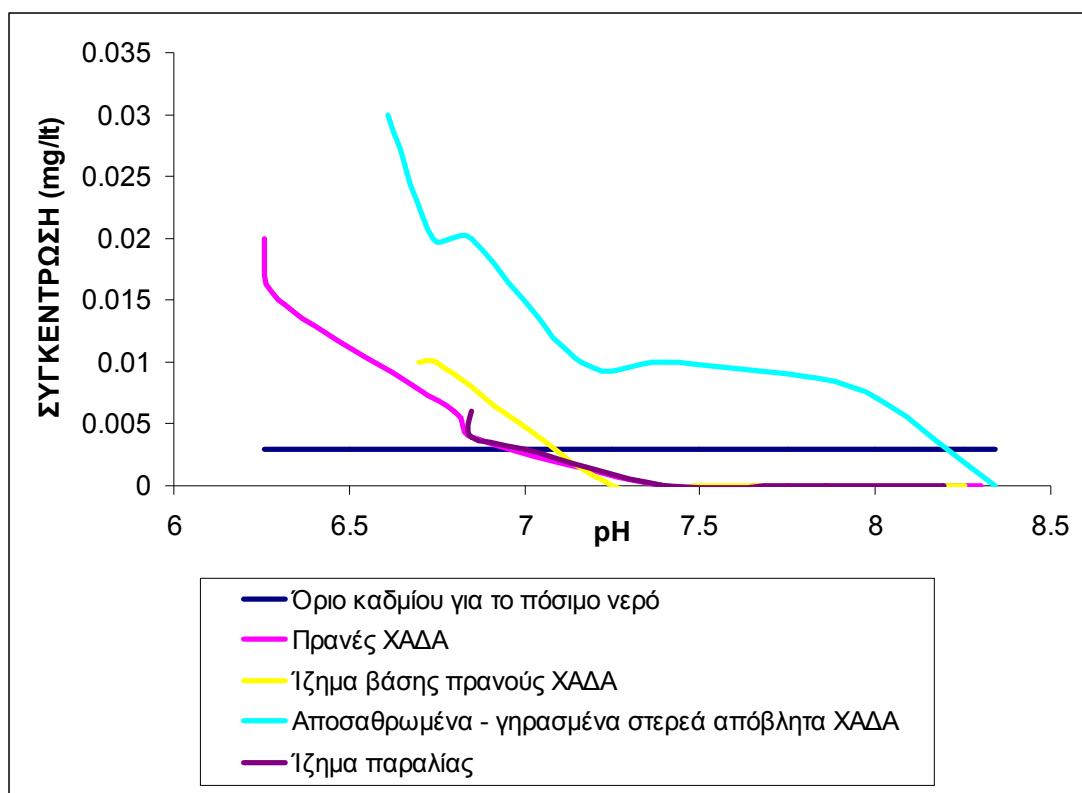
Διάγραμμα 5.21: Σύγκριση συγκεντρώσεων χαλκού με τα όρια διάθεσης στερεών αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$



Διάγραμμα 5.22: Σύγκριση συγκεντρώσεων χαλκού με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού



Διάγραμμα 5.23: Σύγκριση συγκεντρώσεων καδμίου με τα όρια διάθεσης αποβλήτων με λόγο $L/S = 10 \text{ lt/kg}$



Διάγραμμα 5.24: Σύγκριση συγκεντρώσεων καδμίου με το όριο ποιότητας πόσιμου νερού

Από τα παραπάνω Διαγράμματα παρατηρούνται τα εξής:

