



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



«Δ.Π.Μ.Σ. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ  
ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ  
ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΥΤΑ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Σκυριανού Αθηνά

Αθήνα

Απρίλιος 2012

Επιβλέπων:  
Καραβίτης Χρ.,  
Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α

Μέλη της επιτροπής:  
Ασημακόπουλος Δ., Καθηγητής ΕΜΠ  
Γρηγοροπούλου Ε., Καθηγήτρια ΕΜΠ

# Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την μεταπτυχιακή μου εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους μου παρέιχαν γνώσεις και σε όσους με στήριξαν ηθικά όλα αυτά τα χρόνια.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, Επίκουρο Καθηγητή Καραβίτη Χρίστο αφενός για την ανάθεση του πρωτότυπου θέματος, την παροχή υλικοτεχνικής υποδομής και την επίβλεψη του κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, αφετέρου για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη που προσέφερε.

Ευχαριστώ θερμά την Βιδάλη Ελένη, μεταπτυχιακή φοιτήτρια στο Π.Μ.Σ. «Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργική Μηχανική» του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την εκπόνηση των εργασιών μας και τις ατελείωτες ώρες που περάσαμε στο εργαστήριο.

Ιδιαίτερος ευχαριστώ την Καθηγήτρια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Λοϊζίδου Μαρία για την παραχώρηση του Εργαστηρίου Γενικής Χημείας για την εκπόνηση μέρους των εργαστηριακών αναλύσεων.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τις κυρίες Kosanovic Tatjana και Βαλτά Κατερίνα από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο καθώς και τον Επίκουρο Καθηγητή Αργυροκαστρίτη Ιωάννη, την Λέκτορα Ψυχογιού Μαρία, την Σγουμποπούλου Αναστασία και τον Ρίζο Σπύρο από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών τόσο για τις συμβουλές και την καθοδήγησή τους, όσο και για τη παροχή υλικών για τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ενιαίο Σύνδεσμο Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ), για την πολύτιμη συνεργασία του στην παροχή στοιχείων και δειγμάτων από τον χώρο υγειονομικής ταφής Δυτικής Αττικής.

Από τα βάθη της καρδιάς μου θέλω να ευχαριστήσουμε τους γονείς μου, Βασίλη και Παναγιώτα, για την αμέριστη υποστήριξη τους, ηθική και οικονομική, όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης τις αδερφές μου, Θεοδώρα – Μαρία και Ιωάννα, για την πολύτιμη βοήθειά τους αλλά και την υπομονή τους, ιδιαίτερα τους τελευταίους μήνες, καθώς και για τη στήριξη τους στις δύσκολες στιγμές.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>4</b>
<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ</i> .....	<i>7</i>
<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ</i> .....	<i>9</i>
<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ</i> .....	<i>10</i>
<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</i> .....	<i>11</i>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>14</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>16</b>
1.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	16
1.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ.....	17
<b>2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b> .....	<b>18</b>
2.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ .....	18
2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	20
2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ .....	21
2.3.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....	21
2.3.2 ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ .....	22
2.3.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	25
2.3.4 ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΤΑΦΗ .....	30
2.4 ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΝΑΝ ΧΥΤΑ .....	34
2.4.1 ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΝΟΣ ΧΥΤΑ .....	34
2.4.2 Ο ΧΥΤΑ ΩΣ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ.....	35
2.4.3 ΦΑΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ .....	37
2.4.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....	39
2.4.5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....	40
2.5 ΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ.....	44
2.5.1 ΚΑΔΜΙΟ (CD).....	45
2.5.2 ΧΡΟΜΙΟ (CR).....	45
2.5.3 ΧΑΛΚΟΣ (CU) .....	46
2.5.4 ΜΟΛΥΒΔΟΣ (PB).....	47
2.5.5 ΝΙΚΕΛΙΟ (NI).....	48
2.5.6 ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (ZN).....	49
2.5.7 ΣΙΔΗΡΟΣ (FE).....	50

2.5.8	ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn).....	51
2.5.9	ΝΑΤΡΙΟ (Na <sup>+</sup> ).....	52
2.5.10	ΚΑΛΙΟ (K <sup>+</sup> ).....	53
2.5.11	ΘΕΙΙΚΑ ΙΟΝΤΑ (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	53
2.5.12	ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (Cl <sup>-</sup> ).....	54
2.5.13	ΟΛΙΚΟ ΆΖΩΤΟ (TN) ΚΑΙ ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	54
2.5.14	ΟΛΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΆΝΘΡΑΚΑΣ (TOTAL ORGANIC CARBON – TOC).....	55
2.5.15	ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (CHEMICAL OXYGEN DEMAND - COD).....	56
2.5.16	ΣΤΕΡΕΑ.....	56
<b>2.6</b>	<b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>57</b>
<b>3</b>	<b><u>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</u></b>	<b><u>61</u></b>
<b>3.1</b>	<b>ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2</b>	<b>ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b><u>ΧΩΡΟΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ.....</u></b>	<b><u>63</u></b>
<b>4.1</b>	<b>ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΥΤΑ.....</b>	<b>63</b>
4.1.1	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ.....	64
4.1.2	ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ.....	65
4.1.3	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....	67
4.1.4	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	69
4.1.5	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	70
4.1.6	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ.....	70
4.1.7	ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	71
<b>4.2</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>73</b>
<b>5</b>	<b><u>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....</u></b>	<b><u>77</u></b>
<b>5.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>77</b>
<b>5.2</b>	<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....</b>	<b>77</b>
5.2.1	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	77
5.2.2	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	78
5.2.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣΗ ΛΥΣΙΜΕΤΡΩΝ.....	79
5.2.4	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΧΕΙΩΝ ΜΑΡΙΟΤΤΕ.....	82
<b>5.3</b>	<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....</b>	<b>83</b>
5.3.1	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ.....	83
5.3.2	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....	84
<b>6</b>	<b><u>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</u></b>	<b><u>87</u></b>
<b>6.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>87</b>
<b>6.2</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>87</b>

<b>6.3</b>	<b>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>91</b>
6.3.1	ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	91
6.3.2	ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ.....	97
6.3.3	ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ .....	101
6.3.4	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	116
<b>6.4</b>	<b>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΑΡΟΜΟΙΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ.....</b>	<b>123</b>
<b>7</b>	<b><u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u></b>	<b><u>125</u></b>
<b>8</b>	<b><u>ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ.....</u></b>	<b><u>128</u></b>
	<b><u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u></b>	<b><u>129</u></b>
	<b><u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</u></b>	<b><u>137</u></b>
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	137
	<b><u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</u></b>	<b><u>149</u></b>
	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΑ.....	149

## Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Ποσότητα στραγγισμάτων λυσιμέτρου Α .....	88
Γράφημα 2: Ποσότητα στραγγισμάτων λυσιμέτρου Β .....	89
Γράφημα 3: Κατακράτηση νερού λυσιμέτρου Α .....	90
Γράφημα 4: Κατακράτηση νερού λυσιμέτρου Β .....	90
Γράφημα 5: Αγωγιμότητα λυσιμέτρου Α.....	92
Γράφημα 6: Αγωγιμότητα λυσιμέτρου Β.....	92
Γράφημα 7: pH λυσιμέτρου Α.....	93
Γράφημα 8: pH λυσιμέτρου Β.....	93
Γράφημα 9: Συγκεντρώσεις TS λυσιμέτρου Α.....	94
Γράφημα 10: Συγκεντρώσεις TS λυσιμέτρου Β .....	95
Γράφημα 11: Συγκεντρώσεις TSS λυσιμέτρου Α.....	96
Γράφημα 12: Συγκεντρώσεις TSS λυσιμέτρου Β.....	97
Γράφημα 13: Συγκεντρώσεις COD λυσιμέτρου Α.....	98
Γράφημα 14: Συγκεντρώσεις TOC λυσιμέτρου Α.....	100
Γράφημα 15: Συγκεντρώσεις TOC λυσιμέτρου Β .....	101
Γράφημα 16: Συγκεντρώσεις χλωριόντων λυσιμέτρου Α .....	102
Γράφημα 17: Συγκεντρώσεις χλωριόντων λυσιμέτρου Β .....	103
Γράφημα 18: Συγκεντρώσεις θειικών στο λυσίμετρο Α .....	104
Γράφημα 19: Συγκεντρώσεις θειικών στο λυσίμετρο Α .....	104
Γράφημα 20: Συγκεντρώσεις νατρίου λυσιμέτρου Α.....	105
Γράφημα 21: Συγκεντρώσεις νατρίου λυσιμέτρου Α.....	106
Γράφημα 22: Συγκεντρώσεις καλίου λυσιμέτρου Α .....	107
Γράφημα 23: Συγκεντρώσεις καλίου λυσιμέτρου Β .....	107

Γράφημα 24: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσιμέτρου Α .....	108
Γράφημα 25: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσιμέτρου Β .....	109
Γράφημα 26: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσιμέτρου Α.....	111
Γράφημα 27: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσιμέτρου Β.....	112
Γράφημα 28: Συγκεντρώσεις μαγγανίου λυσιμέτρου Α .....	113
Γράφημα 29: Συγκεντρώσεις μαγγανίου λυσιμέτρου Β .....	114
Γράφημα 30: Συγκεντρώσεις σιδήρου λυσιμέτρου Α.....	115
Γράφημα 31: Συγκεντρώσεις σιδήρου λυσιμέτρου Α.....	115
Γράφημα 32: Συγκεντρώσεις χαλκού λυσιμέτρου Α .....	117
Γράφημα 33: Συγκεντρώσεις χαλκού λυσιμέτρου Β .....	117
Γράφημα 34: Συγκεντρώσεις νικελίου λυσιμέτρου Α .....	118
Γράφημα 35: Συγκεντρώσεις νικελίου λυσιμέτρου Β .....	119
Γράφημα 36: Συγκεντρώσεις καδμίου λυσιμέτρου Α.....	120
Γράφημα 37: Συγκεντρώσεις ψευδαργύρου λυσιμέτρου Α.....	121
Γράφημα 38: Συγκεντρώσεις ψευδαργύρου λυσιμέτρου Β.....	121



## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Τυπικά δεδομένα της σύστασης των στραγγισμάτων νέων και παλαιότερων ΧΥΤΑ (Tchobanoglous et al., 2002) .....	43
Πίνακας 2: Σύσταση οικιακών απορριμμάτων Αττικής (Λοϊζίδου, 2007) .....	75
Πίνακας 3: Σύσταση οικιακών απορριμμάτων Ελλάδας (Parachristou et al., 2009; Κατσίρη, 2009; Οικονομόπουλος, 2009; ΥΠΕΚΑ, 2010) .....	75
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά απορριμμάτων στα λυσίμετρα .....	82
Πίνακας 5: Μέσα μηνιαία υδρολογικά δεδομένα Ασπροπύργου (ΕΜΥ, 2011) .....	83
Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις TS λυσίμετρου Α .....	94
Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις TS λυσίμετρου Β .....	95
Πίνακας 8: Συγκεντρώσεις TSS λυσίμετρου Α .....	96
Πίνακας 9: Συγκεντρώσεις TSS λυσίμετρου Β .....	96
Πίνακας 10: Συγκεντρώσεις COD λυσίμετρου Α .....	98
Πίνακας 11: Συγκεντρώσεις TOC λυσίμετρου Α .....	99
Πίνακας 12: Συγκεντρώσεις TOC λυσίμετρου Β .....	100
Πίνακας 13: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσίμετρου Α .....	108
Πίνακας 14: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσίμετρου Β .....	109
Πίνακας 15: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσίμετρου Α .....	110
Πίνακας 16: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσίμετρου Β .....	111
Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων .....	122
Πίνακας 18: Αποτελέσματα παρόμοιων ερευνητικών μελετών .....	124
Πίνακας 19: Συγκεντρώσεις μετάλλων λυσίμετρου Α .....	149
Πίνακας 20: Συγκεντρώσεις μετάλλων λυσίμετρου Β .....	151

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Εργοστάσιο καύσης απορριμμάτων .....	26
Εικόνα 2: Στερεοχημικός τύπος διοξίνης .....	28
Εικόνα 3: Στερεοχημικός τύπος φουρανίων .....	29
Εικόνα 4: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).....	32
Εικόνα 5: Χρονοδιάγραμμα παραγωγής αερίων από ΧΥΤΑ (Βουδούρης, 2006).....	38
Εικόνα 6: Ισοχλώριες καμπύλες του πλουμίου ρύπανσης ενός ΧΥΤΑ (Βουδούρης, 2006) .....	58
Εικόνα 7: ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής – Στάδιο διαμόρφωσης.....	64
Εικόνα 8: Σχηματική μηκοτομή ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής.....	65
Εικόνα 9: Διατομή διπλής στεγάνωσης πυθμένα .....	66
Εικόνα 10: Τοποθέτηση γεωφασμάτων και αγωγών στον ΧΥΤΑ .....	67
Εικόνα 11: Δειγματοληψία απορριμμάτων από τον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής....	79
Εικόνα 12: Διάτρητο πώμα και γεωμεμβράνη του λυσίμετρου .....	80
Εικόνα 13: Λυσίμετρα.....	81
Εικόνα 14: Περατόμετρο μεταβλητού φορτίου.....	85
Εικόνα 15: Δειγματοληψία.....	86

## Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Σχηματικό διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας στραγγισμάτων .....	69
Διάγραμμα 2: Ετήσιος ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων σε Ευρωπαϊκές χώρες.....	74
Διάγραμμα 3: Δοχείο Mariotte .....	82

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η διερεύνηση της παραγόμενης ποσότητας στραγγισμάτων από τον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής, καθώς επίσης και η διαχρονική μεταβολή της ποιότητάς τους σε σχέση με την ετήσια βροχόπτωση.

Για την διερεύνηση των παραπάνω αντικειμένων έγινε προσομοίωση του εσωτερικού ενός ΧΥΤΑ με την βοήθεια λυσιμέτρων. Δύο λυσίμετρα πληρώθηκαν με απορρίμματα που ελήφθησαν από τον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής και με την βοήθεια δοχείων Mariotte, προστέθηκε σε αυτά ποσότητα νερού ίση με την ετήσια βροχόπτωση, υπό την μορφή κατάκλισης.

Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, η οποία διήρκεσε συνολικά έναν μήνα, γίνονταν μετρήσεις αναφορικά με την ποσότητα των παραγόμενων στραγγισμάτων και επίσης λαμβάνονταν δείγματα των στραγγισμάτων αυτών για την ποιοτική τους ανάλυση. Οι αναλύσεις αφορούσαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, τις οργανικές ενώσεις, τις ανόργανες ουσίες καθώς και τα βαρέα μέταλλα.

Η ποσοτική ανάλυση έδωσε στοιχεία αναφορικά με τον ρυθμό παραγωγής των στραγγισμάτων καθώς και την κατακράτηση της βροχόπτωσης, με την μορφή υγρασίας, από την απορριμματική μάζα.

Οι ποιοτικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν έδωσαν πολύτιμα συμπεράσματα σχετικά με την διαχρονική εξέλιξη της ποιοτικής σύστασης των στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ. Η ποιότητα ήταν άμεσα συνυφασμένη με την φάση αποδόμησης στην οποία βρίσκονταν τα απορρίμματα, αλλά και με την αρχική τους σύσταση. Έτσι καταγράφηκαν για παράδειγμα υψηλές τιμές pH, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, TS, ενώ αντίθετα χαμηλές συγκεντρώσεις παρουσιάζουν για παράδειγμα το COD και τα βαρέα μέταλλα, με εξαίρεση τον Fe.

Αξίζει να σημειωθεί η απόκλιση πολλών μετρήσεων από τα βιβλιογραφικά δεδομένα, εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας των ελληνικών απορριμμάτων σε ζυμώσιμα υλικά, καθώς επίσης και η απουσία βαρέων μετάλλων όπως το Cr, το Cd και ο Pb, που επιβεβαιώνουν την πρόλευση των απορριμμάτων, τα οποία στην πλειονότητά τους προέρχονται από τον οικιακό τομέα.

Οι παραπάνω μετρήσεις αποτελούν πολύτιμο εργαλείο τόσο για την μελλοντική διαμόρφωση παρόμοιων χώρων ταφής όσο και στην λήψη μέτρων για την περιβαλλοντική προστασία κυρίως των υπόγειων υδροφόρων που γειτνιάζουν με χώρους υγειονομικής ταφής.

**Λέξεις κλειδιά:** λυσίμετρα, στραγγίσματα, ποιότητα, ποσότητα, περιβάλλον, ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής

# ABSTRACT

---

The main purpose of this dissertation is to investigate the amount of leachate produced by the West Attica landfill, as well as the temporal evolution of their quality in relation to the annual rainfall.

In order to investigate the above objects, a simulation of the interior of a landfill was conducted by using lysimeters. Two lysimeters were filled with refuse received by the West Attica landfill and with the aid of Mariotte containers, water was added to them, equal to the annual precipitation and in the form of sprawl.

During the simulation, which lasted totally a period of one month, measurements were made on the quantity of leachate and samples of leachate were also taken for further quality analysis. Those analyses concerned physicochemical characteristics, organic compounds, minerals and also heavy metals.

The quantitative analyses gave data on the rate of leachate production and the retention of precipitation, in the form of moisture, from the litter mass.

The qualitative analyses which were carried out, gave valuable conclusions about the evolution of the qualitative composition of leachate from the particular landfill. The quality was directly connected to the decomposition phase in which the refuse was, as well as with its original composition. Hence, for example, high values of pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , TS were reported, while, on the contrary, low concentrations were reported for example, on COD and heavy metals, with the exception of Fe.

It is worth mentioning that there was a deviation of many measurements from the literature data, due to the high content of Greek waste on fermentable materials, as well as the absence of heavy metals such as Cr, Cd and Pb, confirming the origin of refuse, which is in its majority the residential sector.

These measurements consist a valuable tool not only for the future design of such burial sites, but also for the measures that must be taken for the environmental protection mainly of groundwater aquifers adjacent to landfills.

**Key words:** lysimeters, leachate, quality, quantity, environment, West Attica landfill

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## Εισαγωγή

### 1.1 Διαχείριση απορριμμάτων: Προβληματισμός

Η διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα. Η αύξηση της δημιουργίας απορριμμάτων ως αποτέλεσμα της υπερκατανάλωσης και της βιομηχανοποίησης αλλά και η συνεχώς αυξανόμενη ευαισθησία των σύγχρονων κοινωνιών απέναντι στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, μέσω της ρύπανσης, είναι οι κύριες αιτίες για τον προβληματισμό που υπάρχει σήμερα.

Εδώ και πολλά χρόνια καταβάλλονται προσπάθειες σε πολλά επίπεδα, ατομικά, διοικητικά, πολιτικά, τόσο για την μείωση της παραγόμενης ποσότητας απορριμμάτων, όσο και για την ανακύκλωση πρώτων υλών. Επιπλέον νέες μέθοδοι και τεχνολογίες διαχείρισης των απορριμμάτων, όπως η λιπασματοποίηση και η καύση, έχουν κάνει αισθητή την παρουσία τους, προσφέροντας είτε υποπροϊόντα είτε παραγόμενη ενέργεια από την εναλλακτική διάθεση των απορριμμάτων.

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, η χρήση χώρων ταφής σε όλες τις εκφάνσεις τους, αποτελούσε την οικονομικότερη αλλά και την περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδο διαχείρισης των στερεών αποβλήτων παγκοσμίως. Έτσι και στη χώρα μας η υγειονομική ταφή αποτελεί ακόμη τον επικρατέστερο τρόπο διαχείρισης, με την ανακύκλωση όμως να καταλαμβάνει διαρκώς μεγαλύτερο μερίδιο στην πύλα της διαχείρισης. Ειδικότερα στην Αττική, τόσο εξαιτίας της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας όσο και του μεγάλου πληθυσμού, η εύρεση νέων περιοχών για την δημιουργία χώρων ταφής αποτελεί πρόβλημα, με έντονες κοινωνικές αντιδράσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι όλες οι μέθοδοι διαχείρισης μπορούν να παρουσιάσουν περιβαλλοντικά προβλήματα με άμεσες συνέπειες στο τοπικό περιβάλλον.





Η ύπαρξη ενός χώρου ταφής απορριμμάτων αποτελεί εξ ορισμού περιβαλλοντική όχληση καθώς οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα για την αποδόμηση είναι αρκετά χρονοβόρες οπότε καθιστούν επιτακτική την χρήση του χώρου για ένα εύλογο χρονικό διάστημα με αρκετές δυσκολίες επανένταξης. Το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα όμως, που μπορεί να προκύψει, είναι η διαφυγή των παραγόμενων στραγγισμάτων από τον χώρο. Τα στραγγίσματα, για τα οποία πλέον λαμβάνονται ειδικά μέτρα, μπορεί να περιέχουν σημαντικές ποσότητες ρύπων που απελευθερώνονται κατά την διάρκεια των βιολογικών, φυσικών και χημικών διεργασιών, που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια της αποδόμησης και μπορούν να επιφέρουν μόνιμη αλλά και σταθερή υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών αλλά και του εδαφικού υλικού γύρω από τον χώρο ταφής.

Επομένως ο σωστός σχεδιασμός και η διαχείριση ή η αποκατάσταση ενός χώρου, καθώς και οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ενδεχομένως προκύψουν, απαιτούν την πρόγνωση τόσο του όγκου, όσο και της ποιότητας των παραγόμενων στραγγισμάτων με στόχο την σωστή διαχείρισή τους αλλά και την λήψη μέτρων για την αποτροπή της περιβαλλοντικής υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος.

## 1.2 Ερευνητικό αντικείμενο

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα εργασία έχει ως ερευνητικό της αντικείμενο δύο παραμέτρους:

-  Την παραγόμενη ποσότητα στραγγισμάτων από τον μεγαλύτερο χώρο υγειονομικής ταφής της χώρας και την σχέση τους με την βροχόπτωση
-  Την μεταβολή της ποιότητας των στραγγισμάτων στην πορεία του χρόνου

# Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Με το πέρασμα των ετών η παραγόμενη ποσότητα στερεών αποβλήτων αυξάνεται διαρκώς, αφενός εξαιτίας της πληθυσμιακής αύξησης, αφετέρου λόγω της αλλαγής του τρόπου ζωής και της αυξανόμενης χρήσης αγαθών. Έτσι η διαχείριση των απορριμμάτων έχει καταστεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της εποχής μας, καθώς οι περισσότεροι άνθρωποι επιθυμούν να διατηρήσουν το βιοτικό τους επίπεδο, προστατεύοντας παράλληλα το περιβάλλον αλλά και την δημόσια υγεία. Τόσο οι πολίτες όσο και οι βιομηχανίες, καθώς επίσης και οι νομοθέτες ψάχνουν τα μέσα για να μειώσουν το συνεχώς αυξανόμενο ποσό απορριμμάτων και να το επαναχρησιμοποιήσουν ή να το διαθέσουν κατά τρόπο ασφαλή και οικονομικά βιώσιμο.

### 2.1 Διαχείριση απορριμμάτων

Ιστορικά η διαχείριση απορριμμάτων συνδέεται με την τεχνολογική εξέλιξη της κοινωνίας μας, η οποία μαζί με τα πλεονεκτήματα της μαζικής παραγωγής, δημιούργησε και προβλήματα που αφορούν την διάθεση των στερεών αποβλήτων. Η έννοια του απορρίμματος είναι άλλωστε ανθρωπογενής όρος. Στην φύση ο όρος «απόρριμμα» δεν υφίσταται, καθώς το απόβλητο ενός οργανισμού λειτουργεί ως θρεπτικό στοιχείο ενός άλλου.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση με τον όρο **απόρριμμα** εννοούμε *κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει.*

Ένας αναλυτικότερος ορισμός έχει δοθεί από την Στατιστική Αρχή των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Statistics Division) σύμφωνα με τον οποίο *τα απόβλητα είναι υλικά τα οποία δεν αποτελούν κατ' εξοχήν προϊόντα*

(δηλαδή προϊόντα που παράγονται για την αγορά) για τα οποία ο παραγωγός δεν έχει προβλέψει καμία περαιτέρω χρήση από την άποψη της παραγωγής, της μετατροπής ή της κατανάλωσης. Απόβλητα μπορεί να παραχθούν κατά την εξαγωγή των πρώτων υλών, την επεξεργασία των πρώτων υλών σε ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα, την κατανάλωση των τελικών προϊόντων, καθώς και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, ενώ υπολείμματα που ανακυκλώνονται ή επαναχρησιμοποιούνται στο χώρο παραγωγής τους δεν συμπεριλαμβάνονται.

Αν και μπορεί να διαμορφωθεί πλειάδα απόψεων όσον αφορά την κατηγοριοποίηση, οι δύο γενικές κατηγορίες είναι:

- 🗑️ Τα αστικά απορρίμματα και
- 🗑️ Τα βιομηχανικά απόβλητα

Ως **αστικά απορρίμματα** εννοούμε όλα τα άχρηστα στερεά υλικά που δημιουργούνται στα αστικά κέντρα και αποτελούνται από οικιακά στερεά (υπολείμματα φαγητών, υλικά συσκευασίας, υλικά νοικοκυριού), άχρηστα υλικά από τους δημοτικούς δρόμους, από τις υπαίθριες αγορές, από το εμπόριο κ.ά. (Κουιμτζής et al., 1998; Βουτσά, 2009).

Τα αστικά απορρίμματα, τα οποία είναι τα μεγαλύτερα σε όγκο παραγόμενα στερεά απόβλητα, αποτελούν ένα συνονθύλευμα ετερογενών υλικών που η σύστασή τους καθορίζεται τόσο από το βιοτικό επίπεδο και την τεχνολογική εξέλιξη, όσο και από την γεωγραφική θέση της εκάστοτε περιοχής αλλά και την εποχή του χρόνου.