- Η συγκέντρωση του νικελίου παραμένει σταθερή σε όλο το εύρος των τιμών του pH. Παρατηρείται υπέρβαση του ορίου σχετικά με τα εκχυλίσματα αδρανών στερεών αποβλήτων από το δείγμα των αποσαθρωμένων – γηρασμένων στερεών αποβλήτων και ποιότητας του πόσιμου νερού από τα δείγματα των αποσαθρωμένων – γηρασμένων στερεών αποβλήτων και του ιζήματος της παραλίας.
- Η συγκέντρωση του μολύβδου παρουσιάζεται έντονα πτωτική με την αύξηση της τιμής του pH. Παρατηρείται υπέρβαση του ορίου σχετικά με τα εκχυλίσματα αδρανών στερεών αποβλήτων από όλα τα εξεταζόμενα δείγματα καθώς και των ορίων ποιότητας του πόσιμου νερού για τιμές του pH > 7.5.
- Επίσης, πτωτική τάση εμφανίζει η συγκέντρωση του ψευδαργύρου, ενώ δεν παρατηρείται καμία υπέρβαση ορίου.
- Εικόνα όμοια με την συγκέντρωση του νικελίου (σε γενικές γραμμές), στις διάφορες τιμές pH, παρουσιάζει η συγκέντρωση του χαλκού. Επίσης, όπως και στην περίπτωση του ψευδαργύρου, έτσι και εδώ δεν παρατηρείται καμία υπέρβαση ορίου.

- Τέλος, πτωτική τάση εμφανίζει και η συγκέντρωση του καδμίου με την αύξηση της τιμής του pH. Παρατηρείται υπέρβαση του ορίου σχετικά με τα εκχυλίσματα αδρανών στερεών αποβλήτων από όλα τα εξεταζόμενα δείγματα. Επίσης, υπέρβαση του ορίου σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού παρουσιάζει η συγκέντρωση του δείγματος των αποσαθρωμένων – γηρασμένων στερεών αποβλήτων σε όλο το εύρος της τιμής του pH και όλα τα υπόλοιπα εξεταζόμενα δείγματα για τιμές $\text{pH} > 7$.

5.3.4 Συμπεράσματα

Σχετικά με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης στα δείγματα του ΧΑΔΑ Κουρουπητού, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Τα ποσοστά εκχύλισης παρουσιάζονται:
 - Για το νικέλιο, τον μόλυβδο και το χαλκό πολύ χαμηλά έως και μηδενικά.
 - Για τον ψευδάργυρο και το κάδμιο χαμηλά στην pH stat και πρακτικά μηδενικά στις υπόλοιπες δυο μεθόδους εκχύλισης
2. Όσον αφορά το ενδεχόμενο ρύπανσης των εδαφών και του πόσιμου νερού:
 - Τα αποτελέσματα της DIN 19730 δείχνουν πως υπάρχει πιθανότητα ρύπανσης των εδαφών από τις αυξημένες συγκεντρώσεις θεικών ιόντων και από όλα τα βαρέα μέταλλα για την περίπτωση των εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων. Επίσης, πιθανότητα ρύπανσης του πόσιμου νερού εμφανίζεται από όλα τα βαρέα μέταλλα και τα θειικά ιόντα.
 - Τα αποτελέσματα της DIN 38414 δείχνουν πως παρουσιάζεται πιθανότητα ρύπανσης των εδαφών λόγω αυξημένων ποσοτήτων ολικού αζώτου και θεικών και χλωριούχων ιόντων (για τα εκχυλίσματα αδρανών στερεών αποβλήτων) καθώς και του πόσιμου νερού από τα αμμωνιακά, τα θειικά και τα χλωριούχα ιόντα και όλα τα βαρέα μέταλλα.
 - Τα αποτελέσματα της pH stat δείχνουν πως εμφανίζεται πιθανότητα ρύπανσης των εδαφών (αδρανή στερεά απόβλητα) και του πόσιμου νερού από την παρουσία των βαρέων μετάλλων (εκτός του

ψευδαργύρου και του χαλκού) και των θεικών και χλωριούχων ιόντων.

- Όσον αφορά την συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου, παρατηρείται ότι κατά την εφαρμογή των μεθόδων DIN 19730 και pH stat, παρουσιάζεται υπέρβαση των ενδεικτικών τιμών σχετικά με τον έλεγχο του ευτροφισμού.

4. Τα μεγαλύτερα ποσοστά εκχύλισης εμφανίζονται στην DIN 19730 και τα μικρότερα στην DIN 38414.

Από τα συνολικά αποτελέσματα εξάγεται το συμπέρασμα πως υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ρύπανσης του πόσιμου νερού από τα βαρέα μέταλλα και τα θειικά και χλωριούχα ιόντα (κυρίως) καθώς και των εδαφών για την περίπτωση των εκχυλισμάτων αδρανών στερεών αποβλήτων, πάλι από τους ίδιους ανόργανους ρύπους.

5.4 Δείγμα ώριμου compost

Αρχικά παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που προέκυψαν από την διαδικασία χώνευσης του δείγματος του ώριμου compost. Οι συγκεντρώσεις φαίνονται στον Πίνακα 5.45 :

Πίνακας 5.45: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων του δείγματος του ώριμου compost

Pb (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
259.2	62.12	603.3	351.1	2.63

Παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο δείγμα του ώριμου compost παρουσιάζονται σχετικά υψηλές, λόγω των υλικών (οργανικών και μη) που έχουν κομποστοποιηθεί και τα οποία περιλαμβάνονται στο εν λόγω δείγμα. Αυτό που ενδιαφέρει είναι οι συγκεντρώσεις (και το ποσοστό αυτών) που εν τέλει εκχυλίζονται με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης και εαν οι συγκεντρώσεις αυτές υπερβαίνουν τα θεσπιζόμενα όρια.

Στον Πίνακα 5.46 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο δείγμα του ώριμου compost σε σύγκριση με τα όρια για εδαφική χρήση του compost σχετικά με τα βαρέα μέταλλα:

Πίνακας 5.46: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και όρια για εδαφική χρήση του compost σχετικά με τα βαρέα μέταλλα

ΜΕΤΑΛΛΟ	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
	62.12	259.2	603.3	351.1	2.63
ΟΡΙΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ COMPOST (ppm)					
	50	100	300	100	1

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω Πίνακα, υπάρχει υπέρβαση των ορίων από όλα τα βαρέα μέταλλα. Σε κάποιες περιπτώσεις η υπέρβαση αυτή είναι μικρή κλίμακας (νικέλιο και κάδμιο) και σε άλλες πολύ μεγάλης. Ο λόγος της παρουσίας των βαρέων μετάλλων σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στο δείγμα του ώριμου compost, ενδέχεται να οφείλεται στα είδη των στερεών απορριμμάτων που έχουν κομποστοποιηθεί καθώς και στην επίδραση της ωρίμανσης, ίσως λόγω απελευθέρωσης αυτών των στοιχείων κατά την διαδικασία αυτή.

5.4.1 Μέθοδος DIN 19730

Το αρχικό pH του εν λόγω δείγματος ήταν 6, ενώ το pH του εκχυλίσματος 7. Στον Πίνακα 5.47 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των χλωριούχων και θεικών ιόντων, καθώς και του ολικού φωσφόρου.

Σημειώνεται πως, για το εν λόγω δείγμα οι τιμές που αφορούν τους ανόργανους ρύπους που μετρήθηκαν, είναι τυπικές τιμές ώριμου compost, που έχουν βρεθεί από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές και όχι κάποια θεσπιζόμενα όρια. Έτσι, η σύγκριση γίνεται με αυτές τις τιμές και για τις τρεις εφαρμοζόμενες τεχνικές εκχύλισης.

Πίνακας 5.47: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου

ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΡΥΠΟΙ	SO ₄ ⁻²	Cl	TP
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ (mg/l)	745	44	2.71
Τυπικές τιμές για εδαφική χρήση (mg/l)	---	50 – 2000	< 800

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω Πίνακα, δεν υπάρχει καμία υπέρβαση των τυπικών τιμών, σχετικά με την εδαφική χρήση του compost.

Στον Πίνακα 5.48 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο εκχύλισμα του δείγματος του ώριμου compost και τα αντίστοιχα ποσοστά εκχύλισης για τα βαρέα μέταλλα:

Πίνακας 5.48: Συγκεντρώσεις και ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

ΜΕΤΑΛΛΟ	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (ppm)	1.34	1.22	2.9	5.41	0.11
ΤΙΜΗ (%)	2.16	0.47	0.48	1.54	4.18

Από τον παραπάνω Πίνακα διαπιστώνεται ότι τα ποσοστά εκχύλισης των βαρέων μετάλλων είναι πολύ χαμηλά.