Ως **βιομηχανικά απόβλητα** εννοούμε όλα τα άχρηστα στερεά, που δημιουργούνται στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας των βιομηχανιών, και των οποίων ο όγκος και η σύσταση παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ποικιλία (Κουιμτζής et al., 1998; Βουτσά, 2009).

Οι παραπάνω κατηγορίες μπορούν αναλυτικότερα να δώσουν την εξής υποκατηγοριοποίηση:

- 1) Οικιακά απόβλητα
- 2) Εμπορικά απόβλητα

- 3) Απόβλητα από υπηρεσίες και ιδρύματα
- 4) Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις
- 5) Δημοτικά απόβλητα
- 6) Απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας
- 7) Βιομηχανικά απόβλητα και
- 8) Γεωργικά απόβλητα

## 2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στερεών αποβλήτων

Η διάθεση των στερεών αποβλήτων, είτε ανεξέλεγκτα είτε ελεγχόμενα, δημιουργεί πολλές φορές σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά μεγαλώνουν συνεχώς καθώς είναι συνυφασμένα με το γιγάντωμα των μεγαλουπόλεων και την βιομηχανική ανάπτυξη. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- 1) Κίνδυνοι πυρκαγιών και εκρήξεων: Η διάθεση εύφλεκτων υλικών ή υλικών που με διάφορες φυσικές διεργασίες δημιουργούν εκρηκτικά μείγματα, περικλείει σοβαρούς κινδύνους
- 2) Μεταφορά τοξικών αποβλήτων: Η διάθεση τοξικών αποβλήτων στο περιβάλλον, τα οποία μπορούν να παρασυρθούν με την μορφή σκόνης από τον αέρα, ενέχει κινδύνους ρύπανσης των επιφανειακών νερών, των γειτονικών καλλιεργειών και των κατοικημένων περιοχών.
- 3) Εκπομπή τοξικών και δύσοσμων αερίων: Τα στερεά απόβλητα που περιέχουν οργανικές ενώσεις αποτελούν την κυριότερη πηγή μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), τα οποία αποτελούν προϊόντα αποσύνθεσης. Το μεθάνιο δεν είναι τοξικό αλλά παράγεται σε μεγάλες ποσότητες και δημιουργεί ασφυκτικές συνθήκες σε φυτά αλλά και σε ζώα. Παράλληλα σχηματίζονται σε μικρές ποσότητες υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ) και μερκαπτάνες, που είναι υπεύθυνα για την δυσοσμία που αναπτύσσεται.
- 4) Μεταφορά τοξικών ουσιών στα επιφανειακά και υπόγεια νερά: Η μεταφορά μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με έκπλυση των τοξικών ουσιών από τα νερά της βροχής είτε από τα στραγγίσματα των ημίρευστων αποβλήτων. Η ρύπανση αυτής της μορφής είναι ιδιαίτερα

επικίνδυνη και παραμένει άγνωστο πότε και που θα εμφανιστεί, ενώ ο ρυθμός μεταφοράς και η κατανομή των εκπλυνόμενων τοξικών ουσιών καθορίζεται από παράγοντες όπως η διαλυτότητα του ρύπου, η φύση του ρύπου, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, οι κλιματολογικές συνθήκες και η τοπογραφία του υδροφόρου ορίζοντα. (Αλμπάνης, 2005; Κουϊμτζής et al., 1998)

## 2.3 Μέθοδοι διαχείρισης

Η διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί μια περίπλοκη διεργασία καθώς εμπεριέχει πολλές αρχές και τεχνολογίες. Αυτές περιλαμβάνουν τεχνολογίες για τον έλεγχο της παραγωγής, διαχείρισης, αποθήκευσης, συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και τελικής διάθεσης των απορριμμάτων.

Οι βασικότερες μέθοδοι διάθεσης των απορριμμάτων σήμερα είναι η ανακύκλωση, η λιπασματοποίηση, η αποτέφρωση και η υγειονομική ταφή.

### 2.3.1 Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση έκανε τα πρώτα της δειλά βήματα στην Ελλάδα την δεκαετία του 1990, ενώ από το 1980, κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες, θεωρήθηκε εναλλακτική μέθοδος διαχείρισης των στερεών αποβλήτων.

Για την Ευρωπαϊκή Ένωση ως **ανακύκλωση** νοείται οποιαδήποτε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα μετατρέπονται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες που προορίζονται είτε να εξυπηρετήσουν και πάλι τον αρχικό τους σκοπό είτε άλλους σκοπούς. Περιλαμβάνει την επανεπεξεργασία οργανικών υλικών αλλά όχι την ανάκτηση ενέργειας και την επανεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή σε εργασίες επίχωσης.

Ως γενικότερη έννοια, η ανακύκλωση συνεπάγεται διαχωρισμό των αστικών στερεών αποβλήτων σε ομοιογενείς κατηγορίες συστατικών, ανάκτηση των υλικών και επαναχρησιμοποίησή τους (ενδεχομένως μετά από επεξεργασία)

(Παναγιωτακόπουλος, 2007). Η αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης διαφοροποιείται από υλικό σε υλικό και από περιοχή σε περιοχή. Έτσι για την διαμόρφωση και αξιολόγηση προγραμμάτων ανακύκλωσης, έχουν καθοριστική σημασία ο στόχος και η σκοπιά της ανάλυσης.

Αναφορικά με τον τρόπο διαχωρισμού των ανακυκλώσιμων υλικών, μπορούμε να αναφερθούμε σε δύο περιπτώσεις:

1. Διαχωρισμός στην πηγή
2. Διαχωρισμός σε κέντρο διαλογής και ανάκτησης υλικών

Στην πρώτη περίπτωση η διαλογή γίνεται από τον παραγωγό των αποβλήτων, «μέσα» στο σπίτι ή την επιχείρηση με την χρήση ειδικών κάδων. Στην δεύτερη περίπτωση τα κέντρα διαλογής και ανάκτησης υλικών αποτελούν εναλλακτική πρακτική ανάκτησης υλικών. Διαφοροποιούνται από τις πρακτικές διαλογής στην πηγή λόγω του γεγονότος ότι η τροφοδοσία τους γίνεται με ανάμικτα ανακυκλώσιμα υλικά για τα οποία απαιτείται η εφαρμογή τεχνικών διαχωρισμού κάθε υλικού ξεχωριστά. Μια δεύτερη βασική παράμετρος που χαρακτηρίζει τη λειτουργία των κέντρων αυτών είναι ο αυξημένος βαθμός μηχανοποίησης των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των μικτών ανακυκλώσιμων υλικών και ο οποίος ποικίλει ανάλογα με το κέντρο και τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται.

Ως εκροές των παραπάνω συστημάτων μπορούμε να έχουμε βιοαποδομήσιμο υλικό, χαρτί, μέταλλα, πλαστικά, γυαλί και υπολείμματα για εδαφική διάθεση που αποτελούν περίπου το 75% του συνολικού όγκου των αστικών απορριμμάτων.

### 2.3.2 Λιπασματοποίηση

Η λιπασματοποίηση αποτελεί μια τεχνική διαχείρισης αποβλήτων που μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε μικτά οικιακά απόβλητα είτε σε χωριστά ρεύματα αποβλήτων, και αποτελεί ουσιαστικά τον φυσικό τρόπο ανακύκλωσης των θρεπτικών.

Λιπασματοποίηση, ή κομποστοποίηση όπως είναι ευρύτερα διαδεδομένος ο όρος, μπορεί τεχνικά να οριστεί η ελεγχόμενη βιοοξειδωση ετερογενών οργανικών υλικών, όπου ετερότροφοι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες) βιοαποδομούν οργανικές ενώσεις, με αποτέλεσμα την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), νερού και σταθεροποιημένης οργανικής ύλης (compost) (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Σε μια απλούστερη μορφή, η λιπασματοποίηση μπορεί να οριστεί ως η βιολογική αποδόμηση του βιοαποδομήσιμου οργανικού κλάσματος των οικιακών αποβλήτων, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες έως ότου φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση για αποθήκευση, χειρισμό και ασφαλή χρήση σε εδαφικές εφαρμογές (Tchobanoglous et al., 2002).

Το κομπόστ, με την σειρά του, είναι ένα υλικό πλούσιο σε οργανική ουσία, με υψηλό χουμικό περιεχόμενο και χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό ή ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών καθώς επίσης ως βιόφιλτρο, ως ηχομονωτικό υλικό, σε αναπλάσεις τοπίων, αποκαταστάσεις χώρων ή έλεγχο της διάβρωσης των πρανών.

Η λιπασματοποίηση, στην σημερινή της μορφή, ξεκίνησε ως εργαλείο της οργανικής γεωργίας στην Ευρώπη του 1920. Ο πρώτος βιομηχανικός σταθμός δημιουργήθηκε το 1921 στο Wels της Αυστρίας, ενώ πρωτεργάτες υπήρξαν τόσο ο Rudolf Steiner όσο και ο Sir Albert Howard.

Λόγω του γεγονότος ότι η ανάπτυξη της μεθόδου στηρίζεται στην παρουσία κατάλληλων πληθυσμών μικροοργανισμών, οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη και δραστηριότητά τους είναι αυτές που καθορίζουν τόσο το ρυθμό και την έκταση της διεργασίας όσο και την ποιότητα του παραγόμενου τελικού σταθεροποιημένου οργανικού προϊόντος (compost). Οι πιο σημαντικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι οι εξής (Λοϊζίδου, 2007):

- Η αρχική σύσταση του οργανικού κλάσματος
- Ο αερισμός της μάζας
- Η θερμοκρασία
- Η υγρασία
- Ο λόγος άνθρακα/άζωτο (C/N)

## Οι τιμές pH

Η σωστή προετοιμασία του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων προς λιπασματοποίηση αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο για την επιτυχία των διεργασιών. Η οργανική μάζα συνίσταται από στερεά ουσία, νερό και αέρια (οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα), σε σχετικά σταθερή κατανομή, ενώ η μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού έχει ως αποτέλεσμα αυτό να αποτελεί καλύτερο και πιο ομοιογενές υπόστρωμα για την μικροβιακή δράση. Ο αερισμός της μάζας απαιτείται για τρεις βασικούς λόγους: α) παρέχει στο υλικό το απαραίτητο οξυγόνο για την ανάπτυξη των βιοχημικών δράσεων διάσπασης και σταθεροποίησης των οργανικών συστατικών (στοιχειομετρική απαίτηση), β) βοηθά στην απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας και γ) βοηθά στην απομάκρυνση της θερμότητας. Επίσης η υψηλή θερμοκρασία θεωρείται ότι αποτελεί απαιτούμενη συνθήκη για την επιτυχή ανάπτυξη της μεθόδου. Οι υψηλές θερμοκρασίες είναι αποτέλεσμα της βιολογικής δραστηριότητας ωστόσο θα πρέπει να αποφεύγονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Λοϊζίδου, 2007).

Η βέλτιστη υγρασία κατά την λιπασματοποίηση ποικίλει και εξαρτάται από τη φύση και το μέγεθος των κόκκων του υλικού καθώς και από τη μέθοδο λιπασματοποίησης που εφαρμόζεται. Χαμηλές τιμές περιεχόμενης υγρασίας είναι ενδεικτικές της πρόωρης αφυδάτωσης του υλικού, γεγονός που επιβραδύνει τη βιολογική διεργασία. Αντίθετα, αυξημένη υγρασία παρεμποδίζει τον αποτελεσματικό αερισμό, φράσσοντας τους πόρους του υλικού, με αποτέλεσμα την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών. Ο λόγος C/N αποτελεί τον σημαντικότερο από τους θρεπτικούς παράγοντες. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η βέλτιστη τιμή του λόγου θα πρέπει να κυμαίνεται από 20 έως 25. Υψηλότερες τιμές επιβραδύνουν την βιοαποδόμηση, ενώ χαμηλότερες οδηγούν σε απώλειες θρεπτικού αζώτου. Τέλος οι βέλτιστες τιμές του pH κυμαίνονται από 5,5 έως 8,5. Τα περισσότερα βακτήρια συνήθως αναπτύσσονται σε σχεδόν ουδέτερο pH, ενώ οι μύκητες αναπτύσσονται ευνοϊκότερα σε ελαφρά όξινο περιβάλλον. (Λοϊζίδου, 2007; Tchobanoglous et al., 2002).

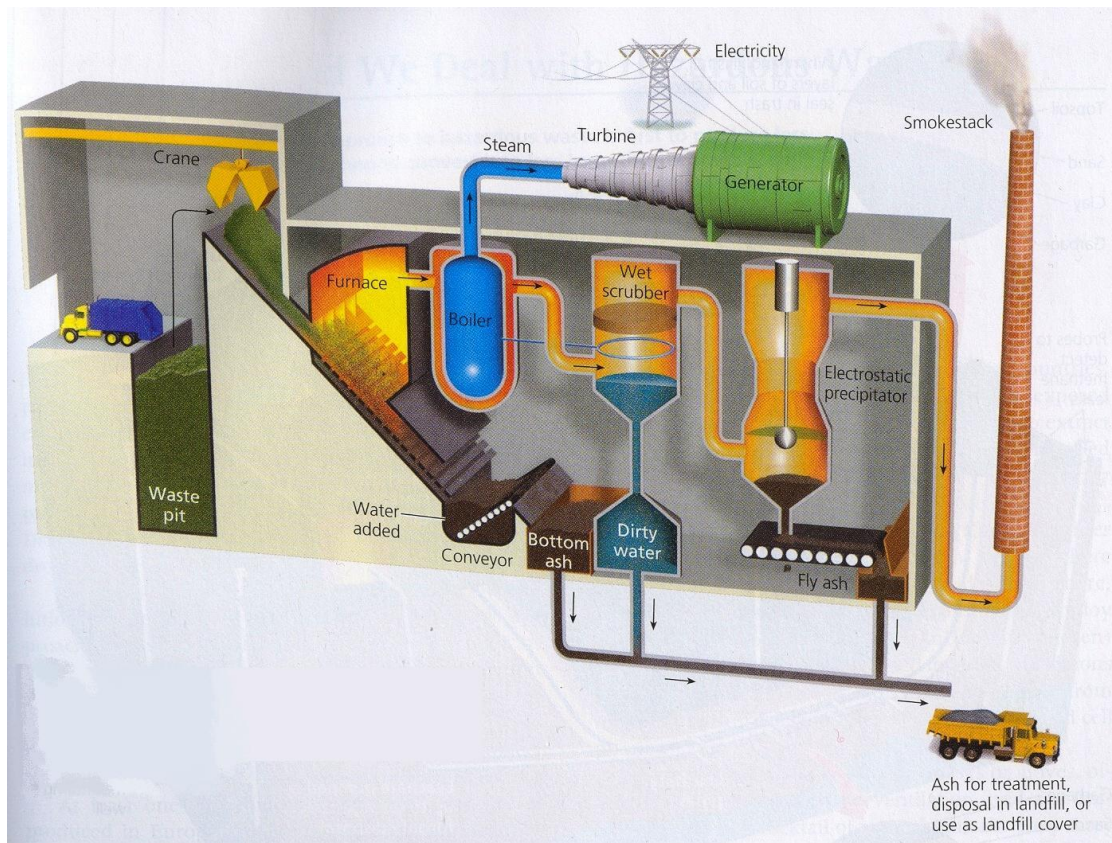


Θεωρητικά η λιπασματοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία του 10 ως 30% των οργανικών οικιακών αποβλήτων. Η ποσότητα αυτή μπορεί να αυξηθεί αν προστεθούν υπολείμματα χαρτιού και φαγητού (Tchobanoglous et al., 2002).

### 2.3.3 Θερμική επεξεργασία

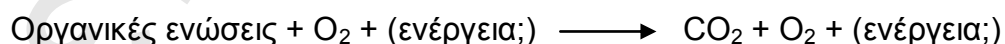
Η καύση (ή αποτέφρωση – incineration) των αστικών απορριμμάτων θεωρείται μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους διάθεσής τους. Άρχισε να εφαρμόζεται από τα μέσα της δεκαετίας του 1960 και από τότε βρίσκει όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή. Σκοπός της μεθόδου είναι η ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της περιεχόμενης στα απορρίμματα ενέργειας για διάφορους σκοπούς (π.χ. θέρμανση, παραγωγή ατμού, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) και μετατροπή μεγάλου μέρους τους σε αδρανή υλικά.

Η **αποτέφρωση** ορίζεται ως η ταχεία μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, με οξείδωση της οργανικής ύλης των αστικών στερεών αποβλήτων, υπό συνθήκες περίσσειας οξυγόνου, προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Τα ανόργανα συστατικά των απορριμμάτων παραμένουν στο παραγόμενο στερεό υπόλειμμα ενώ η αποτέφρωση μπορεί να γίνει είτε με την απαιτούμενη στοιχειομετρική αναλογία αέρα είτε σε περίσσια αέρα (Μαυρόπουλος, 2008).



**Εικόνα 1: Εργοστάσιο καύσης απορριμμάτων**

Η αποτέφρωση των στερεών απορριμμάτων ουσιαστικά εκπροσωπεί μια αρκετά παλαιά και διαδεδομένη διεργασία, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών (850 έως 1500 ° C), με παρουσία φλόγας, για την οξειδωση των επιμέρους στοιχείων, δηλαδή την ένωσή τους με το οξυγόνο. Στόχος της εν λόγω διεργασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση και/ή η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους. Η γενική αντίδραση που ισχύει για αποτέφρωση αποβλήτων που περιέχουν οργανικές ενώσεις είναι η (Βουτσά, 2009):



Για να είναι αποτελεσματική η καύση των απορριμμάτων, πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω ελάχιστες απαιτήσεις (Λοϊζίδου, 2007):

- Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μικρότερο από 50% κ.β.
- Περιεκτικότητα σε καύσιμα υλικά τουλάχιστον 25% κ.β.

- ❏ Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (ΚΘΔ) των αποβλήτων τουλάχιστον 3350 KJ/Kg.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της καύσης των απορριμμάτων είναι (Κουιμτζής et al., 1998; Λοιζίδου, 2007; Παναγιωτακόπουλος, 2007; Miller et al., 2009; Wright, 2005; Tchobanoglous et al., 2002):

- ❏ Ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων έως 90% και του βάρους τους έως 70% περίπου, με σχηματισμό στερεών υπολοίπων
- ❏ Υγειονομικά πλεονεκτήματα, όπως εξάλειψη της δυσοσμίας και καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών
- ❏ Εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης των 800 έως 2500 kcal/kg
- ❏ Χρήση ίδιας μεθόδου συλλογής και μεταφοράς των απορριμμάτων
- ❏ Χρήση μικρής περιοχής τελικής διάθεσης των απορριμμάτων, συγκριτικά με την περιοχή που χρειάζεται ένας ΧΥΤΑ
- ❏ Με την χρήση τεχνικών ανάκτησης θερμότητας το κόστος λειτουργίας μπορεί να μειωθεί μέσω της χρήσης ή της πώλησης ενέργειας

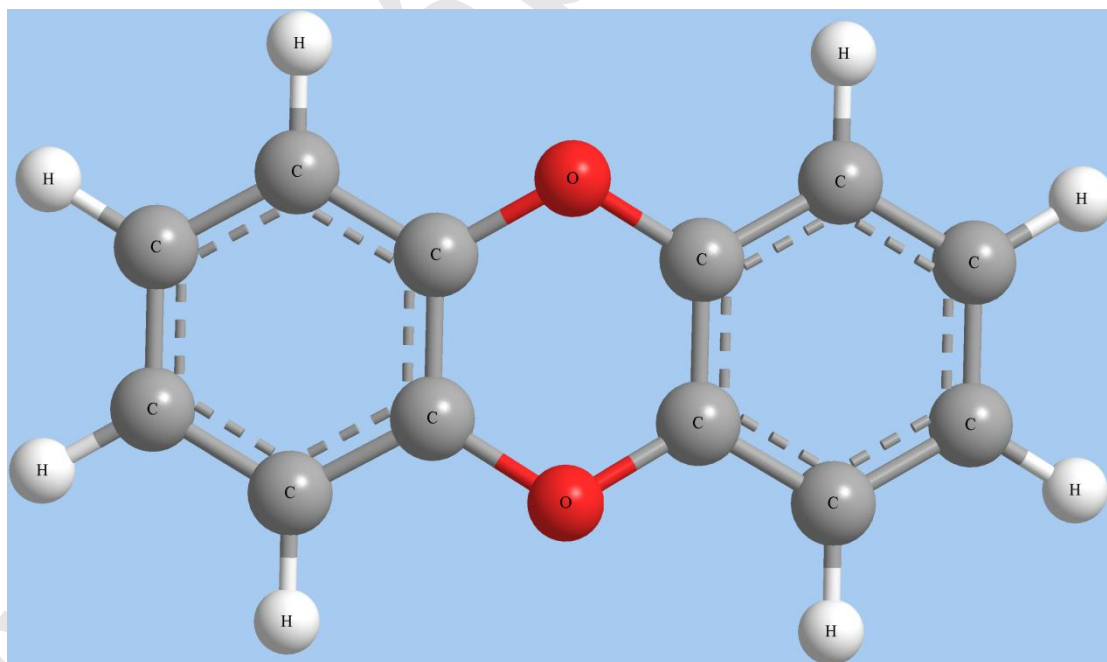
Υπάρχουν όμως και σοβαρά μειονεκτήματα της μεθόδου, τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά, όπως (Κουιμτζής et al., 1998; Λοιζίδου, 2007; Παναγιωτακόπουλος, 2007; Miller et al., 2009; Wright, 2005; Tchobanoglous et al., 2002):

- ❏ Το κεφαλαιακό κόστος είναι ιδιαίτερα υψηλό
- ❏ Η τέφρα που προκύπτει συχνά περιέχει μέταλλα και άλλες επικίνδυνες ουσίες που πρέπει να διατεθούν σε κάποιο ΧΥΤΑ
- ❏ Εκλύονται επικίνδυνα καυσαέρια

Τα αέρια που παράγονται κατά την αποτέφρωση περιέχουν τα τυπικά προϊόντα της καύσης ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ), περίσσεια οξυγόνου, σωματίδια σκόνης, και άλλες ενώσεις η παρουσία και η συγκέντρωση των οποίων εξαρτάται από τη σύσταση των προς επεξεργασία αποβλήτων. Κυριότερα από αυτά είναι το υδροχλώριο ( $\text{HCl}$ ), το υδροφθόριο ( $\text{HF}$ ), τα αιωρούμενα σωματίδια που περιέχουν βαρέα μέταλλα και οι πολυκυκλικοί

υδρογονάνθρακες (διοξίνες, φουράνια) (Λοϊζίδου, 2007). Τόσο τα αδρανή στερεά υπολείμματα (τέφρα), τα οποία εκπροσωπούν το 15 – 40% του βάρους της τροφοδοσίας του αποτεφρωτή, όσο και οι αέριες ενώσεις χρήζουν κατάλληλης επεξεργασίας πριν την έκλυσή τους στο περιβάλλον.

Από τους πιο επικίνδυνους ρύπους που μπορεί να περιέχονται στα καυσαέρια που παράγονται κατά την αποτέφρωση είναι οι διοξίνες (πολυχλωριωμένες διβενζοδιοξίνες - PCDD), οι οποίες αποτελούνται από δύο αρωματικούς δακτυλίους ενωμένους με ένα ζεύγος ατόμων οξυγόνου (Εικόνα 2). Εξίσου επικίνδυνοι ρύποι είναι και τα φουράνια (PCDF), τα οποία διαφέρουν από τις διοξίνες στο γεγονός ότι οι δύο αρωματικοί δακτύλιοι συνδέονται με ένα άτομο οξυγόνου (Εικόνα 3) (Λοϊζίδου, 2007). Οι ενώσεις αυτές έχουν χαρακτηριστεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ως «συμβάλλουσες» (promoters) σε διαδικασίες καρκινογένεσης σε ανθρώπους. Οι διοξίνες και τα φουράνια παράγονται σχεδόν σε όλες τις διαδικασίες καύσης, σε μικρές ποσότητες και είναι δυνατό να κατέβουν σε ποσότητες μικρότερες του 0,1 νανογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αερίων με κατάλληλα μέτρα που αφορούν τόσο τη βελτιστοποίηση της ίδιας της διεργασίας της καύσης, όσο και μέτρα αντιρρύπανσης.

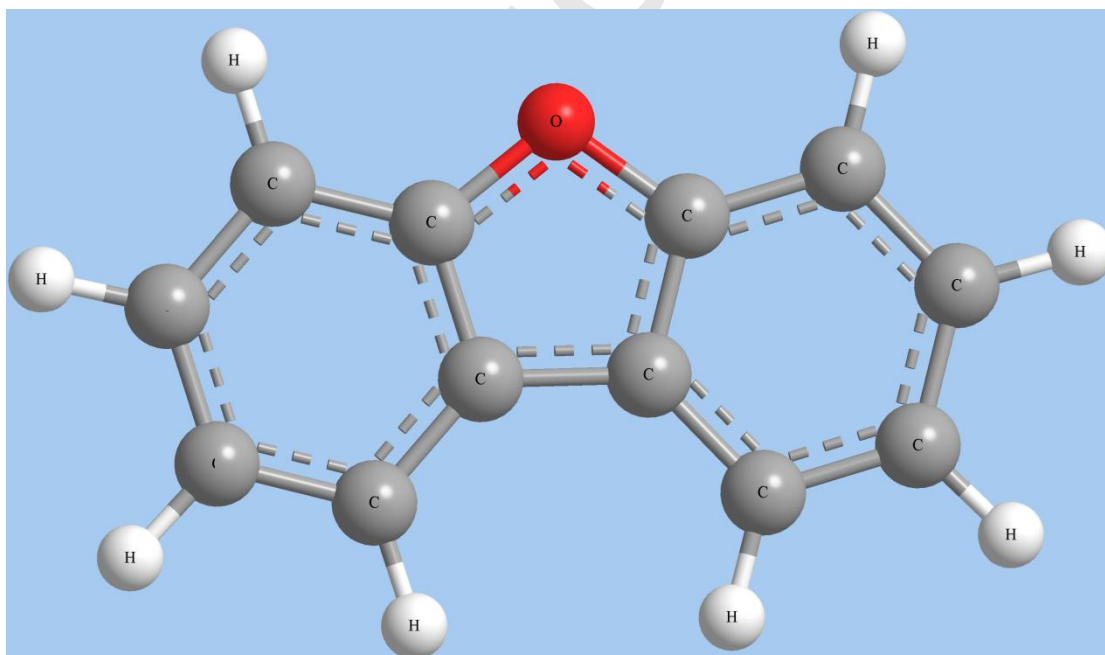


Εικόνα 2: Στερεοχημικός τύπος διοξίνης

Υπάρχουν τρεις θεωρίες αναφορικά με την παρουσία διοξινών/φουρανίων στις μονάδες καύσης:

- 1) Οι διοξίνες ή/και τα φουράνια προϋπάρχουν στο καύσιμο ή στο απόβλητο και δεν καταστρέφονται με την καύση
- 2) Σχηματισμός από πρόδρομες ενώσεις με ομοιότητα στην δομή, όπως χλωριωμένες αρωματικές ενώσεις (π.χ. χλωριωμένο βενζόλιο) μέσω ομογενών ή ετερογενών αντιδράσεων.
- 3) Αρχική σύνθεση των ενώσεων από πηγές άνθρακα με ετερογενείς αντιδράσεις μεταξύ ανθρακούχων σωματιδίων και ανόργανου δότη χλωρίου.

Για τον περιορισμό των εκπομπών διοξινών και φουρανίων απαιτούνται θερμοκρασίες μεγαλύτερες των  $850^{\circ}\text{C}$  και παραμονή των αποβλήτων στο θάλαμο καύσης για τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτα, παρουσία τουλάχιστον 6% οξυγόνου (Βουτσά, 2009).



Εικόνα 3: Στερεοχημικός τύπος φουρανίων

Κατά την αποτέφρωση προκύπτουν περίπου  $4.000 - 5.000\text{ m}^3$  καυσαερίων ανά τόνο απορριμμάτων. Τα καυσαέρια αυτά βρίσκονται σε θερμοκρασία περίπου  $1000^{\circ}\text{C}$  η οποία μειώνεται απότομα στους  $350^{\circ}\text{C}$ , κατά την πρώτη

φάση καθαρισμού των απαερίων και η θερμότητα που προκύπτει από την ψύξη μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες χρήσεις (Λοϊζίδου, 2007).

Σήμερα καύση στερεών αποβλήτων συνεπάγεται ανάκτηση ενέργειας. Ανάλογα με την σύνθεση των απορριμμάτων, μπορεί να επιτευχθεί ανάκτηση μέχρι 650 kWh ανά τόνο απορριμμάτων. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο λειτουργούν συνολικά 431 μονάδες αποτέφρωσης αποβλήτων, οι οποίες επεξεργάζονται περίπου 50 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων ετησίως. Οι μονάδες αυτές οδηγούν στην παραγωγή και εμπορία 17,5 εκατομμυρίων MWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, ικανές να καλύψουν τις ανάγκες 9,5 εκατομμυρίων νοικοκυριών και 31 εκατομμύρια MWh θερμότητας, ικανές να καλύψουν τις ανάγκες 2 εκατομμυρίων νοικοκυριών.

#### 2.3.4 Υγειονομική ταφή

Η εδαφική διάθεση ή ταφή των αστικών αποβλήτων αποτελεί ακόμη μια μέθοδο διαχείρισης των απορριμμάτων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιούνταν και από τους αρχαίους λαούς, μεταξύ των οποίων και οι Έλληνες, και μέχρι πριν από περίπου μια εικοσαετία θεωρούνταν μια μέθοδος επεξεργασίας που προσφέρει πλήρη «επίλυση του προβλήματος» χωρίς να δημιουργεί δευτερεύουσες αρνητικές επιπτώσεις.

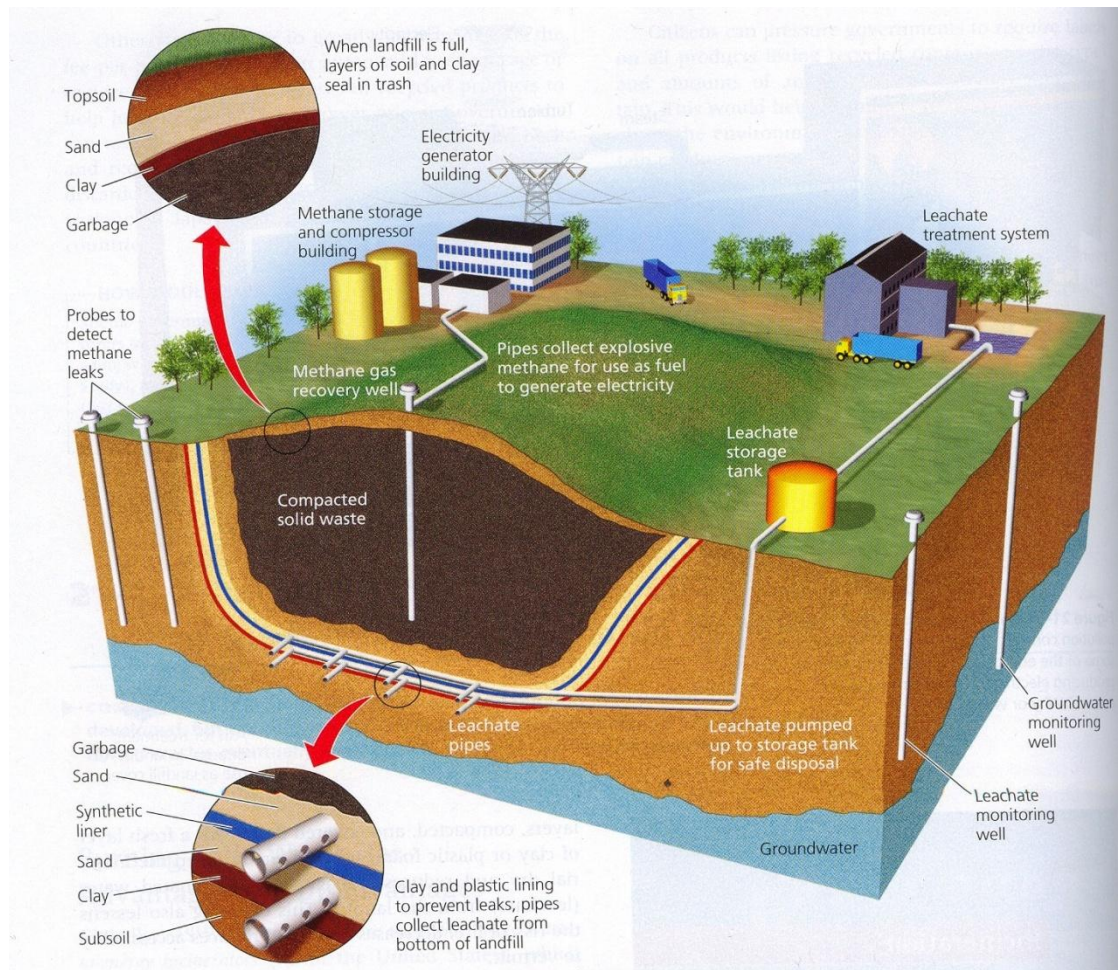
Η εδαφική διάθεση ως όρος χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει την διαδικασία με την οποία τόσο τα απορρίμματα όσο και τα υπολείμματα τοποθετούνταν σε μια χωματερή. Ο όρος *υγειονομική ταφή* (sanitary landfill) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά την δεκαετία του 1930, στην Καλιφόρνια, για να περιγράψει μια απλή δραστηριότητα διάστρωσης, συμπίεσης και κάλυψης των απορριμμάτων με εδαφικό υλικό σε καθημερινή βάση. Σήμερα ο όρος αναφέρεται σε μια εγκατάσταση που σχεδιάστηκε και λειτουργεί με στόχο την μείωση των υγειονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. (Tchobanoglous et al., 2002).

Ένας **Χώρος Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤ)**, είτε απορριμμάτων είτε υπολειμμάτων, ορίζεται ως *κάθε χώρος διάθεσης για την απόθεση των*

αποβλήτων επί ή εντός του εδάφους ή υπογείως, συμπεριλαμβανομένων: α) των εσωτερικών χώρων διάθεσης των αποβλήτων (δηλαδή των χώρων υγειονομικής ταφής στους οποίους ένας παραγωγός αποβλήτων πραγματοποιεί την διάθεσή τους στον τόπο παραγωγής) και β) κάθε μόνιμος (δηλαδή χρησιμοποιούμενος άνω του έτους) χώρος προσωρινής εναποθήκευσης αποβλήτων, αλλά εξαιρουμένων: α) των εγκαταστάσεων στις οποίες εκφορτώνονται τα απόβλητα με σκοπό την προετοιμασία τους για περαιτέρω μεταφορά τους προς ανάκτηση χρήσιμων υλών, επεξεργασία ή διάθεση αλλού και β) της εναποθήκευσης των αποβλήτων πριν από την ανάκτηση χρήσιμων υλών ή την επεξεργασία για διάστημα μικρότερο των τριών ετών κατά κανόνα και γ) της εναποθήκευσης αποβλήτων πριν από την διάθεση για διάστημα μικρότερο του έτους (ΕΕ, 1999).

Ουσιαστικά ένας ΧΥΤΑ είναι ένας χώρος, υπεδάφιος ή υπερεδάφιος, κατάλληλα διαμορφωμένος ώστε να αποτίθενται σε αυτόν στερεά απόβλητα και να ελέγχονται τα προϊόντα της αποσύνθεσής τους μέχρις ότου αυτά καταστούν μη επικίνδυνα για το περιβάλλον και την υγεία. Ο πυθμένας και οι πλευρές της υπεδάφιας διαμόρφωσης «στεγανοποιούνται» με φυσικά ή συνθετικά υλικά. Η εναπόθεση γίνεται με διάστρωση των αποβλήτων σε στρώσεις, συμπίεσή τους σε προκαθορισμένο βαθμό, και κάλυψή τους με εδαφικό ή άλλο υλικό σε περιοδική βάση (συνήθως καθημερινή). Μετά την πλήρωση του διαθέσιμου χώρου εντός του επιτρεπόμενου ανάγλυφου, ο χώρος καλύπτεται με κάλυμμα ελεγχόμενης διαπερατότητας επί του οποίου αναπτύσσεται βλάστηση (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Ένας ΧΥΤΑ μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμος (survivable) ή αειφορικός (sustainable) αν, εντός μιας γενιάς (30 ετών) από την απόθεση των απορριμμάτων, επιτυγχάνεται πραγματικά κατάσταση οριστικής τελικής διάθεσης με την έννοια ότι τόσο η εναπομείνασα μάζα στο σώμα του ΧΥΤΑ, όσο και οι κάθε είδους εκροές και εκπομπές από αυτόν είναι περιβαλλοντικά αποδεκτές χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Η επίτευξη του στόχου αυτού επιδιώκεται με συνδυασμό 1) προεπεξεργασίας των αποβλήτων και 2) ελέγχου του ρυθμού βιοαποδόμησής τους στο σώμα του ΧΥΤΑ (Παναγιωτακόπουλος, 2007).



Εικόνα 4: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

Τα βιοαποδομήσιμα υλικά μέσα στον ΧΥΤΑ υφίστανται βιοαποδόμηση με ρυθμό που επηρεάζεται από την υγρασία και τη θερμοκρασία, παράγοντας κυρίως διασταλάγματα και βιοαέριο. Τα διασταλάγματα (leachate) είναι αποτέλεσμα της διήθησης της βροχής, ανεξέλεγκτων υδάτινων διαρροών και της άρδευσης. Περιέχουν μια ποικιλία χημικών συνιστωσών που προέρχονται από την διαλυτοποίηση των αποτιθέμενων υλικών στον χώρο και από τα προϊόντα των χημικών και βιοχημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται εκεί. Το βιοαέριο (landfill gas) αποτελεί μίγμα μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), τα οποία αποτελούν προϊόντα της αναερόβιας βιολογικής αποδόμησης που λαμβάνει χώρα στα οργανικά υλικά που τοποθετούνται στο ΧΥΤΑ (Παναγιωτακόπουλος, 2007; Tchobanoglous et al., 2002).



Ο απαιτούμενος χρόνος για «αδρανοποίηση» ή «σταθεροποίηση» εξαρτάται και από την αρχική σύνθεση των απορριμμάτων και μπορεί να ξεπεράσει τα 50 χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ.

Οι κύριοι λόγοι για την ευρεία αποδοχή και χρήση των χώρων υγειονομικής ταφής για την διάθεση παγκοσμίως του 70% των παραγόμενων αστικών απορριμμάτων (Slack et al., 2005) σε πολλά μέρη του κόσμου, συμπεριλαμβανομένης και της πλειονότητας των χωρών της Μεσογείου είναι οι εξής:

- i. Συγκριτικές μελέτες από διάφορες χώρες, ανάμεσα στις διάφορες μεθόδους διαχείρισης για στερεά αστικά απορρίμματα, έδειξαν πως αυτή είναι η οικονομικότερη επιλογή (Tatsi et al., 2002)
- ii. Εκτός από τα οικονομικά πλεονεκτήματα, οι ΧΥΤΑ επιτρέπουν στα περισσότερα απορρίμματα να αποδομηθούν κάτω από είτε λίγο είτε πολύ ελεγχόμενες συνθήκες, μέχρι την τελική τους αποδόμηση σε σχετικά αδρανή σταθεροποιημένα υλικά (Bilgili et al., 2006; Tatsi et al., 2002)

Τα βασικά πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής είναι:

1. Η σχετικά εύκολη τεχνολογία
2. Η μικρότερη δαπάνη υποδομής και λειτουργίας
3. Η επαναχρησιμοποίηση του χώρου μετά την «απενεργοποίηση» του ΧΥΤΑ και
4. Η πιθανή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου.

Ενώ τα κύρια μειονεκτήματα είναι:

1. Οι μεγάλοι απαιτούμενοι χώροι
2. Το σύνδρομο «όχι στην δική μου αυλή» (“not in my back yard”)
3. Η έκλυση αερίων θερμοκηπίων και συγκεκριμένα μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), αν δεν καίγεται το βιοαέριο, ή διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) αν καίγεται, και
4. Το γεγονός ότι η περίοδος της μεταφροντίδας είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των υπολοίπων μεθόδων διαχείρισης (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Επειδή η πιθανότητα αστοχιών στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των ΧΥΤΑ δεν είναι αμελητέα, υπάρχει κίνδυνος αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και την υγεία. Τέτοιες περιπτώσεις είναι η δυσοσμία, οι εκπομπές τεράστιων ποσοτήτων διοξινών από ανεξέλεγκτες πυρκαγιές, η ρύπανση των νερών στην ευρύτερη περιοχή από διακίνηση παραγόμενων ρυπογόνων στραγγισμάτων, οι κίνδυνοι από διακίνηση βιοαερίου κ.ά.

## **2.4 Αποδόμηση απορριμμάτων σε έναν ΧΥΤΑ**

Η απορριμματική μάζα ενός ΧΥΤΑ αποτελεί συνονθύλευμα ανόργανων και οργανικών συστατικών. Η μάζα αυτή μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή ρύπανσης τόσο σε υγρή μορφή όσο και σε αέρια.

Οι ρυπαντές που υπάρχουν στα απορρίμματα συνήθως απελευθερώνονται από αυτά μετά την ταφή τους, και με την βοήθεια του νερού μεταφέρονται στον πυθμένα του ΧΥΤΑ, ενώ παράλληλα υφίστανται φυσικές, χημικές αλλά και βιολογικές διεργασίες.

Η κατανόηση λοιπόν των παραπάνω διεργασιών αποτελεί κριτήριο για τον σωστό σχεδιασμό ενός ΧΥΤΑ.

### **2.4.1 Μελέτη συμπεριφοράς ενός ΧΥΤΑ**

Η κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός χώρου υγειονομικής ταφής είναι αντικείμενο πολλών ερευνητών (Ehrig, 1983; El – Fadel et al., 2002; Fatta et al., 1999; Seco et al., 2003; Tatsi et al., 2002), και πραγματοποιείται μέσω της μελέτης των στραγγισμάτων, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, αλλά και του βιοαερίου από χώρους απόθεσης διαφορετικής ηλικίας και από διαφορετικές περιοχές του πλανήτη.

Ταυτόχρονα η ανάγκη μελέτης της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας των παραγόμενων στραγγισμάτων αλλά και τις επίδρασης διάφορων παραμέτρων στην αποδόμηση των απορριμμάτων, οδήγησε σε προσομοίωση του εσωτερικού ενός χώρου απόθεσης με πειραματικές κατασκευές, δηλαδή λυσιμέτρα (Bilgili et al., 2006, 2007; Karnchanawong et al., 2009; Ledakowicz et al., 2004; Stessel et al., 1992; Thornton et al., 2001; Μποσδογιάννη, 1997) ή πιλοτικές εγκαταστάσεις μεγάλων διαστάσεων (Halvadakis et al., 1988). Οι έρευνες έδειξαν ότι μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των εργαστηριακών μετρήσεων και των μετρήσεων σε πραγματική κλίμακα, καθώς οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα είναι οι ίδιες, αν και η χρονική διάρκεια στην περίπτωση των λυσιμέτρων εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη (μία εργαστηριακή μέρα ισούται περίπου με 1,16 χρόνια στην πραγματική κλίμακα).

Τα εργαστηριακά λυσιμέτρα επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μείωση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση των βιολογικών διαδικασιών, και μπορούν να παρακολουθηθούν καλύτερα, καθώς οι μικρές διαστάσεις τους επιτρέπουν την τοποθέτησή τους στο εργαστήριο. Συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτο βήμα στην διερεύνηση των παραγόντων που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό ενός ΧΥΤΑ και στην περίπτωση που αποδειχτεί η θετική επίδραση κάποιας παραμέτρου στην αποδόμηση των απορριμμάτων, αυτό μπορεί στη συνέχεια να επιβεβαιωθεί με χρήση ομοιωμάτων φυσικής κλίμακας (Μποσδογιάννη, 1997).

#### **2.4.2 Ο ΧΥΤΑ ως οικοσύστημα και βιοαντιδραστήρας**

Ένας ΧΥΤΑ αποτελεί ένα ιδιαίτερο οικοσύστημα με οργανικό υπόστρωμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από την αυτοοργάνωσή του και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία, οξύτητα κλπ) με βάση τις οποίες λειτουργεί. Πρόκειται ουσιαστικά για έναν βιοαντιδραστήρα, δηλαδή ένα χώρο όπου γίνεται βιοαποδόμηση οργανικής ύλης δια μέσου μικροβιακών οργανισμών, με παράλληλη παραγωγή βιοαερίου, στραγγισμάτων και νέας βιομάζας, ενώ εκλύεται θερμότητα και απομένουν αποδομημένα απορρίμματα (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Γενικά ένα οικοσύστημα αποτελεί φυσικό περιβάλλον για διάφορους μικροοργανισμούς μεταξύ των οποίων και των βακτηριδίων. Αυτά αποτελούν στοιχειώδεις αυτόνομες βιολογικές μονάδες, που όμως χρειάζονται τροφή και ενέργεια, στοιχεία απαραίτητα για την σύνθεση της βιομάζας τους. Η βιομάζα αποτελείται από διάφορα στοιχεία, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι C, H, O, N, S, P. Η έλλειψη κάποιου από αυτά και κυρίως των άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου δρα ως περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη των βακτηριδίων (Μποσδογιάννη, 1997).

Ο ΧΥΤΑ θεωρείται ενεργός βιοαντιδραστήρας για όσο διάστημα λαμβάνει χώρα αξιοσημείωτη βιοαποδόμηση, ενώ ο χρόνος ενεργού ζωής του εξαρτάται από τον ρυθμό βιοαποδόμησης. Επομένως είναι σημαντικό να ελέγχονται τα προϊόντα της βιοαποδόμησης για τόσο χρόνο όσος είναι απαραίτητος για να σταθεροποιηθούν ή αδρανοποιηθούν τα απορρίμματα σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ή για το φυσικό περιβάλλον. Αυτή η αδρανοποίηση, μέσα στο ΧΥΤΑ, γίνεται με φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες (Ehrig, 1983; Öman et al., 1993; Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Οι κυριότερες **φυσικές διεργασίες** που λαμβάνουν χώρα σε έναν ΧΥΤΑ είναι:

1. *Συμπύκνωση* των απορριμμάτων, η οποία επηρεάζει δραστικά την συμπεριφορά του ΧΥΤΑ
2. *Διάλυση* ευδιάλυτων υλικών, από το νερό, το οποίο μεταφέρει μη αντιδρούσες ουσίες
3. *Συναγωγή*
4. *Απορρόφηση* διαλυμένων ρύπων (δέσμευση των ρύπων μέσα σε άλλα υλικά)
5. *Προσρόφηση* (δέσμευση των ρύπων στην επιφάνεια άλλων υλικών)

Οι **χημικές διεργασίες** έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικότητας των συστατικών των απορριμμάτων με συνέπεια την επιτάχυνση του ρυθμού ομογενοποίησης του ΧΥΤΑ. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

1. *Οξείδωση* από το παγιδευμένο οξυγόνο, το οποίο σύντομα εξαντλείται

2. Αντιδράσεις μετάλλων – οξέων, εξαιτίας της παρουσίας των οργανικών οξέων και του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Αυτές οι αντιδράσεις απελευθερώνουν μεταλλικά ιόντα και άλατα τα οποία είναι δυνητικοί ρύποι. Όμως, όταν αρχίσει η φάση παραγωγής μεθανίου, το υλικό στην απορριμματική μάζα γίνεται λιγότερο όξινο και η απελευθέρωση ιόντων μειώνεται.
3. Αντιδράσεις αναγωγής που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης.

Τέλος τα οργανικά υλικά βιοαποδομούνται σταδιακά μέσω **βιολογικών διεργασιών** με τις διαδικασίες που περιγράφονται στην επόμενη ενότητα (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

#### 2.4.3 Φάσεις αποδόμησης απορριμμάτων

Η διαδικασία της σταδιακής βιοαποδόμησης των οργανικών υλικών μέσα σε έναν ΧΥΤΑ μπορεί να περιγραφεί σε πέντε φάσεις με βάση την σύνθεση και τον όγκο του παραγόμενου βιοαερίου (Ehrig, 1983; Kjeldsen et al., 2002; Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Κατά την **αρχική προσαρμογή** (ή αερόβια φάση) η οργανική ύλη υφίσταται βιολογική αερόβια αποδόμηση. Το οξυγόνο προέρχεται από την μικρή ποσότητα που παγιδεύεται στην απορριμματική μάζα, ενώ η κύρια πηγή μικροοργανισμών είναι το εδαφικό υλικό κάλυψης και τα ανακυκλούμενα στραγγίσματα. Στην φάση αυτή παράγεται αέριο με περιεκτικότητα 90% διοξείδιο του άνθρακα, δημιουργώντας όξινα στραγγίσματα.

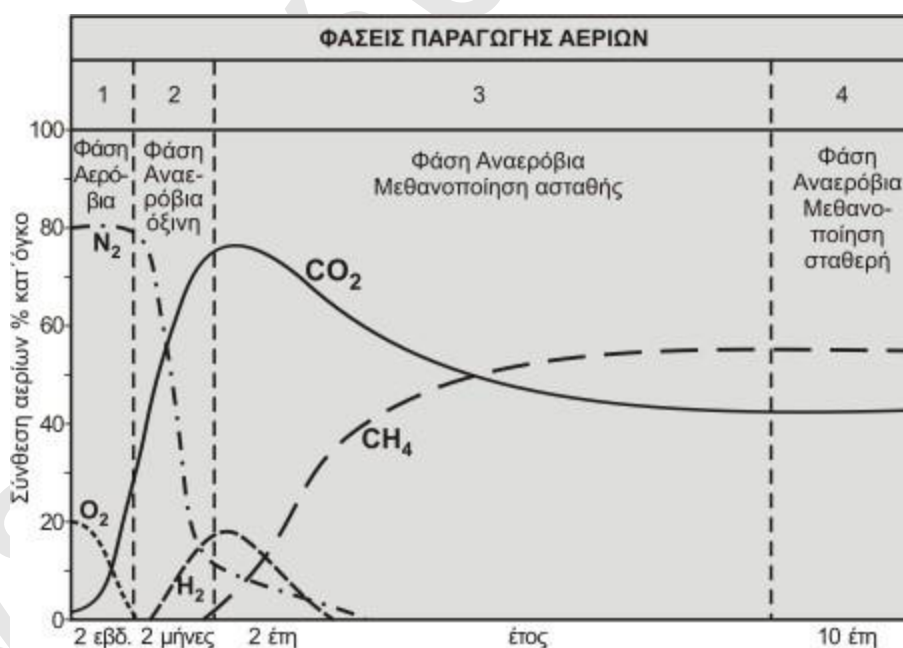
Στην **μεταβατική φάση** εξαντλείται το ελεύθερο οξυγόνο και δημιουργούνται αρχικά ανοξικές και εν συνεχεία αναερόβιες συνθήκες, ενώ η οργανική ύλη μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ) και πτητικά οξέα.