5.4.2 Μέθοδος DIN 38414

Σημειώνεται πως το αρχικό pH του δείγματος ήταν 6, ενώ το pH του εκχυλίσματος 7.60. Στους Πίνακες 5.49 και 5.50, παρακάτω, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, θεικών, αμμωνιακών και χλωριούχων ιόντων, του ολικού φωσφόρου και αζώτου, καθώς και οι αντίστοιχες τυπικές τιμές για την εδαφική χρήση του compost (τυπικές τιμές βιβλιογραφίας):

Πίνακας 5.49: Συγκεντρώσεις νιτρικών και θεικών ιόντων και τυπικές τιμές εδαφικής χρήσης compost

ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΡΥΠΟΙ	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ	62 mg/l ή 620 ppm	295 mg/l
Τυπικές τιμές για εδαφική χρήση	250 – 350 ppm	---

Πίνακας 5.50: Συγκεντρώσεις χλωριούχων και αμμωνιακών ιόντων, ολικού φωσφόρου και αζώτου και τυπικές τιμές εδαφικής χρήσης compost

ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΡΥΠΟΙ	TN	NH ₄ ⁺	Cl (mg/l)	TP (mg/l)
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ	235 mg/l ή 2350 mg/kg	5 mg/l ή 50 ppm	15	2.55
Τυπικές τιμές για εδαφική χρήση	100 - 300 mg/kg	< 300 ppm	50 - 2000	< 800 mg/l

Από τους παραπάνω δυο Πίνακες παρατηρείται υπέρβαση των τυπικών τιμών εδαφικής χρήσης του compost από τις συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου και νιτρικών ιόντων. Το γεγονός ότι πρόκειται για μορφές αζώτου που υπερβαίνουν τις αντίστοιχες τυπικές τιμές, οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την κομποστοποίηση πραγματοποιείται βιοαποικοδόμηση των οργανικών ουσιών σε άλλες απλούστερες. Ενδέχεται λοιπόν, στα είδη των στερεών αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του εν λόγω κομποστοποιημένου υλικού, να υπήρχαν αυξημένες ποσότητες μορφών αζώτου, δεσμευμένες σε οργανικές ενώσεις, οι οποίες μέσω της βιοαποικοδόμησης απελευθερώθηκαν και βρέθηκαν στο εκχύλισμα του compost. Επίσης, οι αυξημένες ποσότητες των μορφών αζώτου οφείλονται στην επίδραση της διαδικασίας ωρίμανσης του compost, η οποία ενδέχεται να προκαλεί την απελευθέρωση αυτών των μορφών αζώτου μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης, όπου τα αμμωνιακά ιόντα μετατρέπονται σε νιτρικά.

Στον παρακάτω Πίνακα 5.51 παρουσιάζονται οι εκχυλιζόμενες ποσότητες από το δείγμα του ώριμου compost σχετικά με τα βαρέα μέταλλα και τα ποσοστά εκχύλισης των βαρέων μετάλλων:

Πίνακας 5.51: Συγκεντρώσεις και ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

ΜΕΤΑΛΛΟ	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (ppm)	1.56	0.025	4.21	8.34	N.D.
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (%)	2.51	0	0.7	2.38	---

Από τον παραπάνω Πίνακα παρατηρείται πως τα ποσοστά εκχύλισης των βαρέων μετάλλων είναι πάρα πολύ χαμηλά.

5.4.3 Μέθοδος pH stat

Σημειώνεται πως το αρχικό pH του δείγματος του ώριμου compost ήταν 6. Στον παρακάτω Πίνακα 5.52 παρουσιάζονται οι τιμές για το pH του εκχυλίσματος και οι συγκεντρώσεις των θεικών και χλωριούχων ιόντων και αυτές του ολικού φωσφόρου:

Πίνακας 5.52: Τιμές για το pH του εκχυλίσματος και συγκεντρώσεις χλωριούχων και θεικών ιόντων και ολικού φωσφόρου

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	pH εκχυλίσματος	SO₄⁻² (mg/l)	Cl⁻ (mg/l)	TP (mg/l)
2	6.10	185	187	3.68
3	6.15	195	177	3.15
4	6.34	205	170	2.14
5	6.55	215	166	3.01
6	6.95	225	162	2.74
7	7.04	235	157	2.18
pH = φυσικό	7.11	245	144	2.42
9	7.22	245	140	2.73

Από τον παραπάνω Πίνακα παρατηρείται πως η συγκέντρωση των θεικών ιόντων αυξάνεται με την αύξηση της τιμής του pH. Επίσης, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των χλωριούχων ιόντων και του ολικού φωσφόρου, παραμένουν ουσιαστικά σταθερές με αρκετές αυξομειώσεις.