Η **αναερόβια όξινη φάση** επιμερίζεται σε τρία στάδια. Αρχικά υδρολύονται οι πολυμερείς ενώσεις (λίπη, πρωτεΐνες) και μετατρέπονται σε προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα κλπ). Ακολουθεί

ζύμωση των παραπάνω προϊόντων και παραγωγή καρβοξυλικών οξέων μοριακού βάρους, διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), υδρογόνου ( $\text{H}_2$ ) και αλκοολών. Στο τελευταίο στάδιο λαμβάνει χώρα οξεογένεση (παραγωγή οξικού οξέως,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) από τα παραπάνω προϊόντα. Η φάση αυτή αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα καθώς στην διάρκειά της παράγονται δύσσομες πτητικές ουσίες, ιδιαίτερα εκρηκτικά μίγματα αερίων και στραγγίσματα με υψηλές συγκεντρώσεις εύκολα αποδομούμενων οργανικών ουσιών και βαρέων μετάλλων (Μποσδογιάννη, 1997).

Η τέταρτη φάση αποτελεί την **μεθανογένεση**. Εδώ το οξικό οξύ υφίσταται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Η αναλογία  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  είναι περίπου 45/55.

Η πέμπτη και τελευταία φάση είναι αυτή της **ωρίμανσης**, κατά την οποία ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου ελαττώνεται σημαντικά αφού τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά είτε έχουν απομακρυνθεί με τα στραγγίσματα, είτε έχουν εξαντληθεί, γεγονός που δυσκολεύει την αποδόμηση της απομένουσας οργανικής ύλης (Kjeldsen et al., 2002; Λοϊζίδου, 2007; Παναγιωτακόπουλος, 2007).



Εικόνα 5: Χρονοδιάγραμμα παραγωγής αερίων από ΧΥΤΑ (Βουδούρης, 2006)

Πρέπει να τονιστεί ότι ο ρυθμός αποδόμησης διαφέρει σημαντικά από ΧΥΤΑ σε ΧΥΤΑ, εξαιτίας διάφορων παραγόντων οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι (Bilgili et al., 2006):

- 🖼️ Η ηλικία και σύνθεση των απορριμμάτων
- 🖼️ Η υγρασία, η θερμοκρασία και το pH
- 🖼️ Οι γεωμορφολογικές συνθήκες
- 🖼️ Οι κλιματολογικές συνθήκες και
- 🖼️ Ο τρόπος λειτουργίας του ΧΥΤΑ

#### 2.4.4 Παραγωγή στραγγισμάτων

Όπως προαναφέρθηκε, ένα από τα προϊόντα της βιολογικής αποδόμησης των απορριμμάτων είναι η παραγωγή στραγγισμάτων (leachates).

Οι κυριότερες πηγές παραγωγής στραγγισμάτων είναι τέσσερις: α) η αρχική ποσότητα νερού στα απορρίμματα (υγρασία), β) ο όγκος των υγρών αποβλήτων που αποτίθενται στον ΧΥΤΑ (ιλύες βιολογικών καθαρισμών), γ) η ποσότητα νερού (υγρασία) που περιέχεται στο υλικό κάλυψης και δ) ο όγκος του νερού που προέρχεται από βροχοπτώσεις ή από χιονοπτώσεις. Σύμφωνα με τον Ehrig ο τελευταίος όρος θεωρείται ως ο σημαντικότερος παράγοντας για την είσοδο του νερού στους ΧΥΤΑ, αλλά η διήθησή του δεν μπορεί να υπολογιστεί γιατί η εξάτμιση του από μια χρησιμοποιούμενη επιφάνεια είναι άγνωστη (Ehrig, 1983; El – Fadel et al., 2002; Μποσδογιάννη, 1997; Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Ο τελικός όγκος καθώς και η ταχύτητα παραγωγής επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, την σύνθεση των απορριμμάτων και τον σχεδιασμό του ΧΥΤΑ (βαθμός συμπίεσης, βάθος στρώσεων κ.ά.) (El – Fadel et al., 2002; Μποσδογιάννη, 1997).

Η εκτίμηση των στραγγισμάτων που φτάνει στον πυθμένα δεν μπορεί να είναι ακριβής λόγω έλλειψης είτε δεδομένων είτε τεχνογνωσίας. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού, με συνηθέστερη αυτή του *υδατικού ισοζυγίου*, η οποία όμως επαρκεί μόνο για προκαταρκτικές εκτιμήσεις. Με τη μέθοδο του

υδατικού ισοζυγίου, προσθέτουμε όλες τις ποσότητες που βρίσκονται στο σώμα του ΧΥΤΑ ή εισέρχονται σε αυτό ή παράγονται μέσα σε αυτό από διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις και αφαιρούμε τις ποσότητες που διαφεύγουν ως υδρατμοί ή κατακρατούνται από τα απορρίμματα και τις επικαλύψεις τους ή διατίθενται για την αναερόβια βιοαποδόμηση (Λοϊζίδου, 2007; Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Αυτά μαθηματικά αποδίδονται με την παρακάτω εξίσωση (Tchobanoglous et al., 2002):

$$\Delta S_{SW} = W_{SW} + W_{TS} + W_{CM} + W_{A(R)} - W_{LG} - W_{WV} - W_E - W_{B(L)}$$

Όπου:

$\Delta S_{SW}$  = Μεταβολή στην ποσότητα του νερού που αποθηκεύεται σε απορρίμματα σε χώρους υγειονομικής ταφής

$W_{SW}$  = Νερό (υγρασία) στα εισερχόμενα απορρίμματα

$W_{TS}$  = Νερό (υγρασία) στην εισερχόμενη ιλύ των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

$W_{CM}$  = Νερό (υγρασία) στο υλικό κάλυψης

$W_{A(R)}$  = Ο όγκος του νερού που προέρχεται από βροχοπτώσεις ή χιονοπτώσεις

$W_{LG}$  = Απώλεια νερού από τον σχηματισμό βιοαερίου

$W_{WV}$  = Απώλεια νερού ως κορεσμένου ατμού με το βιοαέριο

$W_E$  = Απώλεια νερού από την επιφανειακή εξάτμιση

$W_{B(L)}$  = Τελικός όγκος στραγγισμάτων

#### 2.4.5 Ποιότητα στραγγισμάτων



Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται στοιχεία για τη σύνθεση των στραγγισμάτων των χώρων υγειονομικής ταφής. Οι ρυπαντές των στραγγισμάτων μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις ομάδες (Aziz et al., 2004; Eggen et al., 2010; Jensen et al., 1999; Kjeldsen et al., 2002; Mohan et al., 2009; Slack et al., 2005):

- ▣ Διαλυμένη οργανική ύλη, εκφρασμένη ποσοτικά ως χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) ή ολικό οργανικό άνθρακα (TOC), πτητικά λιπαρά οξέα (που συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια της όξινης φάσης της σταθεροποίησης των αποβλήτων) και πιο ανθεκτικών ενώσεων, όπως φουλβικών και χουμικών ενώσεων.
- ▣ Ανόργανες μακροενώσεις: ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ), μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ), νάτριο ( $\text{Na}^+$ ), κάλιο ( $\text{K}^+$ ), αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ), σίδηρος ( $\text{Fe}^{2+}$ ), μαγγάνιο ( $\text{Mn}^{2+}$ ), χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ), θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) και τα όξινα ανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- ▣ Βαρέα μέταλλα: κάδμιο ( $\text{Cd}^{2+}$ ), χρώμιο ( $\text{Cr}^{3+}$ ), χαλκός ( $\text{Cu}^{2+}$ ), μόλυβδος ( $\text{Pb}^{2+}$ ), νικέλιο ( $\text{Ni}^{2+}$ ) και ψευδάργυρος ( $\text{Zn}^{2+}$ ).
- ▣ Ξενοβιοτικές οργανικές ενώσεις (XOCs) που προέρχονται από οικιακές ή βιομηχανικές χημικές ουσίες και βρίσκονται σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (συνήθως λιγότερο από 1 mg/l των επιμέρους ενώσεων). Οι ενώσεις αυτές περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων μια ποικιλία από αρωματικούς υδρογονάνθρακες, φαινόλες, χλωριωμένους αλιφατικούς υδρογονάνθρακες, φυτοφάρμακα και μέσα διασποράς (plastizers).

Οι δύο τελευταίες κατηγορίες αποτελούν ουσίες τοξικές, διαβρωτικές, εύφλεκτες, δραστικές, καρκινογόνες, τερατογόνες, μεταλλαξιογόνες, οικοτοξικές με ικανότητα βιοσυσσώρευσης και επιπλέον αποτελούν δείκτες της ύπαρξης επικίνδυνων αποβλήτων στα αστικά απορρίμματα (Slack et al., 2005). Άλλες ενώσεις που μπορούν να βρεθούν στα στραγγίσματα είναι για παράδειγμα βορικά ( $\text{BO}_3^{3-}$ ), θειούχα ( $\text{S}^{2-}$ ), αρσενικά ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) και σεληνικά ιόντα ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ), καθώς και βάριο, λίθιο, υδράργυρος και κοβάλτιο. Εντούτοις, σε γενικές γραμμές, αυτές οι ενώσεις βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και είναι δευτερεύουσας σημασίας. Η σύνθεση των στραγγισμάτων μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί από διαφορετικές τοξικολογικές εξετάσεις, οι οποίες παρέχουν έμμεσες πληροφορίες για το

περιεχόμενο των ρύπων οι οποίοι μπορεί να είναι επιβλαβείς σε μια κατηγορία οργανισμών (Kjeldsen et al., 2002).

Η σύνθεση των στραγγισμάτων ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των χώρων υγειονομικής ταφής, αλλά και μεταξύ διαφορετικών περιοχών του ίδιου ΧΥΤΑ (Tatsi et al., 2002), γεγονός που οφείλεται (Aziz et al., 2004; El – Fadel et al., 2002; Johansen et al., 1976; Kjeldsen et al., 2002; Βογιάννης, 2006; Βουτσά, 2009):

1. στην σύνθεση των απορριμμάτων
2. στην ηλικία των απορριμμάτων
3. στην υδρογεωλογία του χώρου διάθεσης
4. στις κλιματολογικές συνθήκες
5. στην κίνηση της υγρασίας μέσα στο χώρο διάθεσης
6. στο ύψος των κελιών
7. στο πάχος του υλικού κάλυψης.

Επίσης από την στιγμή που τα στραγγίσματα εγκαταλείπουν τον χώρο διάθεσης επηρεάζονται από:

1. την ικανότητα του εδάφους να μειώνει το ρυπαντικό φορτίο και
2. την διάλυσή τους από τα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα.

Οι μέθοδοι δειγματοληψίας των στραγγισμάτων, η περιοχή δειγματοληψίας καθώς και ο τρόπος χειρισμού του δείγματος μπορεί επίσης να επηρεάσει την ποιότητα των στραγγισμάτων (Kjeldsen et al., 2002; Öman et al., 1993).

Η ηλικία του χώρου υγειονομικής ταφής και η φάση στην οποία βρίσκεται καθορίζει αποφασιστικά, όπως προείπαμε, το επίπεδο του ρυπαντικού φορτίου στα στραγγίσματα. Όσον αφορά το οργανικό φορτίο, και με βάση την βιβλιογραφία, αυτό παρουσιάζεται βεβαρημένο για στραγγίσματα μικρής ηλικίας, με τις τιμές του BOD<sub>5</sub> και του COD να φτάνουν τις συγκεντρώσεις των 2.000 – 30.000 mg/l και 3.000 – 60.000 mg/l αντίστοιχα. Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις καθώς επίσης και πολικότητα, παρουσιάζουν τα πτητικά οξέα, ενώ το pH βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Αντίθετα στραγγίσματα μεγαλύτερης ηλικίας παρουσιάζουν υψηλές τιμές pH και χαμηλές συγκεντρώσεις BOD<sub>5</sub> και

COD, οι οποίες κυμαίνονται από 100 – 200 mg/l και 100 – 500 mg/l αντίστοιχα.

Από τις μορφές του αζώτου τα νιτρικά και τα νιτρώδη, εξαιτίας των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν, παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές. Αντίθετα το αμμωνιακό άζωτο μπορεί, λόγω των ίδιων συνθηκών, να φτάσει σε υψηλές τιμές. Συγκεκριμένα οι τιμές παρουσιάζουν αρχικά μια αύξηση και στην συνέχεια παραμένουν σε σχετικά σταθερά επίπεδα. Άλλη μια μορφή αζώτου είναι το οργανικό άζωτο, οι συγκεντρώσεις του οποίου κυμαίνονται αρχικά στα ίδια επίπεδα με αυτά του αμμωνιακού αλλά στην συνέχεια είναι υψηλότερες από αυτού.

Από τα μέταλλα ο σίδηρος αντιπροσωπεύει το κυρίαρχο στοιχείο, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζεται το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος. Συγκεντρώσεις χρωμίου, χαλκού, καδμίου, νικελίου και μολύβδου κυμαίνονται μεταξύ 0,01 – 1,4 mg/l. Αρχικά οι συγκεντρώσεις λόγω του χαμηλού pH είναι αυξημένες αλλά στην συνέχεια, με την αύξηση του pH μειώνονται. Συγκεντρωτικά κάποιες ενδεικτικές τιμές ρύπων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Τυπικά δεδομένα της σύστασης των στραγγισμάτων νέων και παλαιότερων ΧΥΤΑ (Tchobanoglous et al., 2002)

Χημικές Παράμετροι	Τιμή (mg/L)		
	Νέος ΧΥΤΑ (< 2 έτη)		ΧΥΤΑ (> 10 έτη)
	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή	Εύρος τιμών
<b>BOD<sub>5</sub></b>	2000 – 30000	10000	100 – 200
<b>TOC</b>	1500 – 20000	6000	80 – 160
<b>COD</b>	3000 – 60000	18000	100 – 500
<b>TSS</b>	200 – 2000	500	100 – 400
<b>Οργανικό άζωτο</b>	10 – 800	200	80 – 120
<b>Αμμωνιακό άζωτο</b>	10 – 800	200	20 – 40
<b>Νιτρικά</b>	5 – 40	25	5 – 10
<b>Ολικός φώσφορος</b>	5 – 100	30	5 – 10

<b>Ορθοφωσφορικά</b>	4 – 80	20	4 – 8
<b>Αλκαλικότητα (CaCO<sub>3</sub>)</b>	1000 – 10000	3000	200 – 1000
<b>pH</b>	4,5 – 7,5	6	6,5 – 7,5
<b>Σκληρότητα (CaCO<sub>3</sub>)</b>	300 – 10000	3500	200 – 500
<b>Ασβέστιο</b>	200 – 3000	1000	100 – 400
<b>Μαγνήσιο</b>	50 – 1500	250	50 – 200
<b>Κάλιο</b>	200 – 1000	300	50 – 400
<b>Νάτριο</b>	200 – 2500	500	100 – 200
<b>Χλωριούχα</b>	200 – 3000	500	100 – 400
<b>Θειικά</b>	50 – 1000	300	20 – 50
<b>Σίδηρος</b>	50 – 1200	60	20 - 200

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα βαρέα μέταλλα μπορούν να σχηματίσουν μεταλλικά κολλοειδή ή σύμπλοκα, ιδιαιτέρως με οργανικό υλικό, απομακρύνοντας την δυνατότητα της άμεσης ανίχνευσης των μετάλλων ως στοιχειακά μέταλλα. Για αυτό, το περιεχόμενο των βαρέων μετάλλων στα στραγγίσματα μπορεί να είναι σημαντικότερα υψηλότερο από ότι επιτρέπουν οι ανιχνεύσεις για τα στοιχειακά μέταλλα. Τέλος οι συγκεντρώσεις των ανόργανων συστατικών, στα οποία συμπεριλαμβάνονται ο σίδηρος και το μαγγάνιο, εμφανίζονται σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις συγκριτικά με τα βαρέα μέταλλα (Slack et al., 2005).

## 2.5 Ρυπαντικές Ουσίες: Περιγραφή και προέλευση

Προκειμένου να ενισχυθεί η κατανόηση της ύπαρξης αλλά και της σημασίας για τον ποιοτικό χαρακτηρισμό των στραγγισμάτων, παρακάτω παρουσιάζονται περιληπτικά κάποιες πληροφορίες για τις κυριότερες ρυπαντικές ουσίες που εμφανίζονται σε αυτά, δηλαδή βαρέα μέταλλα, οργανικές αλλά και ανόργανες ενώσεις.

### 2.5.1 Κάδμιο (Cd)

Το Κάδμιο (Cd) είναι μέταλλο το οποίο, εκτός από τα ορυκτά του, εμφανίζεται ως πρόσμιξη στα ορυκτά ψευδαργύρου και παράγεται εμπορικά μόνο ως παραπροϊόν της χύτευσης ψευδαργύρου, μολύβδου ή χαλκού (Βαλαβανίδης, 2007). Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις καδμίου στο περιβάλλον οφείλονται τόσο σε φυσικές εκπομπές όσο και σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Ποσότητες καδμίου βρίσκονται στον επιφανειακό φλοιό της γης, στον οποίο είναι ευρύτατα κατανεμημένο, συνήθως σε συγκεντρώσεις 0,1 – 0,5 ppm, ενώ η ολική παγκόσμια παραγωγή είναι περίπου 15000 - 18000 t/year. Οι κυριότερες χρήσεις του καδμίου είναι ως σταθεροποιητής στο PVC και ως προσθετικό στα χρώματα, σε ορισμένα πλαστικά, γυαλιά, κεραμικά και σμάλτα για να επιτύχουν φωτεινά χρώματα και μεγάλους χρόνους ζωής. Επίσης χρησιμοποιείται στο γαλβανισμό, αλλά σημαντικά ποσά χρησιμοποιούνται τόσο στο καλάι όσο και σε άλλα κράματα και στις μπαταρίες Ni – Cd (Κουϊμτζής et al., 1998).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του καδμίου είναι πολύ μεγάλες καθώς η μάζα που απελευθερώνεται στο περιβάλλον είναι περίπου 25.000 τόνοι ετησίως (Λαζαρίδης, 2008). Το κάδμιο ρυπαίνει το περιβάλλον κατά την χρήση και καθαρισμό των μεταλλευμάτων του και κατά την τήξη και καθαρισμό του χαλκού και νικελίου. Επίσης υπάρχει στα καυσαέρια των καυσίμων, ενώ λιγότερο από 10% του καδμίου που χρησιμοποιείται στα παραπάνω προϊόντα ανακυκλώνεται και το υπόλοιπο πρέπει να υποθεθεί ότι απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Η περιβαλλοντική διάχυση και απόθεση του καδμίου εξαρτάται από τις συνθήκες και την χημική σύνθεση του μετάλλου, αλλά συνήθως μεγάλο ποσοστό παραμένει στο έδαφος.

### 2.5.2 Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο (Cr), που χρησιμοποιείται εδώ και πάνω από 2000 χρόνια, είναι ένα μέταλλο γνωστό για την σκληρότητά του και την μεγάλη αντοχή του στην

διάβρωση. Είναι το 21<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο του πλανήτη με μέση συγκέντρωση 100 ppm και παγκόσμια παραγωγή που ανήλθε το 2010 στους 22 εκατομμύρια τόνους (USGS, 2011). Το ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το χρώμιο έγκειται στην ευρεία χρήση του από διάφορες βιομηχανίες όπως την μεταλλουργική, για την παρασκευή διάφορων κραμάτων, στα χυτήρια, στην χημική βιομηχανία κυρίως για την παρασκευή βαφών, στο γαλβανισμό, στα βυρσοδεψεία ενώ χρησιμοποιείται επίσης ως συντηρητικό ξυλείας και ως καταλύτης (Kotas et al., 2000).

Η παρουσία του χρωμίου στο περιβάλλον μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικούς όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Στις φυσικές πηγές του συγκαταλέγονται η διάβρωση των πετρωμάτων, η απόπλυση του από την ατμόσφαιρα με την βροχόπτωση, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και σε μικρότερο βαθμό οι δασικές πυρκαγιές (Kotas et al., 2000). Τα φυσικά επίπεδα συγκέντρωσης του χρωμίου στο έδαφος, είναι γενικά υψηλά, λόγω όμως της δυσδιαλυτότητας των ενώσεών του, πολύ μικρές ποσότητες ελευθερώνονται από το έδαφος με έκπλυση με τα νερά της βροχής και καταλήγουν στη θάλασσα (Φυτιάνος, 1996). Στις ανθρωπογενείς πηγές, οι οποίες απελευθερώνουν και το μεγαλύτερο ποσοστό χρωμίου, συγκαταλέγονται η έκπλυση από βιομηχανικά υγρά απόβλητα, τα απόβλητα των βυρσοδεψείων, τα στραγγίσματα των ΧΥΤΑ, τα απόβλητα από πύργους ψύξης και χημικές βιομηχανίες, η καύση ορυκτών καυσίμων και σε μικρότερο βαθμό τα απόβλητα των βιομηχανιών τσιμέντου και η παραγωγή φωσφορικού οξέως (Kotas et al., 2000; Τζιούρα, 2010). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα  $\text{CrO}_4^{2-}$  και  $\text{HCrO}_4^-$  ιόντα είναι οι πιο κινητικές μορφές του χρωμίου στα εδάφη. Μπορούν να απορροφηθούν από τα φυτά και να αποστραγγιστούν στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα προκαλώντας ρύπανση τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια νερά (Kotas et al., 2000).

### 2.5.3 Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός (Cu) είναι ένα από τα αφθονότερα ιχνοστοιχεία που βρίσκεται σε μια ποικιλία πετρωμάτων και ορυκτών. Αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά, και

είναι επίσης απαραίτητος για μια ευρεία γκάμα μεταβολικών διεργασιών (Flemming et al., 1989). Η ετήσια παγκόσμια παραγωγή του αυξάνεται διαρκώς από 5,8 εκατομμύρια τόνους το 1968 σε 630 εκατομμύρια τόνους το 2010 (USGS, 2011). Οι κυριότερες χρήσεις του χαλκού είναι σε ηλεκτρικό εξοπλισμό, κράματα, μυκητοκτόνα, χρώματα για καρίνες πλοίων, ως χημικός καταλύτης, ως συστατικό για την καταπολέμηση αλγών και ως συντηρητικό ξυλείας (Flemming et al., 1989; Τζιούρα, 2010; Φυτιάνος, 1996).

Πολλές από τις παραπάνω χρήσεις γίνονται αιτία μεταφοράς του χαλκού στο περιβάλλον. Τα αστικά λύματα περιέχουν ένα σημαντικό ποσό χαλκού και αυτό αντανακλάται στις αυξημένες συγκεντρώσεις κυρίως των ιζημάτων στις περιοχές απόρριψης ιλύων. Πολλές βιομηχανικές διεργασίες συνεισφέρουν σημαντικά στη ρύπανση με χαλκό, κυρίως όμως οι μεταλλουργικές, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τα ναυπηγεία, η παραγωγή χημικών προϊόντων και λιπασμάτων, κλπ. Ως σπουδαιότερη πάντως πηγή ρύπανσης θεωρείται η εξόρυξη των μεταλλευμάτων του χαλκού και η μεταλλουργία του (Τζιούρα, 2010). Τέλος παρόλο που ο χαλκός αποτελεί απαραίτητο στοιχείο στο φυσικό περιβάλλον αλλά και στις βιολογικές διεργασίες, σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να γίνει τοξικός για πολλούς έμβιους οργανισμούς (Flemming et al., 1989).

#### 2.5.4 Μόλυβδος (Pb)

Ο Μόλυβδος (Pb) ανήκει στα τοξικά βαρέα μέταλλα με επιβλαβείς επιδράσεις σε ζωντανούς οργανισμούς. Ο μόλυβδος εξαγεται εύκολα από ορυκτά και έχει ανακαλυφθεί εδώ και 7.000 από τους Αιγυπτίους. Σήμερα παράγονται ετησίως, περίπου, 4 εκατομμύρια τόνοι μόλυβδου σε παγκόσμια κλίμακα (Βαλαβανίδης, 2007). Οι κύριες χρήσεις του είναι στη παραγωγή στοιχείων συσσωρευτών (μπαταρίες), στην επικάλυψη καλωδίων, στα πιγκμέντα και στις χημικές ουσίες, στα οικοδομικά υλικά και τους σωλήνες, σε κράματα, σε εκρηκτικά, σε χυτήρια, στη μεταλλουργία γενικά, στα διυλιστήρια πετρελαίου, στα πετροχημικά, στα λιπάσματα, στη χαρτοποιία, κ.λ.π. (Fergusson, 1990; Βαλαβανίδης, 2007).

Ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα του θαλάσσιου από μόλυβδο δεν υφίσταται μόνο στη σύγχρονη εποχή, αλλά εμφανίστηκε από την αρχαιότητα, εξαιτίας της εκτενής χρήσης του κυρίως από τους Ρωμαίους στα οικιακά σκεύη, στους κίονες, στα σταθμά και αλλού (Βαλαβανίδης, 2007; Τζιούρα, 2010). Η υπόθεση ότι η υψηλή έκθεση σε προϊόντα μόλυβδου συνέβαλε στην παρακμή της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας υποστηρίζεται με ευρήματα υψηλών συγκεντρώσεων μόλυβδου σε οστά ρωμαίων αριστοκρατών (Βαλαβανίδης, 2007). Οι περισσότερες ανθρωπογενείς εκπομπές μόλυβδου είναι αποτέλεσμα εξόρυξης και κατεργασίας μεταλλευμάτων. Μεγάλο ποσοστό μολύβδου σε μεταλλική μορφή, από συσσωρευτές, ελάσματα και σωλήνες, ανακλάται και ανακυκλώνεται, αλλά το μεγαλύτερο ποσό μολύβδου που χρησιμοποιείται με μορφή ενώσεων χάνεται στο περιβάλλον. Οι εκπομπές από καυσαέρια αυτοκινήτων έχουν μειωθεί σημαντικά με την κατάργηση της βενζίνης με αντικροτικά μόλυβδου. Σημαντικό ποσοστό μόλυβδου καταλήγει στο περιβάλλον με τις βιομηχανικές διεργασίες και απόβλητα, καθώς και με τα αστικά απορρίμματα που περιέχουν προϊόντα μολύβδου. Επίσης, μεγάλες ποσότητες μόλυβδου από διάφορες πηγές ρύπανσης καταλήγουν στα υδάτινα συστήματα. Πάντως η ρύπανση από τον μόλυβδο έχει μειωθεί αρκετά καθώς χαρακτηριστικά πριν από την βιομηχανική επανάσταση οι εκπομπές μόλυβδου στα νερά υπολογίζονται σε 1.115.000 τόνους/ετησίως, ενώ τα τελευταία 200 χρόνια οι εκπομπές είναι περίπου 300.000 τόνοι/ετησίως (Βαλαβανίδης, 2007).

### 2.5.5 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο (Ni) είναι το 24<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο στον φλοιό της Γης, αποτελώντας περίπου το 3% της σύνθεσης του πλανήτη και χαρακτηρίζεται από την ανθεκτικότητά του στην διάβρωση από το νερό, τον αέρα αλλά και από τα αλκάλια (Cempel et al., 2006). Η παγκόσμια παραγωγή του για το 2010 έφτασε τους 1,55 εκατομμύρια τόνους (USGS, 2011). Το νικέλιο αλλά και τα μείγματά του, χρησιμοποιούνται σε διάφορες ανθρώπινες εφαρμογές. Η πιο κοινή είναι η χρήση του ως συστατικό του ανοξειδωτού χάλυβα και άλλων



κραμάτων νικελίου με μεγάλη αντίσταση στην διάβρωση και την θερμοκρασία. Το μεταλλικό νικέλιο και τα κράματά του χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην μεταλλουργική, χημική και τροφική βιομηχανία, κυρίως ως καταλύτες και βαφές. Μικρότερες ποσότητες μπορούν να βρεθούν σε ανοξείδωτα εργαλεία κουζίνας καθώς και κοσμήματα (Cempel et al., 2006; Τζιούρα, 2010). Ποσότητα νικελίου περιέχεται και στα τρόφιμα και τα επίπεδά του μπορεί να αυξηθούν εξαιτίας μιας σειράς επεξεργασιών όπως α) η διήθηση από εργαλεία ανοξείδωτου χάλυβα επικαλυμμένα με κράματα νικελίου, β) από το άλεσμα του αλευριού και γ) από την καταλυτική υδρογόνωση των λιπών και των ελαίων από την χρήση καταλυτικού νικελίου (Cempel et al., 2006). Επίσης τα τρόφιμα όπως η μαύρη σοκολάτα, η βρώμη, τα φασόλια, ο αρακάς, τα καρύδια, η σόγια και τα λαχανικά, περιέχουν μικρά ποσά νικελίου (Cempel et al., 2006; Λαζαρίδης, 2008).

Το νικέλιο είναι ένα από τα πολλά ιχνοστοιχεία με ευρεία διασπορά στο περιβάλλον, δηλαδή στον αέρα, στο νερό, στο έδαφος και στο βιολογικό υλικό, καθώς απελευθερώνεται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με σταθερές αλλά και κινητές πηγές. Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνεται η σκόνη από πετρώματα, οι ηφαιστειακές εκπομπές, οι πυρκαγιές, ενώ στις ανθρωπογενείς η καύση ορυκτών καυσίμων, απορριμμάτων, το κάπνισμα αλλά και οι βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες που παράγουν κυρίως εδαφικά υπολείμματα (Cempel et al., 2006).

#### 2.5.6 Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος (Zn) αποτελεί το 23<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο στον πλανήτη. Ο σφαιερίτης, δηλαδή ο θειούχος ψευδάργυρος, είναι το βασικό ορυκτό της εξόρυξής του. Ο ψευδάργυρος αποτελεί απαραίτητο στοιχείο του τρόπου ζωής, για αυτό και η παραγωγή είναι η τέταρτη μεγαλύτερη μεταξύ των μετάλλων αγγίζοντας το 2010 τους 12 εκατομμύρια τόνους (USGS, 2011), και την υπερβαίνουν μόνο ο σίδηρος, το αλουμίνιο και ο χαλκός. Η χρήση του ψευδαργύρου εκτείνεται από μεταλλικά προϊόντα έως ελαστικά και φάρμακα.

Περίπου τρία τέταρτα χρησιμοποιούνται ως μέταλλο, κυρίως ως επικάλυψη για την προστασία του σιδήρου και του χάλυβα από την διάβρωση (γαλβανισμένο μέταλλο), ως κράμα για την δημιουργία μπρούτζου και ορείχαλκου, ως βαφή κραμάτων και ως λεπτά φύλλα κράματος ψευδαργύρου. Το υπόλοιπο ένα τέταρτο χρησιμοποιείται ως μείγμα σε ελαστικά, χημικά, βαφές και σε γεωργικές βιομηχανίες. Ο ψευδάργυρος αποτελεί επίσης απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των ανθρώπων και συγκεκριμένα για την φυσιολογική ανάπτυξη του δέρματος και του σκελετού, των ζώων και των φυτών, και είναι το δεύτερο πιο κοινό ιχνοστοιχείο, μετά τον σίδηρο, που βρίσκεται φυσικά στο ανθρώπινο σώμα, για αυτό και είναι από τα μέταλλα που έχουν μελετηθεί σχετικά καλά (USGS, 2012; Τζιούρα, 2010).

Σήμερα οι ανθρωπογενείς προσθήκες ψευδαργύρου στο περιβάλλον προέρχονται κυρίως από υλικά αγαθά. Στα υδατικά συστήματα εμφανίζεται μέσω σημειακών πηγών ως αποτέλεσμα βιομηχανικών εκροών και αστικών λυμάτων ενώ στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα εκπομπών από μεταλλουργικές διεργασίες και καύσης ορυκτών καυσίμων, πηγή που κατέχει τα πρωτεία στην ρύπανση του πλανήτη από ψευδάργυρο (Callender et al., 2000).

### 2.5.7 Σίδηρος (Fe)

Η «Εποχή του Σιδήρου» (4000 π.Χ.) αποτελεί τεχνολογικό και πολιτισμικό στάδιο, και φανερώνει την σπουδαιότητα του μετάλλου αυτού στην εξέλιξη της ανθρωπότητας. Ο σίδηρος θεωρείται μέχρι στιγμής το πιο άφθονο στοιχείο του σύμπαντος, και μαζί με το νικέλιο αποτελούν το κύριο συστατικό του πυρήνα της γης, ενώ στον στερεό φλοιό της αποτελεί το τέταρτο στοιχείο στη σειρά αφθονίας (Καραγιαννίδης, 2009). Είναι το μέταλλο με την μεγαλύτερη χρήση, με την ετήσια παραγωγή του να αγγίζει περίπου το 95% όλων των υπόλοιπων μετάλλων, ή αλλιώς μια παραγωγή 1 δισεκατομμυρίων τόνων ετησίως και ακόμη 300 εκατομμυρίων τόνων από ανακυκλωμένο υλικό (USGS, 2011). Ο σίδηρος αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για σχεδόν όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, από τους μικροοργανισμούς έως τον άνθρωπο.

Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην βιολογία, σχηματίζοντας σύμπλοκα με το μοριακό οξυγόνο στην αιμογλοβίνη και την μυογλοβίνη, δύο πρωτεΐνες που βοηθούν στην μεταφορά του οξυγόνου στα σπονδυλωτά (Vuori, 1995). Ο σίδηρος είναι επίσης το μέταλλο που χρησιμοποιείται από πολλά οξειδοαναγωγά ένζυμα που σχετίζονται με την κυτταρική αναπνοή, την οξειδωση και την μείωση στα φυτά και στα ζώα. Χάρη στο χαμηλό του κόστος και στην σταθερότητά του ο σίδηρος έχει καταστεί ιδανική πρώτη ύλη για δεκάδες προϊόντα, από κάδους μέχρι αυτοκίνητα, από κατσαβίδια μέχρι πλυντήρια, από πλοία μέχρι συνδετήρες.

Οι επιπτώσεις του σιδήρου στο περιβάλλον δεν έχουν μελετηθεί πλήρως έως τώρα. Στα επιφανειακά νερά μελέτες έχουν δείξει πως η παρουσία του μειώνει την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν, ενώ στα επιφανειακά νερά των ωκεανών έχει διαπιστωθεί πως η παρουσία του αυξάνει την ικανότητα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα από αυτούς (Τζεδάκης, 2007).

#### **2.5.8 Μαγγάνιο (Mn)**

Το μαγγάνιο (Mn) αποτελεί ένα από τα αφθονότερα στοιχεία του πλανήτη με περιεκτικότητα 0,1% στον φλοιό του. Η παραγωγή του το 2010 άγγιξε τους 13 εκατομμύρια τόνους (USGS, 2011). Το 85 με 90% της παγκόσμιας παραγωγής, και κυρίως μέσω των κραμάτων, χρησιμοποιείται στον μεταλλουργικό τομέα και συγκεκριμένα στην παραγωγή χάλυβα. Κατασκευαστικά προϊόντα, μηχανολογικός εξοπλισμός αλλά και οι μεταφορές είναι επίσης κάποιες από τις χρήσεις του. Επίσης το μαγγάνιο αποτελεί βασικό συστατικό συγκεκριμένων κραμάτων αλουμινίου που χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε μπαταρίες. Σαν ορυκτό, επιπλέον ποσότητες μαγγανίου χρησιμοποιούνται ως λιπάσματα, ως τροφή ζώων και ως χρωστική στα κεραμικά (USGS, 2011). Το μαγγάνιο αποτελεί επίσης απαραίτητο ιχνοστοιχείο των έμβιων οργανισμών, και ειδικότερα των φυτών αφού αποτελεί συστατικό της διαδικασίας φωτοσύνθεσης (Paschke et al., 2005).

Στο περιβάλλον το μαγγάνιο εμφανίζεται συνήθως ως υπόλειμμα ορυχείων και χυτηρίων μετάλλων που αυξάνει τη συγκέντρωση και τη διαθεσιμότητά του στο έδαφος με επακόλουθες επιπτώσεις στη δομή και την σύνθεση της βλάστησης. Μακροπρόθεσμες εφαρμογές και σε μεγάλες δόσεις ιλύος βιολογικών καθαρισμών (βιοστερεών) ή άλλες οργανικές τροποποιήσεις σε γεωργικά εδάφη και σε εδαφικές αναερόβιες συνθήκες όπως υπεράρδευση ή κακή αποστράγγιση, μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε αύξηση του περιεχομένου ή της διαθεσιμότητας του μαγγανίου όπως επίσης και άλλων βαρέων μετάλλων (Paschke et al., 2005). Σε κάποιες χώρες, ως επί των πλείστων στις Η.Π.Α. και τον Καναδά, υπάρχει αυξημένη συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης του μαγγανίου και του αριθμού των αυτοκινήτων. Αυτό οφείλεται στην χρήση του MMT ως υποκατάστατο του μολύβδου στην βενζίνη ως αντικροτικού παράγοντα στο οποίο η περιεκτικότητα του μαγγανίου κυμαίνεται στο 24,4 – 25,2 % (Davis, 1999; Garrison et al., 1995; Zayed et al., 1999).

### 2.5.9 Νάτριο (Na<sup>+</sup>)

Το νάτριο (Na<sup>+</sup>) εισέρχεται στα φυσικά νερά από διάφορα πετρώματα, όπως ορυκτό χλωριούχο νάτριο, και διάφορα αργιλοπυριτικά ορυκτά νατρίου (NaAlSiO<sub>4</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). Ειδικότερα για τα στραγγίσματα η παρουσία κατιόντων νατρίου οφείλεται στη διάλυση χλωριούχων και θειούχων αλάτων του στοιχείου αυτού. Επίσης συνεισφέρει σημαντικά και η διάλυση ορυκτών από το υλικό επικάλυψης του ΧΥΤΑ (Βουδούρης, 2006). Το νάτριο έχει μια πλειάδα χρήσεων, όπως για παράδειγμα ως συστατικό στη βιομηχανία υφασμάτων και δέρματος, ως συστατικό σε προϊόντα καθαρισμού αλλά και ως συντηρητικό σε φαγητά. Το νάτριο αποτελεί όμως και συστατικό πολλών φαγώσιμων, όπως για παράδειγμα το αλάτι. Είναι απαραίτητο στους ανθρώπους για την διατήρηση της ισορροπίας των φυσικών υγρών και την λειτουργία διάφορων οργάνων. Επίσης ο προσδιορισμός νατρίου αποτελεί σημαντική παράμετρο για τα νερά άρδευσης και επίσης είναι ένα από τα ανόργανα συστατικά (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>) που προσδιορίζεται στα

επεξεργασμένα αστικά λύματα για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των λυμάτων για άρδευση εδαφών. Το νάτριο έχει δυσμενή επίδραση στα εδάφη και στις καλλιέργειες (Χαραλάμπους, 2007).

#### 2.5.10 Κάλιο ( $K^+$ )

Το κάλιο ( $K^+$ ), είναι και αυτό μια από τις πιο σύνηθες ουσίες για την παραγωγή διάφορων προϊόντων, αλλά και απαραίτητο θρεπτικό συστατικό των φυτικών οργανισμών, καθώς συμμετέχει άμεσα στην φωτοσύνθεση δεσμεύοντας την ηλιακή ενέργεια και αυξάνοντας την ικανότητα αφομοίωσης διοξειδίου του άνθρακα. (Χαραλάμπους, 2007). Χρησιμοποιείται στην πλειονότητά του στην παραγωγή λιπασμάτων, αλλά και στην παραγωγή γυαλιού, στην σαπωνοποιία, στη βυρσοδεψία, στα ελαστικά, στις κόλλες, στην φωτογραφία αλλά και σε φαρμακευτικά σκευάσματα. Στα στραγγίσματα η παρουσία κατιόντων καλίου, όπως και του νατρίου, οφείλεται στη διάλυση χλωριούχων και θειούχων αλάτων καθώς και στη διάλυση ορυκτών από το υλικό επικάλυψης του ΧΥΤΑ (Βουδούρης, 2006). Η συγκέντρωση του εκεί είναι συνήθως υψηλή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για άλλες τοξικές ενώσεις στα υπόγεια νερά.

Το κάλιο δεν είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο στο υδάτινο, κυρίως, περιβάλλον, αλλά η τοξικότητά του είναι συνήθως αποτέλεσμα άλλων ενώσεων, στις οποίες συμμετέχει ως συστατικό, π.χ. το KCN. Ακόμη μπορεί να καταστεί επικίνδυνο για τα φυτά καθώς αυξημένα επίπεδα αλάτων καλίου στο περιβάλλον μπορεί να σκοτώσουν τα κύτταρα των φυτών λόγω της μεγάλης οσμωτικής δραστηριότητας.

#### 2.5.11 Θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ )

Τα θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$  - sulfates) εισέρχονται στα φυσικά νερά από την οξείδωση θειούχων ορυκτών (π.χ. θειούχου σιδήρου, FeS) ή τη διαλυτοποίηση γύψου ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ). Επίσης, μερικά από τα πιο συχνά

χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια στη βιομηχανία είναι το θειικό οξύ, ο θειούχος σίδηρος και άλλα θειούχα και θειικά άλατα, τα οποία πολλές φορές καθιζάνουν με την μορφή μεταλλικών σουλφιδίων (Βουδούρης, 2006). Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παρουσία σημαντικών ποσοτήτων θειούχων και θειικών στα παραγόμενα απόβλητα και στην περίπτωση που δεν λαμβάνει χώρα αποτελεσματική απομάκρυνσή τους, ρυπαίνουν τους φυσικούς αποδέκτες στους οποίους καταλήγουν άμεσα ή έμμεσα. Η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών ευνοεί τη μετατροπή των θειούχων σε θειικά, ενώ η ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών την αντίστροφη αντίδραση. Τέλος η παρουσία τους μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα δυσάρεστης οσμής στα απόβλητα, καθώς επίσης και τοξικά φαινόμενα στην αναερόβια κατεργασία αποβλήτων (Χαραλάμπους, 2007).

#### 2.5.12 Χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>)

Τα χλωριόντα (Cl<sup>-</sup> - chlorides) αποτελούν μία από τις κύριες κατηγορίες ανόργανων συστατικών των υδάτων και η συγκέντρωσή τους ποικίλει ανάλογα με την κατηγορία και την προέλευσή τους. Ο έλεγχος της παρουσίας των χλωριόντων στα ύδατα (πόσιμο, άρδευσης, νερό για βιομηχανική χρήση) είναι απαραίτητος προκειμένου να καθορισθεί η ενδεικνυόμενη χρήση τους. Η συγκέντρωση χλωριόντων στα αστικά λύματα και τα στραγγίσματα στερεών απορριμμάτων είναι σχετικά μεγάλη. Αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριούχων συστατικών στα υπόγεια ύδατα είναι σοβαρή ένδειξη ρύπανσης των υδάτων αυτών από χώρους τελικής διάθεσης στερεών αποβλήτων (Χαραλάμπους, 2007).

#### 2.5.13 Ολικό Άζωτο (TN) και ενώσεις του αζώτου

Το άζωτο (N) απαντάται στα στερεά απόβλητα όπως και στα υγρά, υπό τη μορφή νιτρικών (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και αμμωνιακών αλάτων (NH<sub>4</sub> – N) (ανόργανες μορφές αζώτου) καθώς επίσης και ως άζωτο που περιέχεται σε

οργανικές ενώσεις (οργανικό άζωτο). Η κύρια πηγή αζωτούχων ενώσεων ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) στα στραγγίσματα οφείλεται στην παρουσία οργανικού αζώτου στα υπολείμματα των τροφών (Βουδούρης, 2006). Με την τελική διάθεση αποβλήτων που περιέχουν τις τρεις μορφές ανόργανων ενώσεων, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν, λαμβάνει σταδιακή μετατροπή από τη μία μορφή στην άλλη. Ειδικότερα, τα αμμωνιακά μπορούν να οξειδωθούν αρχικά σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά (ύπαρξη ευνοϊκών οξειδωτικών συνθηκών), ενώ κατά την αντίθετη πορεία, τα νιτρικά μπορούν να αναχθούν αρχικά σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε αμμωνιακά (ύπαρξη ευνοϊκών αναγωγικών συνθηκών). Τα νιτρώδη άλατα που αποτελούν το ενδιάμεσο στάδιο και στις δύο περιπτώσεις είναι ενώσεις ασταθείς και βραχύβιες, θεωρούνται επικίνδυνα για τους οργανισμούς δεδομένου ότι σε όξινο περιβάλλον, αντιδρούν με τις δευτεροταγείς αμίνες σχηματίζοντας νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες. Τα νιτρικά αποτελούν την ανώτατη οξειδωτική βαθμίδα των ενώσεων του αζώτου, είναι θερμοδυναμικώς σταθερά και οι μεταβολές της συγκέντρωσής τους οφείλονται κυρίως σε βιοχημικές δράσεις. Τέλος, τα αμμωνιακά αποτελούν την πιο επικίνδυνη μορφή του αζώτου για τα οικοσυστήματα και τους οργανισμούς (Λοϊζίδου, 2007).

#### 2.5.14 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon – TOC)

Η τιμή του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) εκφράζει την ολική φόρτιση μιας ουσίας σε οργανικές ενώσεις. Οι τιμές του μας δίνουν πληροφορίες για το σύνολο των ενώσεων του άνθρακα, ανεξάρτητα από τις βαθμίδες οξειδωσής τους (Κουϊμπτζής et al., 1998). Ως εκ τούτου παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και το επίπεδο ρύπανσης των υδάτων ως προς την παρουσία οργανικών συστατικών, και συγκεκριμένα προσδιορίζει την ποσότητα άνθρακα που οφείλεται σε διαλυμένες οργανικές ενώσεις, την ποσότητα άνθρακα των οργανικών ενώσεων που βρίσκονται στα αιωρούμενα σωματίδια, και τον ανόργανο άνθρακα (διαλυμένο  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) (Χαραλάμπους, 2007).

### 2.5.15 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) παριστά την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για τη χημική οξειδωση των οργανικών ενώσεων, προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό, οι οποίες περιέχονται στα ύδατα ή στα απόβλητα (Κουϊμτζής et al., 1998). Όταν όλες οι οργανικές ενώσεις είναι βιοαποδομήσιμες και δεν έχουμε ανόργανες οξειδώσιμες ενώσεις, το COD έχει την ίδια τιμή με το Βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD). Παρεμποδίσσεις στον προσδιορισμό του δημιουργούν 1) η παρουσία χλωριόντων και 2) η παρουσία ανόργανων ενώσεων που δρουν ως αναγωγικά ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ). Στην δεύτερη περίπτωση το COD δεν αποτελεί μέτρο μόνο της οργανικής ύλης του αποβλήτου. Επίσης αυξημένες τιμές μπορούν να προκύψουν από οργανικές ενώσεις που δεν είναι βιοαποδομήσιμες αλλά οξειδώνονται από τα διχρωμικά, ενώ τέλος ο προσδιορισμός του δεν εξαρτάται από την καλλιέργεια μικροοργανισμών όπως το BOD (Λέκκας, 2001; Χαραλάμπους, 2007).

### 2.5.16 Στερεά

Ένα από τα σημαντικότερα φυσικά χαρακτηριστικά των υδάτων, αλλά και των αποβλήτων, είναι η περιεκτικότητά τους σε ολικά στερεά (total solids), τα οποία αποτελούνται από επιπλέοντα (floating), καθιζάνοντα (settleable), κολλοειδή (colloidal) και διαλυμένα (in solution) υλικά. Τα ολικά στερεά (Total Solids – TS) είναι το σύνολο των στερεών που υπάρχουν σε ένα δείγμα νερού και προσδιορίζονται με ζύγιση, ως το υπόλειμμα ορισμένου όγκου δείγματος νερού, μετά από εξάτμιση σε θερμοκρασία 102 - 105° C. Η μέτρηση των ολικών στερεών παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο επιβάρυνσης που έχει υποστεί ο υδατικός αποδέκτης. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids – TSS) αποτελούνται από οργανικές και ανόργανες ενώσεις, έχουν μικρό μέγεθος ( $10^{-3}$  mm) δεν καθιζάνουν και έχουν



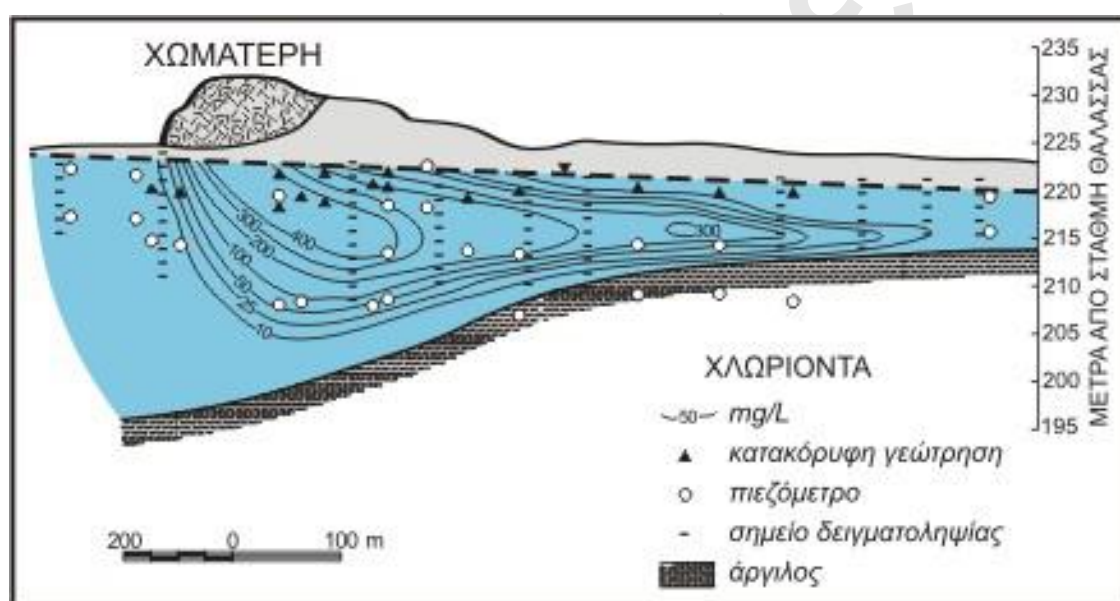
την ιδιότητα να ροφούν στην επιφάνειά τους διαλυτές ανόργανες και οργανικές ενώσεις, οι οποίες έχουν είτε φυσική προέλευση είτε προέρχονται από τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Η παρουσία τους στα νερά οδηγεί στη δημιουργία θολότητας η οποία εκτρέπεται ή απορροφά το ηλιακό φως. Ως συνέπεια του γεγονότος αυτού, πέρα από την αισθητική υποβάθμιση του νερού, παρεμποδίζεται η διέλευση του ηλιακού φωτός και περιορίζεται η διεργασία της φωτοσύνθεσης και παραγωγής του φυτοπλαγκτόν. Ακόμη, τα αιωρούμενα στερεά μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών και να παρέχουν προστασία στους παθογόνους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, τα αιωρούμενα στερεά επηρεάζουν τη μεταφορά συστατικών, όπως του οξυγόνου, μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού. Η παράμετρος των αιωρούμενων στερεών είναι σημαντική στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, αφού αποτελεί μέτρο ελέγχου του βαθμού απόδοσης των μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Ο διαχωρισμός τους γίνεται με διήθηση. Καθορισμένη ποσότητα δείγματος διηθείται με φίλτρο 0,45 μ. με τη βοήθεια κενού και εν συνεχεία ξηραίνεται στους 105° C. (Metcalf & Eddy, 2006; Χαραλάμπους, 2007).