Στον επόμενο Πίνακα 5.53 παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές που έχουν βρεθεί από την βιβλιογραφία σχετικά με την εδαφική χρήση του compost για τους παραπάνω ανόργανους ρύπους:

Πίνακας 5.53: Τυπικές τιμές ανόργανων ρύπων σχετικά με την εδαφική χρήση του compost

ΟΡΙΑ (mg/l)	ΡΥΠΟΙ	
	TP	Cl⁻
	< 800	50 – 2000

Από τους δυο παραπάνω Πίνακες συμπεραίνεται πως οι συγκεντρώσεις των χλωριούχων ιόντων και του ολικού φωσφόρου στο εξεταζόμενο δείγμα του ώριμου compost δεν υπερβαίνουν τις τυπικές τιμές του παραπάνω Πίνακα. Στον επόμενο

Πίνακα 5.54 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ενώ στον Πίνακα 5.55:

Πίνακας 5.54: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
2	0.3	3.24	0.55	1.02	0.15
3	0.27	2.85	2.4	1.98	0.12
4	0.32	2.4	6.07	3.2	0.09
5	0.24	1.92	2.95	3.75	0
6	0.25	1.41	2.74	4.69	0
7	0.31	1.29	3.39	5.57	0
pH = φυσικό	0.2	1.56	3.93	6.66	0
9	0.16	1.4	3.75	6.66	0

Πίνακας 5.55: Ποσοστά εκχύλισης βαρέων μετάλλων

ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ pH	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
2	0.48	1.25	0.09	0.29	5.7
3	0.43	1.1	0.4	0.56	4.56
4	0.51	0.92	1	0.91	3.42
5	0.39	0.74	0.49	1.07	0
6	0.4	0.54	0.45	1.34	0
7	0.5	0.5	0.56	1.59	0
pH = φυσικό	0.32	0.6	0.65	1.9	0
9	0.26	0.54	0.62	1.9	0

Από τους παραπάνω δυο Πίνακες διαπιστώνεται πως ανιχνεύθηκαν όλα τα μετρούμενα βαρέα μέταλλα στο εξεταζόμενο δείγμα του ώριμου compost, οι ποσότητες όμως αυτές ήταν αρκετά χαμηλές, κάτι που διαπιστώνεται και από τα αντίστοιχα ποσοστά εκχύλισης. Κατά την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τα νιτρικά και τα αμμωνιακά ιόντα καθώς και για την ποσότητα του ολικού αζώτου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η προσθήκη του νιτρικού οξέος στο δείγμα για την ρύθμιση του pH δεν θα επέτρεπε την λήψη ορθών μετρήσεων, αφού θα τις επηρέαζε.

5.4.4 Συμπεράσματα

Σχετικά με την εφαρμογή των τριών μεθόδων εκχύλισης στο δείγμα της υπολειμματικής τέφρας, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Τα ποσοστά εκχύλισης παρουσιάζονται πολύ χαμηλά και στις τρεις εφαρμοζόμενες τεχνικές εκχύλισης, για το σύνολο των βαρέων μετάλλων.
2. Παρουσιάζεται υπέρβαση των ορίων σχετικά με την εδαφική χρήση του compost από όλα τα μετρούμενα βαρέα μέταλλα.
3. Όσον αφορά τους υπόλοιπους εξεταζόμενους ανόργανους ρύπους, η μόνη υπέρβαση που παρουσιάζεται είναι κατά την εφαρμογή της μεθόδου DIN 38414 από τα νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα.
4. Τα μεγαλύτερα ποσοστά εκχύλισης εμφανίζονται στην pH stat και τα μικρότερα στην DIN 38414.

Από τα συνολικά αποτελέσματα φαίνεται πως υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης από εδαφική χρήση του ώριμου compost, λόγω, κυρίως, των πολύ υψηλών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο δείγμα του ώριμου compost.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα, βασισμένα στα αποτελέσματα της εφαρμογής των τεχνικών εκχύλισης στα διάφορα είδη στερεών αποβλήτων. Τα συμπεράσματα αυτά, που αφορούν τόσο στα εξεταζόμενα είδη στερεών αποβλήτων, όσο και στις εφαρμοζόμενες τεχνικές εκχύλισης, παρουσιάζονται παρακάτω:

- ✓ Οι διαφορετικοί λόγοι L/S στις τρεις εφαρμοζόμενες μεθόδους εκχύλισης δεν επιτρέπουν μία πλήρη συγκριτική αξιολόγησή τους, καθώς οι εκχυλιζόμενες ποσότητες επηρεάζονται από τον λόγο αυτό. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται ο λόγος, τόσο μειώνονται οι εκχυλιζόμενες ποσότητες των βαρέων μετάλλων.
- ✓ Η μέθοδος στην οποία υπάρχει ο ιδανικός χρόνος επαφής μεταξύ του εξεταζόμενου δείγματος και του μέσου εκχύλισης είναι η DIN 38414 και αυτό διότι οι 24 ώρες, που διαρκεί η μέθοδος αυτή αποτελεί έναν από τους ιδανικότερους χρόνους που απαιτούνται για την απελευθέρωση των ρύπων στο εκχύλισμα.
- ✓ Από τις τρεις μεθόδους εκχύλισης η πιο αξιόπιστη είναι η DIN 38414, λόγω της απλότητάς της. Επίσης, είναι αυτή που εξασφαλίζει το μεγαλύτερο δυνατό χρόνο επαφής μεταξύ του εξεταζόμενου δείγματος του στερεού αποβλήτου και του μέσου εκχύλισης (Chrysochoou et al, 2003).
- ✓ Μειονεκτήματα των μεθόδων είναι ο μεγάλος λόγος $L/S = 10$, που δύσκολα συναντάται σε συνθήκες εκχύλισης, (DIN 38414 και pH static test) και η αδυναμία μέτρησης κάποιων εκ των εξεταζόμενων ανόργανων ρύπων (DIN 19730 και pH static test).
- ✓ Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου DIN 38414 (χρήση του απιονισμένου νερού ως μέσου κινητοποίησης) εντοπίζονται πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις των κινητοποιούμενων βαρέων μετάλλων. Αυτές οι χαμηλές συγκεντρώσεις δικαιολογούνται από την παρουσία, στο νερό, διαλυτών ενώσεων και από το τμήμα των βαρέων μετάλλων που συνδέεται με τα αδιάλυτα υδροξείδια που παραμένουν στο κρυσταλλικό πλέγμα του εκάστοτε αποβλήτου, από τη στιγμή που το pH του διαλύτη, μετά την κινητοποίηση, αλλάζει για να προσαρμοστεί στην εκάστοτε αντίδραση.

- ✓ Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου DIN 19730, η υψηλότερη κινητοποίηση των βαρέων μετάλλων με διαλύτη το νιτρικό αμμώνιο σε σχέση με τη χρήση του απιονισμένου νερού ως διαλύτη πραγματοποιείται λόγω της επίδρασης του νιτρικού αμμωνίου στο σχηματισμό συμπλόκων στις παρακάτω τιμές pH:
 - Σύμπλοκα $[\text{Me}(\text{OH})_4]^{2-}$ σε $\text{pH} > 12$ και,
 - Σύμπλοκα $[\text{Me}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ σε $\text{pH} \sim 8$

(Jonušaitė et al, 2004)