## 2.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στραγγισμάτων

Οι κύριες πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τα στραγγίσματα είναι ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων αλλά και του εδάφους (El – Fadel et al, 1997; Kjeldsen et al., 2002; Slack et al., 2005; Tatsi et al., 2002; Tchobanoglous et al., 2002; Βογιάννης, 2006; Βουτσά, 2009).

Ο κίνδυνος των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση αποτελεί ίσως το σοβαρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από τα χώρους υγειονομικής ταφής, επειδή ιστορικά οι περισσότεροι χώροι ταφής δημιουργήθηκαν χωρίς τοποθέτηση μεμβρανών και χωρίς συστήματα συλλογής στραγγισμάτων (El – Fadel et al, 1997). Επιπτώσεις όπως η αύξηση της περιεκτικότητας των υπόγειων υδάτων σε μέταλλα και κινητικά ιόντα (π.χ. Cl<sup>-</sup> και NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), καθώς επίσης και ο σχηματισμός ρυπασμένου κώνου (για ΧΥΤΑ που λειτουργεί 30

χρόνια), οδηγούν στην συνεχή υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου υδροφορέα (Βογιάννης, 2006). Η διαφυγή του στραγγίσματος από τον χώρο απόθεσης έχει ως αποτέλεσμα την κίνησή του αρχικά κατακόρυφα στην ακόρεστη ζώνη και στη συνέχεια την εισαγωγή του στην κορεσμένη ζώνη, δημιουργώντας το πλούμιο ρύπανσης. Η κίνηση του στραγγίσματος στην κορεσμένη ζώνη καθορίζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα και την υδραυλική κλίση. Το πλούμιο που δημιουργείται μπορεί να φθάσει σε οριζόντια απόσταση 2 – 3 km και σε βάθος 50 m, ενώ το σχήμα και η έκτασή του φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6: Ισοχλώριες καμπύλες του πλουμίου ρύπανσης ενός ΧΥΤΑ (Βουδούρης, 2006)

Είναι χαρακτηριστικό ότι σε στραγγίσματα έχουν καταγραφεί συγκεντρώσεις της τάξης των gr/l σε νάτριο, κάλιο, αμμωνία, χλωριούχα και διοξείδιο του άνθρακα/ ανθρακικά, με άμεσο αποτέλεσμα στις συγκεντρώσεις τους στους υπόγειους υδροφορείς. Κύριος ρύπος, από τα ανόργανα συστατικά θεωρείται το αμμωνιακό άζωτο, το οποίο έχει καταγραφεί σε υψηλές συγκεντρώσεις από διάφορες έρευνες (Slack et al., 2005). Η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα από βαρέα μέταλλα είναι σχεδόν αποκλειστικά αποτέλεσμα της διάλυσης υψηλού μοριακού βάρους οργανικών συμπλόκων. Αυτή η μόλυνση των υπόγειων υδάτων μπορεί να ενέχει ανησυχία τόσο σε περιβαλλοντικό επίπεδο όσο σε επίπεδο για την βιωσιμότητα του πόσιμου νερού (Slack et al., 2005). Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων σε ρυπασμένα υπόγεια νερά αλλά και στο έδαφος, έχει καταγραφεί ότι είναι υψηλές κοντά σε ΧΥΤΑ συγκεκριμένων

αποβλήτων, σε συνθήκες χαμηλού pH και χαμηλού οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Κουϊμτζής et al., 1998). Υπάρχουν βέβαια και αμφισβητήσεις στο ότι η έκχυση τοξικών μετάλλων από τα στραγγίσματα, αποτελεί ουσιαστικά περιβαλλοντικό πρόβλημα, εφόσον υποστηρίζεται ότι η διατήρηση μετάλλων σε υψηλό ποσοστό είναι συχνό φαινόμενο στους περισσότερους ΧΥΤΑ (Øygaard et al., 2004). Πιο πρόσφατα, οι κανονισμοί σε πολλές χώρες απαιτούν την εγκατάσταση μεμβρανών και συστημάτων συλλογής στραγγισμάτων, καθώς και ένα σχέδιο για διαχείριση των στραγγισμάτων. Πρέπει να σημειωθεί παρόλα αυτά πως η χαρτογράφηση της ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα μέσω των στραγγισμάτων απαιτεί όχι μόνο γνώση της σύνθεσης των στραγγισμάτων που διαφεύγουν από τον ΧΥΤΑ, αλλά επίσης εφαρμογή των διαδικασιών εξασθένησης που επηρεάζουν τα στραγγίσματα στην υπόγεια πορεία τους (Slack et al., 2005). Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί πως η πιθανή ρύπανση του υπόγειου υδροφορέα δεν γίνεται απαραίτητα την ίδια χρονική στιγμή με την κατασκευή του ΧΥΤΑ, αλλά αντίθετα μπορεί να περάσουν χρόνια μέχρι, και εφόσον, εμφανιστεί ρύπανση (Zanoni et al., 1973).

Ρύπανση που προκαλείται από στραγγίσματα, έχει παρατηρηθεί επίσης σε επιφανειακά ύδατα, αν και έχουν περιγραφεί σχετικά λίγες περιπτώσεις στη βιβλιογραφία. Οι κυριότερες πιθανές επιπτώσεις μιας διαρροής στραγγισμάτων στα επιφανειακά ύδατα αναμένεται να είναι μείωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) σε τμήμα του επιφανειακού νερού, λόγω της υπερφόρτωσης σε οργανικές ουσίες, αλλαγές στην πανίδα και χλωρίδα (ευτροφισμός) του ρεύματος και επιδράσεις από ανόργανους ρύπους όπως τοξικότητα από αμμωνία, σίδηρο και βαρέα μέταλλα (Kjeldsen et al., 2002; Βογιάννης, 2006).

Το έδαφος είναι ο τρίτος πιθανός αποδέκτης της ρυπαντικής δράσης των στραγγισμάτων. Η ρύπανση του εδάφους μπορεί να προκύψει είτε στην ύπαρξή του ως συνδετικός κρίκος στην πορεία των στραγγισμάτων μεταξύ ΧΥΤΑ και υπόγειου υδροφόρου, είτε από την απόθεση στραγγισμάτων απευθείας σε αυτό ως πηγή θρεπτικών. Στην πρώτη περίπτωση το έδαφος μπορεί να κατακρατήσει ποσότητα ρύπων καθώς τα στραγγίσματα διέρχονται μέσω αυτού. Η δεύτερη, και πιο περίπλοκη, περίπτωση αφορά στην

απόθεση στραγγισμάτων στο έδαφος ως πηγή θρεπτικών για τα φυτά. Οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί πάνω στο θέμα αυτό, αναφέρουν πως η απόθεση άλλαξε τις ιδιότητες του εδάφους καθοριστικά ως προς την σύσταση των απορριμμάτων. Έχει αναφερθεί χαρακτηριστικά εμπλουτισμός σε θρεπτικά και σε οργανική ύλη, αυξήσεις στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και μερικές φορές δραστικές αλλαγές στο pH. Επίσης σε δασικά κυρίως εδάφη, έχει αναφερθεί σημαντική μείωση της μικροβιακής μάζας, που πιθανόν οφείλεται στην τοξικότητα των στραγγισμάτων στα βακτήρια εξαιτίας της περιεκτικότητάς τους σε οργανικούς διαλύτες, μεταξύ των οποίων και τολουενίου. Σε άμεση σύνδεση με το έδαφος είναι και τα φυτά, στα οποία η χρήση στραγγισμάτων ως λίπασμα είχε διάφορα αποτελέσματα, από αύξηση ως την θνησιμότητά τους (Lisk, 1991).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## Μεθοδολογία

### 3.1 Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του ρυπαντικού φορτίου που περιέχεται στα στραγγίσματα των απορριμμάτων του ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής, μέσω της προσομοίωσης της διαδικασίας αποδόμησης των απορριμμάτων με την βοήθεια πειραματικών λυσιμέτρων.

Παρόμοιες μελέτες έχουν διεξαχθεί και στο παρελθόν από διάφορους ερευνητές και σε διάφορες μορφές, με μοναδική διαφορά από την παρούσα, ότι μέχρι τότε τα απορρίμματα της Αττικής οδηγούνταν σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης. Με την λειτουργία του ΧΥΤΑ, και κατ' επέκταση την εφαρμογή όλων των προδιαγραφών για την ορθή συλλογή και διαχείριση των στραγγισμάτων, παρόμοια μελέτη δεν έχει διεξαχθεί σε πειραματικό επίπεδο.

Η πειραματική προσομοίωση σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να εκτιμηθεί η εξέλιξη του ρυπαντικού φορτίου που μπορεί να προκύψει σε ετήσια βάση από απορρίμματα πλούσια σε ζυμώσιμα υλικά και με υψηλά αρχικά ποσοστά υγρασίας, όπως είναι τα ελληνικά.

### 3.2 Ερευνητική μέθοδος

Η διεξαγωγή της παραπάνω έρευνας απαιτήσε τον σχεδιασμό μιας πειραματικής εργαστηριακής διαδικασίας για την προσομοίωση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής. Ο σχεδιασμός βασίστηκε σε τέσσερις πυλώνες: α) την επιλογή ενός χώρου υγειονομικής ταφής ως πρότυπο, β) την λήψη δειγμάτων από εκεί, γ) την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας και δ) την ποσοτική και ποιοτική ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Ως πρότυπο για την έρευνα, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε ο ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής, ο οποίος αποτελεί σήμερα τον μεγαλύτερο ΧΥΤΑ της χώρας και δέχεται σε ημερήσια βάση περισσότερους από 3600 τόνους απορριμμάτων. Από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο σώμα του ΧΥΤΑ, και σε βάθος 30 μέτρων, ελήφθησαν δείγματα για την χρήση τους σε εργαστηριακή κλίμακα. Επιπλέον κατασκευάστηκαν και τοποθετήθηκαν στο εργαστήριο δύο λυσίμετρα, που πληρώθηκαν με τα παραπάνω δείγματα. Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε ακόμη την προσθήκη νερού, ίσο με την ετήσια βροχόπτωση υπό την μορφή κατάκλισης. Απώτερος σκοπός ήταν η συλλογή των παραγόμενων στραγγισμάτων που προέκυπταν από την παραπάνω διαδικασία.

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας, πραγματοποιούνταν μετρήσεις αναφορικά με τον προστιθέμενο όγκου νερού, για την εξαγωγή συμπερασμάτων τόσο για την ποσότητα των στραγγισμάτων, όσο και την κατακράτηση νερού από την μάζα των απορριμμάτων. Με το πέρας της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές αναλύσεις για την καταγραφή της ποιοτικής σύστασης των παραγόμενων στραγγισμάτων που συλλέχθηκαν.

Όλα τα παραπάνω, καθώς επίσης η παρουσίαση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

# Χώρος Υγειονομικής Ταφής Δυτικής Αττικής

### 4.1 Ιστορικό και περιγραφή του ΧΥΤΑ

Ο χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων Δυτικής Αττικής, βρίσκεται στην θέση Σκαλιστήρι στην ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου Πεδίου. Ο ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής χωροθετείται μέσα σε έκταση που παραχωρήθηκε από τον Ενιαίο Σύνδεσμο Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ), στη μισγάγγεια του ρέματος «Στενό» βόρεια και σε άμεση γειτονία με τον παλαιό χώρο διάθεσης απορριμμάτων (ΧΔΑ) των Άνω Λιοσίων. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι 250 στρέμματα και έχει συνολική χωρητικότητα 10.000.000 m<sup>3</sup>. Η χωροθέτηση έχει γίνει σε μια απόκρημνη, ημιάγονη περιοχή, που φιλοξενεί άγρια βλάστηση αποτελούμενη κυρίως από χαμηλά φυτά και χόρτα (Fatta et al., 1999).

Η έναρξη λειτουργίας του ΧΥΤΑ έγινε το 1998 με προβλεπόμενη διάρκεια ζωής τα 8 έτη. Ο αρχικός σχεδιασμός του χώρου έγινε για την υποδοχή, τα τρία πρώτα χρόνια, του συνόλου των απορριμμάτων από τους Ο.Τ.Α. που εξυπηρετεί ο ΕΣΔΚΝΑ, δηλαδή 1.300.000 τόνοι/έτος ή 3.600 τόνοι/μέρα. Ο σχεδιασμός για τα επόμενα χρόνια προέβλεπε την μείωση του όγκου αυτού λόγω της εφαρμογής προγραμμάτων ανακύκλωσης.



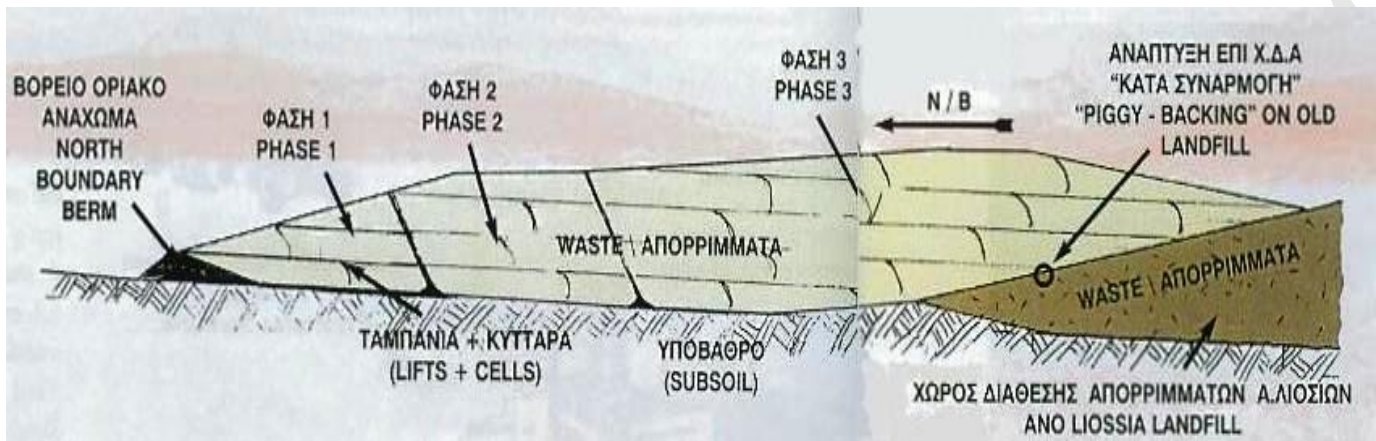
Εικόνα 7: ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής – Στάδιο διαμόρφωσης

Αναλυτικά η διαμόρφωση του χώρου περιγράφεται παρακάτω:

#### 4.1.1 Διαμόρφωση και εκμετάλλευση

Η λεκάνη του ΧΥΤΑ έχει διαμορφωθεί κυρίως με εκσκαφές, ώστε ο πυθμένας και τα πρανή να εξομαλυνθούν και να αποκτήσουν ενιαία κλίση. Στη βόρεια πλευρά κατασκευάστηκε ανάχωμα, με στόχο την οριοθέτηση και απομόνωση του ΧΥΤΑ από τις ανάντη εκτάσεις και τη βέλτιστη διαχείριση των όμβριων και των στραγγισμάτων. Στη νότια πλευρά ο ΧΥΤΑ έχει αναπτυχθεί με τη μέθοδο «κατά συναρμογή» (“riggy-backing”) επάνω στο απορριμματικό ανάγλυφο του παλαιού ΧΔΑ σε έκταση περίπου 100 στρεμμάτων. Δύο εσωτερικά αναχώματα διαιρούν τον χώρο σε 3 φάσεις, με στόχο την τμηματική κατασκευή των έργων υποδομής και την τμηματική λειτουργία του. Η τμηματική αυτή διαμόρφωση και πλήρωση του χώρου ταφής έχει ως πλεονέκτημα α) τον περιορισμό της δημιουργίας στραγγισμάτων, β) την προοδευτική αποκατάσταση του χώρου και γ) την μείωση και διαβάθμιση του κόστους των χωματουργικών εργασιών και λοιπών προετοιμασιών.



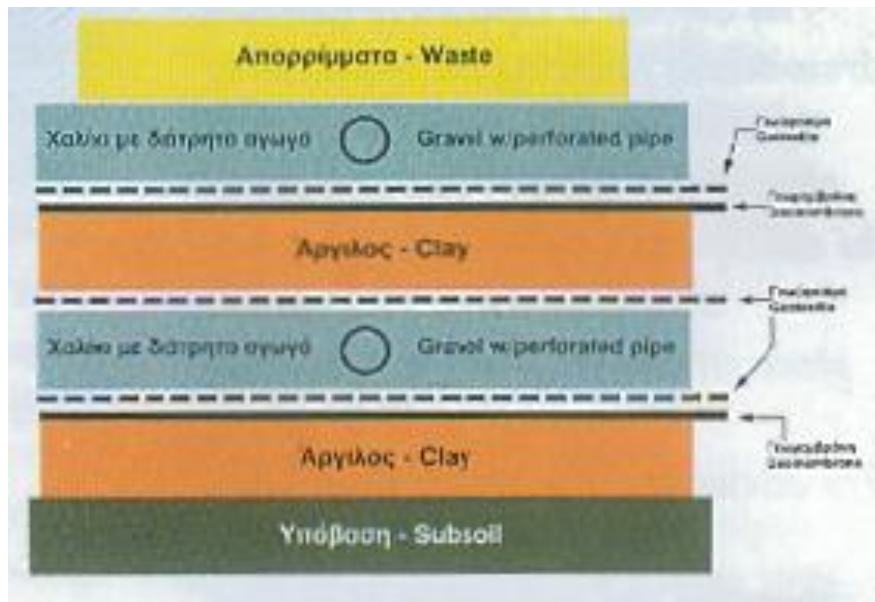


Εικόνα 8: Σχηματική μηκοτομή ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής

Η διάθεση των απορριμμάτων γίνεται με την μέθοδο των κυττάρων. Ως σημείο έναρξης της απόθεσης των απορριμμάτων ορίστηκε το βόρειο τμήμα του ΧΥΤΑ, στο οποίο χωροθετήθηκε η Α' Φάση που περιελάμβανε 3 κύτταρα διάθεσης. Οι επόμενες Φάσεις χωρίζονται αντίστοιχα σε 4 και 5 κύτταρα.

#### 4.1.2 Στεγανοποίηση

Ο πυθμένας και τα πλευρικά πρηνή του ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής διαστρώθηκαν με διπλή σύνθετη στεγάνωση που αποτελείται από συνδυασμό γεωσυνθετικών και αργιλικών μονωτικών υλικών. Ανάμεσα στους δύο στεγανωτικούς χιτώνες τοποθετήθηκε ενδιάμεση στραγγιστήρια στρώση ελέγχου των διαφυγών που επιτρέπει τον εντοπισμό και απομάκρυνση ενδεχομένων διαρροών μέσω ειδικού δικτύου αγωγών. Το σύστημα υψηλής προστασίας επιλέχθηκε λόγω της περατότητας του γεωλογικού υποβάθρου και της μεγάλης ευαισθησίας του υποκείμενου υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος ήταν ήδη ιδιαίτερα βεβαρημένος από τις βιομηχανικές δραστηριότητες της περιοχής. Συγκεκριμένα το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από πλευρικά κορήματα και αποσαθρώματα κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης καθώς και από ασβεστόλιθους και δολομίτες της πελαγονικής ζώνης, Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι υδατοπερατοί ή ημιπερατοί με μέσο συντελεστή υδροπερατότητας  $10^{-2}$  cm/sec (Fatta et al., 1999). Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, η διπλή στεγάνωση αποτελείται από:



Εικόνα 9: Διατομή διπλής στεγάνωσης πυθμένα

- ❏ Στρώση κυκλοφορίας και συλλογής στραγγισμάτων, με διάτρητους αγωγούς
- ❏ γεωμεμβράνες HDPE (πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας) πάχους 1,5 mm με υπερκείμενα γεωυφάσματα προστασίας από πολυπροπυλένιο,
- ❏ δύο στρώσεις (άνω και κάτω) αργιλικού υλικού πάχους 0,30 m με συντελεστή υδροπερατότητας  $K = 1 \cdot 10^{-9}$  m/sec και
- ❏ στρώση ελέγχου και συλλογής διαφυγών με χαλίκι και διάτρητους συλλεκτήριους αγωγούς, που διαχωρίζονται από την ανώτερη αργιλική στρώση με γεώφασμα διαχωρισμού

Το πρόγραμμα ποιοτικών ελέγχων των στεγανωτικών υλικών περιέλαβε δειγματοληπτικό έλεγχο όλων των γεωσυνθετικών υλικών πριν την τοποθέτησή τους καθώς και επί τόπου ελέγχους σε όλα τα σημαντικά σημεία όπως τα σημεία των ραφών συγκόλλησης μεταξύ των φύλλων των γεωμεμβρανών.

#### 4.1.3 Διαχείριση στραγγισμάτων

Το σύστημα διαχείρισης των στραγγισμάτων στο Χ.Υ.Τ.Α. Δυτικής Αττικής σχεδιάστηκε με γνώμονα

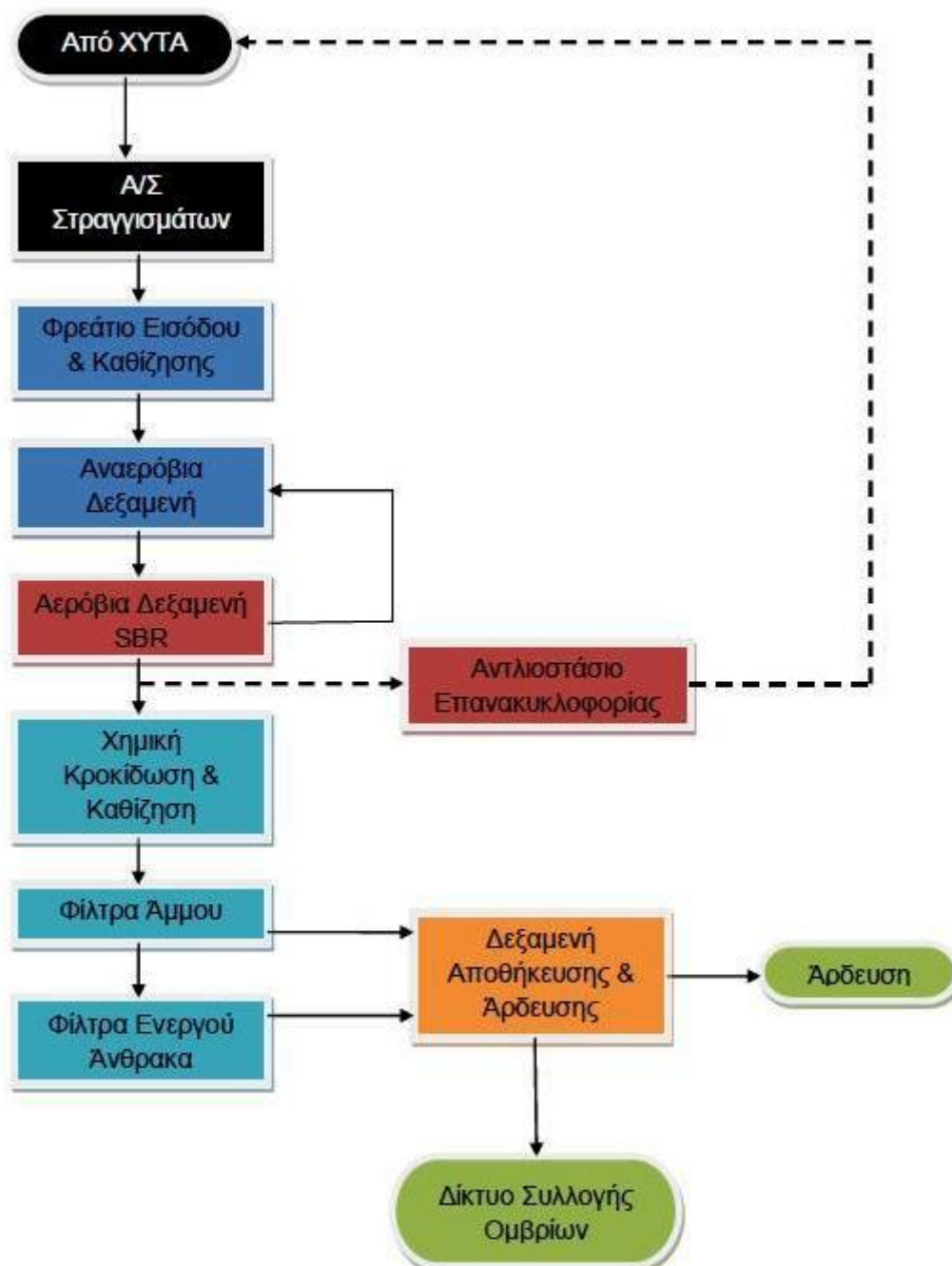
- 1) την συνεχή και ενιαία αποστράγγιση του Χ.Υ.Τ.Α. για την αποφυγή δημιουργίας στήλης στραγγισμάτων στον πυθμένα που θα είχε δυσμενή επίπτωση στην ευστάθεια του Χ.Υ.Τ.Α.
- 2) την αποφυγή δημιουργίας κατακόρυφων φρεατίων ελέγχου μέσα στο σώμα των απορριμμάτων, λόγω του μεγάλου τελικού ύψους τους
- 3) την επισκεψιμότητα του δικτύου συλλογής στραγγισμάτων και την ευχέρεια ελέγχου και καθαρισμού του και
- 4) την πλήρη επεξεργασία των στραγγισμάτων με ποιότητα εκροής κατάλληλη για τελική διάθεση με άρδευση ή στον υδάτινο αποδέκτη.



Εικόνα 10: Τοποθέτηση γεωφασμάτων και αγωγών στον ΧΥΤΑ

Ο πυθμένας και τα πρανή του Χ.Υ.Τ.Α. επενδύθηκαν με στρώση αποστράγγισης και στον πυθμένα τοποθετήθηκε δίκτυο δίδυμων κεντρικών αγωγών HDPE δομημένου τοιχώματος που αποστραγγίζουν ενιαία και συνεχώς το Χ.Υ.Τ.Α. Δευτερεύοντες συλλεκτήριοι αγωγοί τοποθετήθηκαν στα σημεία αλλαγής κλίσης των πρανών ενώ όλοι οι στραγγιστήριοι αγωγοί επεκτείνονται ως την στέψη των ανάντη πρανών σε ειδικά διαμορφωμένα σημεία ελέγχου, από όπου είναι δυνατός ο έλεγχος και καθαρισμός τους. Οι κεντρικοί αγωγοί καταλήγουν σε κεντρικό φρεάτιο συλλογής από όπου μέσω καταθλιπτικών δικτύων τα στραγγίσματα οδηγούνται στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Το φρεάτιο είναι επισκέψιμο με εξαερισμό και παγίδες βιοαερίου και επιτρέπει την χρήση κάμερας – ρομπότ για τον έλεγχο των αγωγών.

Στον Χ.Υ.Τ.Α. Δυτικής Αττικής γίνεται πλήρης επεξεργασία των στραγγισμάτων στην εγκατάσταση επεξεργασίας που βρίσκεται στο ανατολικό πρανές του χώρου. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει αρχική καθίζηση και αναερόβια επεξεργασία, στη συνέχεια αερισμό με σύστημα SBR (αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας) και τέλος τριτοβάθμια επεξεργασία με χημική καθίζηση, κροκίδωση και φίλτρα άμμου, καθώς και περαιτέρω καθαρισμό σε εφεδρικές κλίνες ενεργού άνθρακα. Η τελική έξοδος αποθηκεύεται σε δεξαμενή από όπου χρησιμοποιείται ως νερό άρδευσης των φυτεύσεων που θα εγκατασταθούν στην τελική επιφάνεια του Χ.Υ.Τ.Α. ή οδηγείται στο δίκτυο συλλογής όμβριων. Μέρος της παροχής εξόδου της βιολογικής βαθμίδας οδηγείται προς ανακυκλοφορία στην επιφάνεια του Χ.Υ.Τ.Α. ακολουθώντας ειδικό πρόγραμμα ανακυκλοφορίας βασισμένο στο υδάτινο ισοζύγιο του χώρου, με σκοπό την διατήρηση ικανής υγρασίας για την προώθηση της βιοαποδόμησης των απορριμμάτων. Η ανακυκλοφορία επεξεργασμένων στραγγισμάτων συνδυάζεται με την κατασκευή στην επιφάνεια του Χ.Υ.Τ.Α. προσωρινού καλύμματος τύπου «αναπνοής», το οποίο έχει την ιδιότητα να επιτρέπει ελεγχόμενη κατείσδυση υγρασίας στα απορρίμματα και την διατήρηση έτσι ευνοϊκών συνθηκών για την ταχεία βιοαποδόμηση των απορριμμάτων.



Διάγραμμα 1: Σχηματικό διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας στραγγισμάτων

#### 4.1.4 Διαχείριση βιοαερίου

Ο υψηλός ρυθμός πλήρωσης του ΧΥΤΑ, λόγω των ιδιαίτερα μεγάλων ποσοτήτων απορριμμάτων που οδηγούνται καθημερινά προς ταφή, έχει ως αποτέλεσμα γρήγορους ρυθμούς παραγωγής βιοαερίου. Για τον λόγο αυτό,

έχει σχεδιαστεί σύστημα συλλογής βιοαερίου υψηλής ανάκτησης. Έτσι με την ολοκλήρωση καθ' ύψος του κάθε κυττάρου, η οποία γίνεται σε περίπου ενάμιση χρόνο από την έναρξη λειτουργίας του, κατασκευάζεται με γεωτρήσεις επί του απορριμματικού όγκου, σε κάρναβο πλευράς περί τα 50 μέτρα και οριζόντια διασύνδεση των κεφαλών, το σύστημα άντλησης του βιοαερίου το οποίο παροχετεύεται σε μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης.

#### 4.1.5 Αποκατάσταση

Το τελικό ανάγλυφο θα διαμορφώνεται σταδιακά λόγω της προοδευτικής πλήρωσης με απορρίμματα. Η κάλυψη, για να αντιμετωπιστεί η διαφορεική καθίζηση λόγω αποικοδόμησης, θα γίνει σε δύο στάδια:

- 1) Τοποθέτηση προσωρινού καλύμματος τύπου «αναπνοής» και
- 2) Τοποθέτηση μόνιμου καλύμματος (top cover) τελικής αποκατάστασης.

Το προσωρινό κάλυμμα τύπου αναπνοής (capillary barrier) αποτελείται από δύο διαβαθμισμένες στρώσεις αμμοχαλικωδών υλικών και εφαρμόζεται με σκοπό α) τον περιορισμό της κατείσδυσης όμβριων στα περαιωμένα απορριμματικά πρηνή και άρα μείωση των στραγγισμάτων και β) την ελεγχόμενη κατείσδυση υγρασίας στα απορρίμματα μετά την κάλυψή τους, ώστε να προωθείται η βιοαποικοδόμηση και να επιταχύνονται οι ρυθμοί καθίζησης και παραγωγής βιοαερίου. Με την ολοκλήρωση των καθιζήσεων, προς το τέλος λειτουργίας του χώρου θα τοποθετηθεί μόνιμο κάλυμμα τελικής αποκατάστασης που σκοπό έχει τη σφράγιση του απορριμματικού ανάγλυφου και την τελική διαμόρφωσή του ως χώρου πρασίνου με την τοποθέτηση στεγανωτικής μεμβράνης, στρώσεων απορροής όμβριων και στρώσεων διαμόρφωσης και ανάπτυξης φυτών.

#### 4.1.6 Περιβαλλοντική παρακολούθηση

Το πρόγραμμα παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων εφαρμόζεται στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, ώστε να

ελέγχεται τακτικά και να διασφαλίζεται έτσι η δημόσια υγεία και το περιβάλλον από το ενδεχόμενο διαφυγής ρυπαντών από τον χώρο ταφής.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης του ΧΥΤΑ περιλαμβάνει:

- ❏ Καταγραφή των μετεωρολογικών στοιχείων και εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου του χώρου με τη βοήθεια εγκατεστημένου τοπικού μετεωρολογικού σταθμού.
- ❏ Τακτική καταγραφή της ποσότητας και ποιότητας των στραγγισμάτων.
- ❏ Έλεγχο της ποιότητας των υπογείων υδάτων με τακτική δειγματοληψία από γεωτρήσεις ανάντη και κατόντη της υδραυλικής κλίσης του υπόγειου ορίζοντα.
- ❏ Έλεγχο πλευρικών διαφυγών βιοαερίου από τα πρηνή του Χ.Υ.Τ.Α. με τακτική δειγματοληψία και χρήση φορητού αναλυτή μεθανίου στις περιμετρικές γεωτρήσεις ελέγχου.
- ❏ Αποτύπωση και συνεχή υπολογισμό του όγκου υγειονομικής ταφής και της εξέλιξης των καθιζήσεων με τακτικές τοπογραφικές μετρήσεις σε κάρναβο μαρτύρων μέσα στο χώρο ταφής.

#### 4.1.7 Βοηθητικές εγκαταστάσεις

Στις βοηθητικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνονται:

- ❏ Εκτεταμένα έργα περιφρούρησης και διευκόλυνσης της νυκτερινής λειτουργίας όπως περίφραξη, εξωτερικός φωτισμός κατά μήκος της περίφραξης και της οδοποιίας, κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης.
- ❏ Υποσταθμός Μ/Τ και κτίριο ηλεκτρικής ενέργειας για την εξυπηρέτηση της εγκατάστασης επεξεργασίας στραγγισμάτων, των μονάδων άντλησης και καύσης βιοαερίου, των αντλιοστασίων, των δικτύων άρδευσης κλπ.
- ❏ Κεντρικό σύστημα τηλε-επιτήρησης και τηλε-ελέγχου της εγκατάστασης επεξεργασίας στραγγισμάτων, των μονάδων άντλησης και καύσης βιοαερίου, των αντλιοστασίων, των δικτύων άρδευσης κλπ. εγκατεστημένο στο υφιστάμενο κτίριο διοίκησης της Ο.Ε.Δ.Α.

- Νέες κτιριακές εγκαταστάσεις και εξοπλισμός εισόδου, διαμόρφωση νέας εισόδου στην Ο.Ε.Δ.Α. με αποτελεσματική ρύθμιση και έλεγχο της κυκλοφορίας και σύγχρονα ζυγιστήρια.
- Έργα αντιπυρικής και αντιπλημμυρικής προστασίας, έργα διευθέτησης όμβριων, έργα οδοποιίας.
- Σύγχρονος εξοπλισμός λειτουργίας (συμπιεστές, φορτωτές κλπ) εξοπλισμός υγιεινής και ασφάλειας προσωπικού, εξοπλισμός και όργανα για την εφαρμογή του προγράμματος περιβαλλοντικού ελέγχου.

Οι εργασίες ταφής των απορριμμάτων εκτελούνται από τον ΕΣΔΚΝΑ, ενώ όλες οι εργασίες κατασκευής των ειδικών έργων (διαμόρφωση, στεγάνωση, στραγγιστήρια, βιοαέριο κλπ), των βοηθητικών έργων υποδομής, καθώς και των έργων τελικής αποκατάστασης εκτελούνται από την Ανάδοχο Κοινοπραξία (ΕΣΔΚΝΑ, 1998).

Σήμερα ο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων, προ πολλού υπερκορεσθείς, «καταβροχθίζει» πλέον, ελλείπει χώρου, «τα παιδιά του», καθώς τα απορρίμματα καταλαμβάνουν τώρα σημαντικές εκτάσεις του αποκατασταθέντος, προ πολλών ετών, απορριμματικού ανάγλυφου, και όχι μόνο. Οι 59 Δήμοι και Κοινότητες που εξυπηρετεί, με συνολικό πληθυσμό που ξεπερνά τα 3.789.960 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2001), ισοδυναμούν με το 95% των κατοίκων της Ηπειρωτικής Αττικής, Σαλαμίνας και Αίγινας. Το φορτίο του για το 2003 ανήλθε συνολικά σε 2.000.000 τόνους περίπου. Σε αυτό το, κατά προσέγγιση, φορτίο περιλαμβάνονται τα οικιακά απορρίμματα, τα εμπορικά και άλλα εξομοιούμενα με τα οικιακά, τα απορρίμματα πρασίνου, τα ογκώδη απορρίμματα. Στο ΧΥΤΑ κατέληξαν ακόμη, χρησιμοποιούμενα κυρίως προς επικάλυψη των απορριμμάτων, και περίπου 2.900.000 τόνοι αδρανών υλικών (χώματα εκσκαφών κυρίως) καθώς και περίπου 100.000 τόνοι ιλύος από εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων. Το ημερήσιο μεταφερόμενο φορτίο, λοιπόν, ανήλθε σε 6.500 τόνους περίπου κατά το εργάσιμο πενθήμερο, σχεδόν διπλάσιο από το αρχικά υπολογιζόμενο φορτίο (ΤΕΕ, 2006).

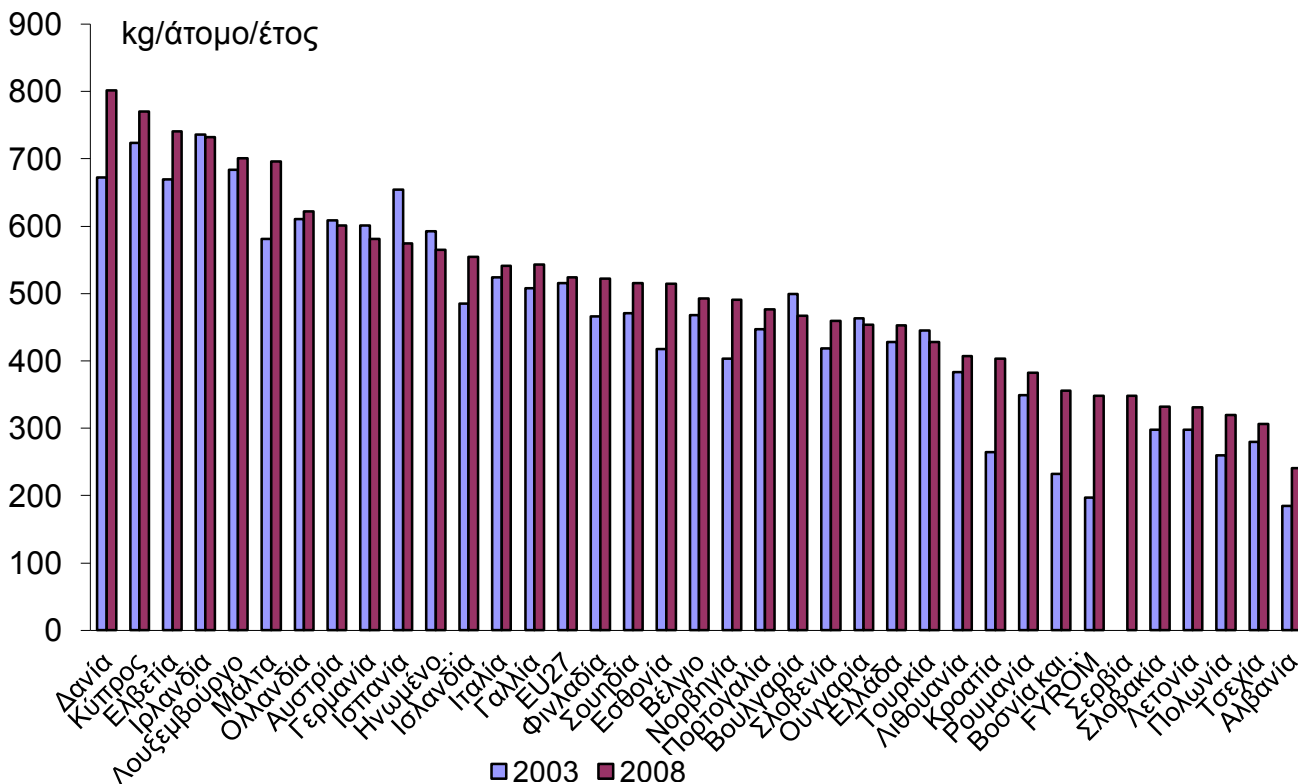


## 4.2 Ποσότητα και σύσταση των απορριμμάτων

Η παραγόμενη ποσότητα οικιακών απορριμμάτων διαφοροποιείται με βάση τρεις κύριους παράγοντες α) το βιοτικό επίπεδο, β) τις καταναλωτικές συνήθειες και γ) τα πρότυπα των κατοίκων. Ως αποτέλεσμα αυτού η ημερήσια παραγόμενη ποσότητα ανά κάτοικο αλλάζει, ανάλογα με την υπό εξέταση περιοχή (αστικά κέντρα, ημιαστικές περιοχές, αγροτικές περιοχές, τουριστικές περιοχές).

Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή απορριμμάτων στην χώρα είχε ανοδική πορεία. Οι ποσότητες παραγόμενων αποβλήτων αυξήθηκαν από 3.100.000 τόνους το 1990 σε 5.000.000 τόνους το 2007, ενώ και ο ρυθμός παραγωγής αυξήθηκε από 0,82 kg/άτομο/μέρα το 1990 σε 1,21 kg/άτομο/μέρα το 2007, παραμένοντας παρόλα αυτά κάτω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο (EU – 15) (ΥΠΕΚΑ, 2010). Οι προβλέψεις για το 2020 δείχνουν αύξηση του ρυθμού παραγωγής που ενδέχεται να φτάσει τα 1,469 kg/άτομο/μέρα, ενώ παράλληλα δείχνουν μείωση στην τελική ποσότητα απορριμμάτων που θα καταλήγουν στο ΧΥΤΑ, κυρίως λόγω αύξησης του ποσοστού ανακύκλωσης.

Διαφοροποίηση στα παραπάνω υφίσταται στον δήμο Αθηναίων όπου ο μέσος ρυθμός παραγωγής υπολογίστηκε στα 3,8 kg/άτομο/μέρα, με τις τιμές του ουσιαστικά να κυμαίνονται από 1,3 έως 8,9 kg/άτομο/μέρα. Οι παραπάνω αποκλίσεις οφείλονται κυρίως στην έντονη εμπορική δραστηριότητα που παρατηρείται στον συγκεκριμένο δήμο (Komilis et al., 2007).



Διάγραμμα 2: Ετήσιος ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων σε Ευρωπαϊκές χώρες

Αναφορικά με την σύσταση των οικιακών απορριμμάτων, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις τόσο από χώρα σε χώρα όσο και σε διάφορες περιοχές μιας συγκεκριμένης χώρας. Βασικός παράγοντας για τις διαφοροποιήσεις αυτές είναι, όπως προαναφέρθηκε, οι διατροφικές και καταναλωτικές συνήθειες των πληθυσμών κάθε περίπτωσης, καθώς επίσης και τα καταναλωτικά πρότυπα που υιοθετούνται από τους κατοίκους. Οι κύριες κατηγορίες απορριμμάτων που συναντώνται είναι α) τα ζυμώσιμα, δηλαδή κυρίως υπολείμματα τροφών, β) χαρτί από υλικά συσκευασίας και έντυπα, γ) πλαστικά ανεξαρτήτου σύστασης, δ) γυαλί, ανεξάρτητα από το είδος, το σχήμα ή το χρώμα, ε) μέταλλα σιδηρούχα ή μη, στ) υφάσματα, ξύλο, δέρμα, λάστιχο που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βελτιωτικό εδάφους, ζ) αδρανή όπως κεραμικά, πέτρες και πορσελάνη και τέλος η κατηγορία των υπολοίπων που περιλαμβάνει υλικά που δεν ανήκουν σε καμία από τα παραπάνω κατηγορίες, όπως για παράδειγμα οι βρεφικές πάνες, που αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος της κατηγορίας αυτής.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ενδεικτικά στοιχεία σχετικά με τη μέση σύσταση των απορριμμάτων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, με εύρος εικοσαετίας.

Πίνακας 2: Σύσταση οικιακών απορριμμάτων Αττικής (Λοϊζίδου, 2007)

Σύσταση οικιακών απορριμμάτων (% κ.β.)	1985	1991	1996	2004
<b>Οργανικά – Ζυμώσιμα</b>	59,8	51,0	48,5	47,0
<b>Χαρτί – χαρτόνι</b>	19,5	21,0	22,5	23,0
<b>Ύφασμα, ξύλο, λάστιχο, δέρματα</b>	3,4	2,0	3,5	4,0
<b>Πλαστικά</b>	7,0	9,0	10,0	11,0
<b>Μέταλλα</b>	3,8	5,5	4,2	4,4
<b>Γυαλιά</b>	2,6	6,0	3,5	3,6
<b>Αδρανή</b>	0,7	2,0	3,3	3,5
<b>Υπόλοιπα (μικτά υλικά)</b>	3,2	3,5	4,5	3,6
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Η σύσταση των απορριμμάτων της Αθήνας αποκλίνει, άλλοτε λιγότερο και άλλοτε περισσότερο, από την σύσταση των απορριμμάτων του συνόλου της χώρας αλλά και περιοχών της υπόλοιπης Ελλάδας, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Σύσταση οικιακών απορριμμάτων Ελλάδας (Parachristou et al., 2009; Κασιρή, 2009; Οικονομόπουλος, 2009; ΥΠΕΚΑ, 2010)

Σύσταση οικιακών απορριμμάτων %	Ελλάδα (2007)	Ελλάδα (εκτίμηση 2011)	Θεσσαλονίκη (2006)	Χανιά (1991)	Ρόδος (1988)
<b>Ζυμώσιμα</b>	39,8	31,2	26,29	55,2	43
<b>Χαρτί</b>	22	24,6	25,86	18,9	17
<b>Πλαστικά</b>	10,5	19,3	19,71	8,6	10
<b>Γυαλί</b>	4,3	3,6	3,66	3,8	14
<b>Μέταλλα</b>	3,5	3,4	3,39	3,8	10
<b>Υφάσματα</b>	3,3				
<b>Ξύλο</b>	1	17,8	9,84	9,7	6

<b>Υπόλοιπα</b>	15,7		11,25		
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Τέλος αξίζει να μελετηθεί η παραγωγή απορριμμάτων λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική δυσπραγία στην οποία έχει επέλθει η χώρα το τελευταίο χρονικό διάστημα. Μετρήσεις για το σύνολο της ελληνικής επικράτειας έδειξαν πως η παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων μειώθηκε για το διάστημα 2009 – 2010 κατά 6,5% και για το διάστημα 2010 – 2011 κατά 8,5%. Ειδικότερα για τον δήμο Αθηναίων και για τα πρώτα εξάμηνα του 2010 και του 2011 η μείωση των απορριμμάτων άγγιξε το 26%. Δύο είναι οι κύριοι λόγοι για την διαφοροποίηση αυτή, πρώτον η μείωση της κατανάλωσης άρα και κατά επέκταση της παραγωγής απορριμμάτων και δεύτερον η εσωτερική μετανάστευση του πληθυσμού προς την υπόλοιπη Ελλάδα (ECOREC, 2011).

## Εργαστηριακή Προσομοίωση

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία για τη ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση των στραγγισμάτων από τον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων με τη χρήση λυσιμέτρων. Τα λυσίμετρα, με βάση τον ορισμό, είναι δοχεία πληρωμένα με απορρίμματα τα οποία προσομοιώνουν τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα σε έναν ΧΥΤΑ και επιτρέπουν τη λεπτομερή μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας των στραγγισμάτων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.

Δύο είναι τα βασικά αντικείμενα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε:

- Η παραγόμενη ποσότητα στραγγισμάτων και η σχέση της με τη βροχόπτωση και
- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων που προέκυψαν

Η πειραματική διάταξη κατασκευάστηκε και εγκαταστάθηκε στο χώρο του εργαστηρίου της Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και λειτούργησε από τον Νοέμβριο 2011 ως τον Δεκέμβριο 2011, ενώ οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής όσο και στο Εργαστήριο Γενικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

### 5.2 Πειραματική εγκατάσταση

#### 5.2.1 Σχεδιασμός πειραματικής διάταξης

Για τον σχεδιασμό των λυσιμέτρων ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω κριτήρια:

- ❏ Τα απορρίμματα που πλήρωσαν τα λυσίμετρα είχαν σύνθεση αντιπροσωπευτική των οικιακών απορριμμάτων της περιοχής.
- ❏ Η συμπίεση των απορριμμάτων κατά τη πλήρωση των λυσιμέτρων έπρεπε να είναι αντίστοιχη με αυτή του ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων.
- ❏ Η περιεκτικότητα σε υγρασία των απορριμμάτων στα λυσίμετρα έπρεπε να αντιστοιχεί στη φυσική τους υγρασία.
- ❏ Το μέγεθος των απορριμμάτων έπρεπε να είναι τέτοιο έτσι ώστε να μην εμποδίζει τη σωστή λειτουργία των λυσιμέτρων.
- ❏ Οι κλιματικές συνθήκες έπρεπε να είναι παρόμοιες με αυτές που επικρατούν στη περιοχή των Άνω Λιοσίων του νομού Αττικής.

Ο τρόπος κατασκευής και λειτουργίας των λυσιμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν πείραμα βασίστηκε εν μέρει σε παλαιότερες δημοσιευμένες μελέτες καθώς επίσης και στη διδακτορική διατριβή της κ. Μποσδογιάννη Αγγελικής.