- ✓ Ένα πλεονέκτημα που εμφανίζει η χρήση ενός ασθενούς αντιδραστηρίου, όπως είναι το νιτρικό αμμώνιο, είναι το γεγονός ότι δεν αλλάζει δραματικά το εδαφικό pH, γι' αυτό και αναφέρεται στην περίπτωση των συγκεκριμένων δειγμάτων από το ΧΑΔΑ του Κολυμπαρίου, ενώ ισχύει και για την περίπτωση των δειγμάτων από τον ΧΑΔΑ του Κουρουπητού, παρακάτω (Hall et al, 1998).
- ✓ Η μέθοδος που δίνει τα μεγαλύτερα ποσοστά εκχύλισης είναι η DIN 19730 και αυτή που δίνει τα χαμηλότερα είναι η DIN 38414. Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό αναφέρονται στα προηγούμενα σημεία.
- ✓ Από όλους τους εξεταζόμενους ανόργανους ρύπους και τα βαρέα μέταλλα, που μετρήθηκαν κατά τις εφαρμογές των τριών μεθόδων εκχύλισης στα διάφορα εξεταζόμενα δείγματα των στερεών αποβλήτων, αυτοί που εμφανίζονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και επομένως υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα ρύπανσης του περιβάλλοντος από αυτούς, είναι ο μόλυβδος, ο οποίος εμφανίζεται σε όλα τα εξεταζόμενα δείγματα και τις περισσότερες φορές σε υψηλές συγκεντρώσεις και από τους ανόργανους ρύπους τα θειικά και τα χλωριούχα ιόντα.
- ✓ Σε γενικές γραμμές, οι περισσότεροι ρύποι που μετρήθηκαν σε εκχυλίσματα κάποιας μεθόδου (και στις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις) ήταν κατά την εφαρμογή της μεθόδου DIN 19730, ενώ οι λιγότεροι (και στις χαμηλότερες συγκεντρώσεις) κατά την εφαρμογή της μεθόδου DIN 38414.
- ✓ Από το σύνολο των εξεταζόμενων δειγμάτων των στερεών αποβλήτων, αυτά που εμφανίζουν την μεγαλύτερη δυναμική ρύπανσης του περιβάλλοντος, από ενδεχόμενη απόρριψή τους σε αυτό (λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων των

ρύπων στα εκχυλίσματά τους), είναι τα δείγματα από τον ΧΑΔΑ του Κουρουπητού και το δείγμα της υπολειμματικής τέφρας.

- ✓ Σημειώνεται πως στο δείγμα του ώριμου compost, υπάρχει υπέρβαση των ορίων σχετικά με την εδαφική του χρήση από όλα τα εξεταζόμενα βαρέα μέταλλα.

6.2 Προτάσεις

Πέρα από τα εξαγόμενα συμπεράσματα, μπορούν να αναφερθούν και κάποιες προτάσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν με στόχο την διαφορετική μελέτη των δειγμάτων που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, την μελέτη άλλων, παρόμοιων, δειγμάτων κτλ, όπως:

- ✓ Την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων εκχύλισης στα δείγματα που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, ούτως ώστε να προσδιοριστεί κατά πόσον επαληθεύονται τα αποτελέσματα της εκάστοτε μεθόδου από τις υπόλοιπες.
- ✓ Την εξέταση δειγμάτων διαφορετικών ειδών αποβλήτων, στερεών ή μη, εφαρμόζοντας τις ίδιες μεθόδους εκχύλισης, με σκοπό τον προσδιορισμό του βαθμού εκχυλισιμότητας των ανόργανων ρύπων και των βαρέων μετάλλων που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, από άλλα απόβλητα.
- ✓ Την μέτρηση της συγκέντρωσης και άλλων ρύπων, ανόργανων ή/και οργανικών (εφόσον δεν μετρήθηκαν στα εξεταζόμενα δείγματα) με σκοπό μία πληρέστερη εικόνα, όσον αφορά το δυναμικό ρύπανσης που εμφανίζουν τα εν λόγω στερεά απόβλητα.
- ✓ Την αλλαγή στις διάφορες παραμέτρους των μεθόδων εκχύλισης, όπως είναι ο χρόνος επαφής, ο λόγος υγρό προς στερεό, το μέσο της εκχύλισης, την θερμοκρασία κτλ.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Brigden, K., Labunska, I., Stringer, R., Jonston, P., Sartillo, D. και Ashton, J., Identification of organic pollutants and heavy metals contaminants in samples collected from the Triego hazardous and medical waste incinerator, Buenos Aires Province, Argentina 2000
2. R. Ibáñez, A. Andrés, J.R.Viguri, I. Ortiz, J.A. Irabien, Characterisation and management of incinerator wastes, 2000
3. Yong-Chul Jang, Cargro Lee, Oh-Sub Yoon, Hwidong Kim, Medical waste management in Korea, 2006
4. Ranjan Kumar, Patel DK, Rmesh Kumar, A survey of trace metals determination in hospital waste incinerator in Lucknow City, India, 2004
5. Θ. Κουϊμτζή, Κ.Φυτιάνου, Κ.Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Χημεία Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη 1998
6. Σμυρνάκη Καλλιόπη, Δασενάκης Δημήτριος, Ρύπανση υπογείων υδάτων με νιτρικά, Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2000
7. www.soil.ncsu.edu
8. Dr.Stephen R.Carpenter et al., Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen, 1997
9. Position Paper – Gypsum and water, environment and raw material committee, Association of European Gypsum Industries, 2006
10. Karin Weggler, Michael J. Mc Laughlin και Robin D.Graham, Heavy metals in the environment, Effect of chloride in soil solution on the plant availability of biosolid – borne cadmium, 2004
11. www.groundwateruk.org
12. John A.Lory, Agricultural phosphorus and water quality, Department of agronomy and commercial agriculture program, University of Missouri, 1999
13. Sheila Murphy, General information on phosphorus, 2005
14. Peter B.Woodbury, Potential effects of heavy metals in municipal solid waste composts on plants and the environment, Cornell Waste Management Institute, 1993
15. B.J.Alloway, Heavy metals in soils, 2nd edition, 1995

16. Peter B.Woodbury, Municipal solid waste composting: Potential effects of heavy metals in municipal solid waste composts on plants and the environment, 2005
17. Polychlorinated Biphenyls, Agency for toxic substances and disease registry, 2001
18. www.epa.gov.hk
19. Delores Broten και John Ritchlin, The pulp pollution, 1999
20. www.chesterfildorganic.com
21. Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC (2003/33/EC)
22. Commission Decision of 28 August 2001 establishing criteria for the award of the Community eco – label to soil improvers and growing media (2001/688/EC)
23. Παπαδοπούλου Γεωργία, Εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας στην χαράδρα του Κουρουπητού με την χρήση του μοντέλου EVAPASSOLD, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2006
24. Council Directive of 12 December 1991 on hazardous waste (91/689/EEC)
25. Jack V.Baird, Nitrogen management and water quality, 1997
26. www.watershedcouncil.org
27. Tippecanoe Environmental Lake and Watershed Foundation, 2005
28. Lenntech Water Treatment and air purification, 2007
29. ΦΕΚ 1016B/17-11-1997
30. H.A. van der Sloot, L. Heasman, Ph. Quevauviller, Harmonization of leaching/extraction tests, 1997
31. H.A. van der Sloot, A.J.Chandler, T.T.Eighmy, J.Hartlén, O.Hjelmar, S.E.Sawell, J.Vehlew, Municipal solid waste incinerator residues, The International Ash Working Group, 1997
32. Working document, Biological treatment of biowaste, 2nd draft, European Commission, Brussels, 12 February 2001
33. Digestion of soil, sludge, and biowaste and waste for the extraction of aqua regia soluble elements, European Standard
34. pH dependent leaching test, Horizontal standard based on prEN 14429, 2003

35. DIN 38414, German standard methods for the examination of water, wastewater and sludge; sludge and sediments (group S); determination of the leachability of water (S 4), 1984
36. DIN 19730, Soil quality – Extraction of trace elements with ammonium nitrate solution, 1997
37. Joris J. Dijkstra, Hans A. van der Sloot, Rob N.J. Comans, The leaching of major and trace elements from MSWI bottom ash as a function of pH and time, 2006
38. M. Chrysochoou, B. Bilitewski, N. Moussiopoulos and A. Karagiannidis, Comparison of leaching tests for the characterization of waste, 2003
39. Praddep Jain, Hwidong Kim, Timothy G. Townsend, Heavy metal content in soil reclaimed from a municipal solid waste landfill, 2005
40. Gwendy E.M. Hall, Alice I. MacLaurin, Robert G. Garrett, Assessment of the 1 M NH_4NO_3 extraction protocol to identify mobile forms of Cd in soils, 1998
41. [Sheila Murphy](#), General Information on Phosphorus, 2007
42. H.A. van der Sloot, R.N.J. Comans, J.C.L. Meeussen and J.J.Dijkstra, Leaching methods for soil, sludge and treated biowaste, 2004