### 5.2.2 Δειγματοληψία απορριμμάτων

Ο σχεδιασμός της έρευνας, απαίτησε την χρήση απορριμμάτων από την περιοχή μελέτης. Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης λοιπόν, χρησιμοποιήθηκαν δείγματα που ελήφθησαν από τον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής τον Φεβρουάριο και τον Μάιο του 2011. Όλα προήλθαν από την απορριμματική μάζα του ΧΥΤΑ και ελήφθησαν από βάθος 30 μέτρων με την βοήθεια κατά τόπους γεωτρήσεων.

Τα δείγματα εν συνεχεία τοποθετήθηκαν σε νάιλον σακούλες οι οποίες και σφραγίσθηκαν, έτσι ώστε να διατηρηθεί η περιεχόμενη υγρασία των απορριμμάτων έως ότου τοποθετούνταν στα λυσίμετρα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως τα απορρίμματα, από τα οποία και ελήφθησαν τα δείγματα, είχαν ήδη υποστεί αποδόμηση σε σημαντικό βαθμό.



Εικόνα 11: Δειγματοληψία απορριμμάτων από τον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής

### 5.2.3 Κατασκευή και πλήρωση λυσιμέτρων

Για την κατασκευή των λυσιμέτρων, απαιτήθηκαν δύο διάφανοι σωλήνες από PVC ύψους 1 μέτρου και διαμέτρου 20 εκατοστών, οι οποίοι στην συνέχεια σφραγίσθηκαν από τη κάτω μεριά με διάτρητα πώματα αντίστοιχης διαμέτρου. Τα πώματα των σωλήνων στηρίχθηκαν με σύρμα για τη διασφάλιση της ασφαλούς σφράγισης του πυθμένα. Παράλληλα, ο πυθμένας του σωλήνα επενδύθηκε με γεωμεμβράνη, παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στην επένδυση των κυττάρων του ΧΥΤΑ.



Εικόνα 12: Διάτρητο πώμα και γεωμεμβράνη του λυσιμέτρου

Για την στήριξη των λυσιμέτρων χρησιμοποιήθηκαν σιδερένιες πυροστιές ως βάσεις. Η κάθε πυροστιά επιπλέον τοποθετήθηκε μέσα σε πλαστικό ταψί, έτσι ώστε να αποφευχθεί η διαρροή των στραγγισμάτων στο χώρο του εργαστηρίου. Μέσα στο ταψί, τοποθετήθηκε ένα επιπλέον ταψί μικρότερης διαμέτρου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των στραγγισμάτων. Τα λυσιμέτρα στηρίχθηκαν επιπλέον με σύρμα σε ειδικά στατό που βρισκόταν στο πίσω μέρος της κατασκευής, για την επιπλέον διασφάλιση της στήριξής τους. Τέλος, η πάνω ανοιχτή πλευρά κάθε λυσιμέτρου καλύφθηκε με ένα μικρό αλουμινένιο ταψάκι για την αποφυγή πιθανών οσμών καθώς και την ελαχιστοποίηση της πιθανής εξάτμισης νερού.





Εικόνα 13: Λυσιμέτρα

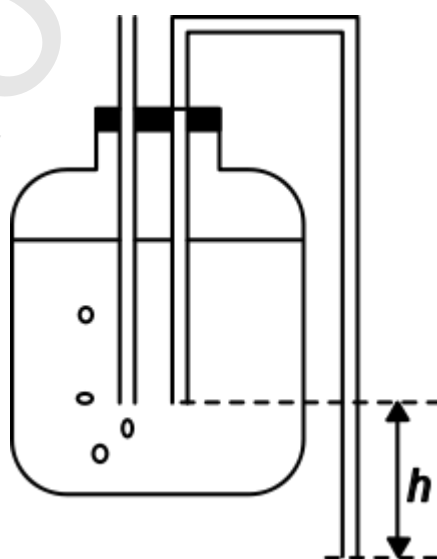
Η πλήρωση των λυσιμέτρων έγινε με οικιακά απορρίμματα που ελήφθησαν από τον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Κατά τη τοποθέτηση των απορριμμάτων στα λυσιμέτρα έγινε μια μικρή διαλογή κατά την οποία αφαιρέθηκαν μεγάλα μπουκάλια, κουτιά και άλλα αντικείμενα που θα ήταν πιθανό να φράξουν τη διατομή των λυσιμέτρων και να εμποδίσουν την ομαλή διέλευση του νερού σε όλο τον όγκο των απορριμμάτων. Εν τέλει τα απορρίμματα τοποθετήθηκαν και συμπιέστηκαν στις δύο στήλες αποκτώντας τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά απορριμμάτων στα λυσίμετρα

Χαρακτηριστικά απορριμμάτων	Στήλη Α	Στήλη Β
Συμπύεση	1:1,54	1:1,73
Ύψος (cm)	46	50
Όγκος (m <sup>3</sup> )	0,014	0,016
Βάρος (kg)	18,497	20,214
Περιεχόμενη Υγρασία	10,53%	10,58%

#### 5.2.4 Κατασκευή δοχείων Mariotte

Εκτός από τα λυσίμετρα, απαραίτητα για την προσομοίωση ήταν και τα δοχεία Mariotte. Το δοχείο Mariotte, που βασίζεται σε μια συσκευή που δημιούργησε ο Γάλλος φυσικός Edme Mariotte τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, είναι μια συσκευή που παρέχει μια σταθερή ποσότητα υγρού από κλειστά μπουκάλια ή δεξαμενές. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα δοχεία περιείχαν νερό προσομοιάζοντας την βροχόπτωση της περιοχής μελέτης. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν δύο πλαστικές φιάλες χωρητικότητας περίπου 20 λίτρων, οι οποίες στην συνέχεια σφραγίστηκαν με πλαστικούς φελλούς στους οποίους τοποθετήθηκαν δύο εύκαμπτα σιφώνια όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3: Δοχείο Mariotte

## 5.3 Πειραματική διαδικασία

### 5.3.1 Βροχόπτωση

Η προσομοίωση του πειράματός μας, έθετε ως απαραίτητη προϋπόθεση την «δημιουργία» βροχόπτωσης ως βασικό συστατικό για την δημιουργία των στραγγισμάτων. Για την δημιουργία στραγγισμάτων σε μικρότερο χρονικό διάστημα από το αναμενόμενο, τα απορρίμματα έπρεπε να κορεστούν και στη συνέχεια να βρεθούν σε κατάσταση πλήρους κατάκλισης. Η κατάκλιση που εφαρμόστηκε αντιστοιχεί στη μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής από το 1951 έως το 2008, με βάση τα επίσημα δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.

Πίνακας 5: Μέσα μηνιαία υδρολογικά δεδομένα Ασπροπύργου (EMY, 2011)

Μήνας	Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)
Ιανουάριος	53,5
Φεβρουάριος	38,4
Μάρτιος	39,7
Απρίλιος	27,2
Μάιος	21,1
Ιούνιος	10,8
Ιούλιος	11,8
Αύγουστος	7,7
Σεπτέμβριος	17,7
Οκτώβριος	47,9
Νοέμβριος	66,7
Δεκέμβριος	64,2
<b>Σύνολο</b>	<b>406,8</b>

### 5.3.2 Ποσότητα παραγόμενων στραγγισμάτων

Τα ελληνικά απορρίμματα, λόγω τα μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε οργανικά εύκολα βιοαποδομήσιμα υλικά, εμφανίζουν υψηλές τιμές υγρασίας, οι οποίες κατά κανόνα είναι υψηλότερες σε σχέση με τις τιμές που δίνονται από τη βιβλιογραφία και οι οποίες αγγίζουν το 20 – 25% (Rees, 1980). Παρόλα αυτά οι τιμές υγρασίας των δειγμάτων εδώ ήταν χαμηλότερες, της τάξης του 10,5%, τιμή που πιθανώς οφείλεται τόσο στον βαθμό αποδόμησης των απορριμμάτων όσο και στην εποχή δειγματοληψίας.

Η εξάτμιση από τα λυσίμετρα αυτής της διαμέτρου (20 cm) ουσιαστικά είναι αμελητέα. Για την αποφυγή όμως τυχόν διάχυσης οσμών στο χώρο του εργαστηρίου, τα λυσίμετρα όπως προαναφέρθηκε καλύφθηκαν, μηδενίζοντας ακόμα και τα ελάχιστα ποσά εξάτμισης. Συνεπώς, η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου για τη περίπτωση των λυσιμέτρων του πειράματος παίρνει την μορφή:

$$P = L + DE$$

όπου,

$P$  = η βροχόπτωση

$L$  = ο όγκος των παραγόμενων στραγγισμάτων

$DE$  = η κατακράτηση νερού

Μετρώντας επομένως σε τακτική βάση την παραγωγή στραγγισμάτων, μπορεί να εκτιμηθεί η ικανότητα κατακράτησης του νερού από τα απορρίμματα, δηλαδή η υδατοϊκανότητα, αφού είναι γνωστή η ποσότητα του νερού που προστίθεται (βροχόπτωση) καθώς και η αρχική περιεχόμενη υγρασία.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως προκειμένου να έχουμε μια πρώτη εικόνα για τη ταχύτητα ροής του νερού ( $ks$ ) μέσα στο δείγμα των απορριμμάτων, εκτελέστηκε σε μικρογραφία το σχεδιαζόμενο πείραμα σε την χρήση μικρότερου δείγματος απορριμμάτων. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος μεταβλητού φορτίου (Αργυροκαστρίτης, 2006). Σύμφωνα με τα

αποτελέσματα των μετρήσεων από το περατόμετρο μεταβλητού φορτίου η αναμενόμενη ταχύτητα ροής μέσα στα απορρίμματα αντιστοιχεί σε 0,02cm/min ή 0,31m/day.



Εικόνα 14: Περατόμετρο μεταβλητού φορτίου

Ο ποσοτικός, αλλά και ο ποιοτικός, προσδιορισμός των στραγγισμάτων προϋποθέτει, όπως ειπώθηκε, την συχνή δειγματοληψία. Έτσι λοιπόν τα στραγγίσματα που παράγονταν, συλλέγονταν με την βοήθεια ενός μικρού ταψιού που είχε τοποθετηθεί στην βάση κάθε λυσίμετρου. Επιπλέον κάθε φορά που λαμβάνονταν δείγμα από τα στραγγίσματα, αυτό ογκομετρούνταν και στη συνέχεια αποθηκεύονταν στο ψυγείο στους 4° C για την περαιτέρω ποιοτική του αξιολόγηση.



Εικόνα 15: Δειγματοληψία

# Αποτελέσματα – Συζήτηση

## 6.1 Εισαγωγή

Σκοπός των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν ήταν να καταγραφεί η διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας των στραγγισμάτων βάσει των ελεγχόμενων συνθηκών που επιτρέπει η χρήση των λυσιμέτρων.

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν εξέτασαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων, το οργανικό περιεχόμενο, τα ανόργανα συστατικά καθώς επίσης και τα βαρέα μέταλλα που περιέχονταν σε αυτά.

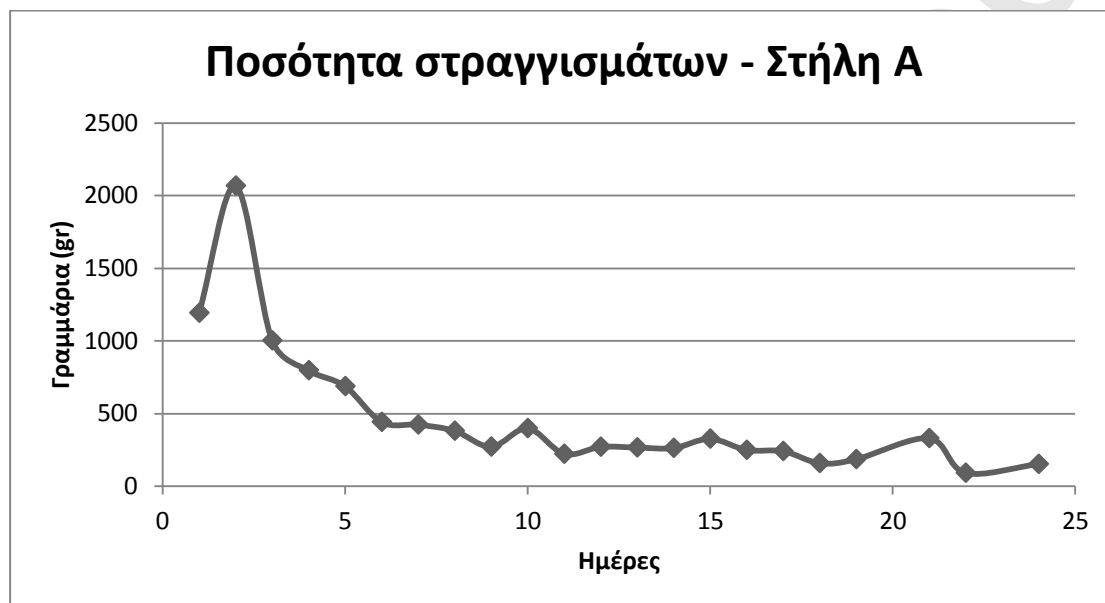
Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο οι ποιοτικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και στο Εργαστήριο Γενικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου από τον Νοέμβριο 2011 έως τον Φεβρουάριο 2012.

## 6.2 Ποσότητα παραγόμενων στραγγισμάτων

Η ποσότητα των στραγγισμάτων είναι άμεσα συνυφασμένη με το ποσό της βροχόπτωσης που μελετάται. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπως ειπώθηκε, τα δύο λυσίμετρα έπρεπε να κορεστούν για να μπορέσουν να παράγουν στραγγίσματα άμεσα.

Η παραγωγή στραγγισμάτων ξεκίνησε αμέσως μόλις τα δύο λυσίμετρα κορέστηκαν, δηλαδή σε 5 ώρες και 20 λεπτά και σε 5 ώρες και 14 λεπτά αντίστοιχα από την έναρξη της «βροχόπτωσης» σε κάθε λυσίμετρο. Η

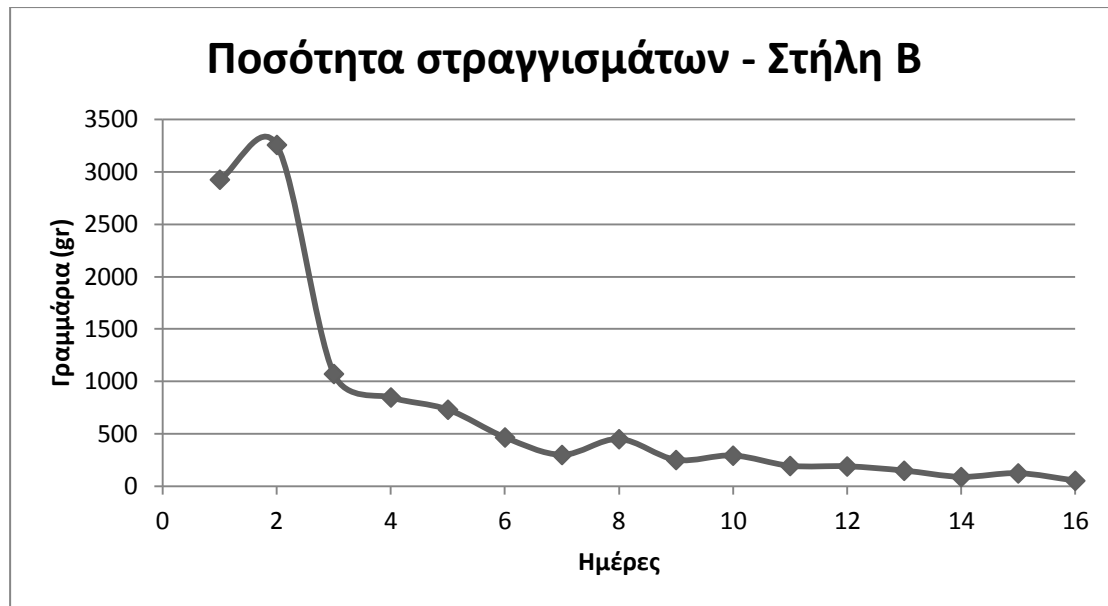
παραγωγή συνεχίστηκε με αυξανόμενο ρυθμό έως ότου άγγιξε την μέγιστη παραγωγή την δεύτερη μέρα της διαδικασίας. Αξίζει να σημειωθεί εδώ πως η μέγιστη παραγωγή στραγγισμάτων πραγματοποιήθηκε μία μέρα μετά την μέγιστη προστιθέμενη βροχόπτωση.



Γράφημα 1: Ποσότητα στραγγισμάτων λυσιμέτρου Α

Στη συνέχεια, και καθώς τα απορρίμματα των δύο λυσιμέτρων κατακρατούσαν ποσότητα νερού, και άρα πλησίαζαν την μέγιστη υδατοϊκανότητά τους, ο ρυθμός παραγωγής μειωνόταν πλησιάζοντας αντίστοιχα τον ρυθμό προσθήκης νερού.



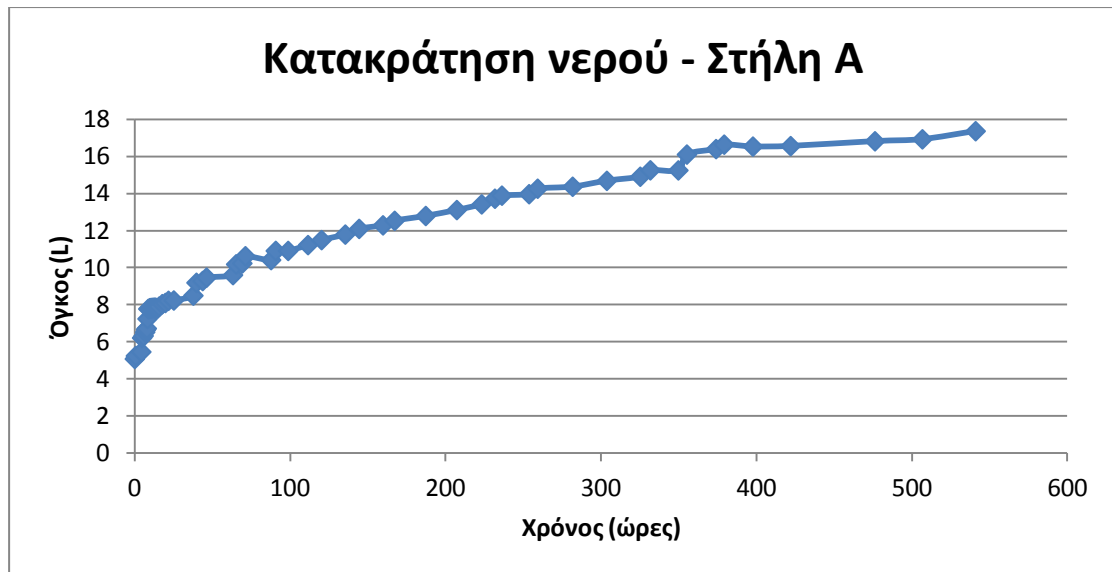


Γράφημα 2: Ποσότητα στραγγισμάτων λυσίμετρου Β

Η παραπάνω κατάσταση είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί προσδιορίζει την έναρξη παραγωγής των στραγγισμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, αλλά και την περαιτέρω εξέλιξή τους.

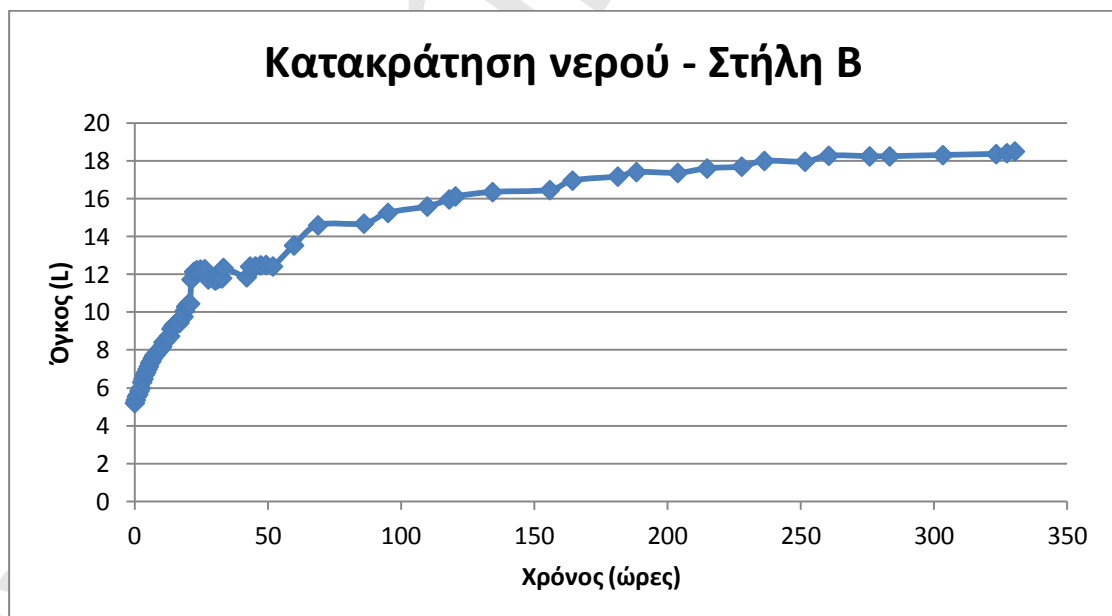
Αναφορικά με τον συνολικό όγκο των παραγόμενων στραγγισμάτων, αυτός αυξάνει όπως είναι αναμενόμενο, με την πάροδο του χρόνου. Με το πέρας των μετρήσεων, ο συνολικός όγκος των παραγόμενων στραγγισμάτων αντιστοιχούσε στο 60% για το λυσίμετρο Α, και στο 61,5% για το λυσίμετρο Β του συνολικού όγκου νερού που προστέθηκε σε αυτά, δηλαδή της βροχόπτωσης.

Όσον αφορά την κατακράτηση του νερού από τα απορρίμματα αυτή αρχικά αυξανόταν φτάνοντας την μέγιστη τιμή στο λυσίμετρο Α στο τέλος της διαδικασίας τείνοντας αργότερα προς την σταθεροποίηση.



Γράφημα 3: Κατακράτηση νερού λυσίμετρου Α

Αντίστοιχα για το λυσίμετρο Β η μέγιστη τιμή κατακράτησης παρουσιάζεται λίγο πριν το τέλος της διαδικασίας, αλλά σταθεροποιείται πριν από την λήξη της. Θα πρέπει να τονιστεί εδώ πως το μέγιστο ποσοστό νερού (υγρασία) που συγκρατούν τα απορρίμματα εξαρτάται άμεσα από την πίεση που ασκείται από τα υποκείμενα στρώματα και το βαθμό αποσύνθεσης αυτών.



Γράφημα 4: Κατακράτηση νερού λυσίμετρου Β

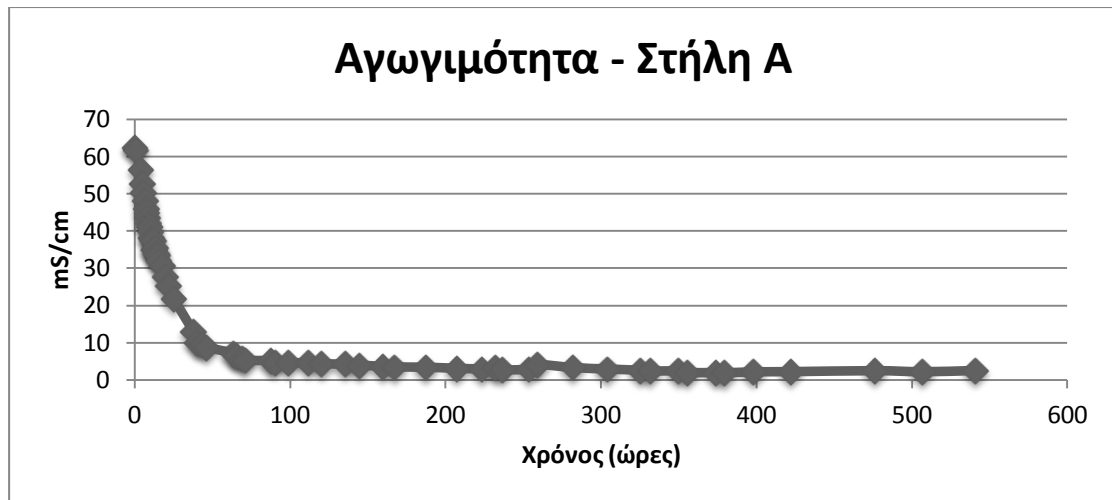
Σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο λυσίμετρων παρουσιάζεται στον χρόνο που χρειάστηκε για να περάσει όλο το ποσό της βροχόπτωσης από τα απορρίμματα. Αν και ο όγκος των απορριμμάτων ήταν σχεδόν ίδιος, το λυσίμετρο A χρειάστηκε σχεδόν διπλάσιο χρόνο από το λυσίμετρο B για να δώσει την αντίστοιχη ποσότητα στραγγισμάτων. Η διαφοροποίηση αυτή πιθανώς οφείλεται στην όποια διαφορά σύνθεσης των απορριμμάτων υπάρχει στα δύο λυσίμετρα και κατ' επέκταση στην διαφορά υδατοϊκανότητας που μπορεί να προκύψει λόγω αυτού. Επιπλέον το διαφορετικό πορώδες των δύο όγκων, αποτελεί έναν πιθανό δεύτερο παράγοντα της παραπάνω διαφοροποίησης.

### **6.3 Ποιότητα παραγόμενων στραγγισμάτων**

#### **6.3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά**

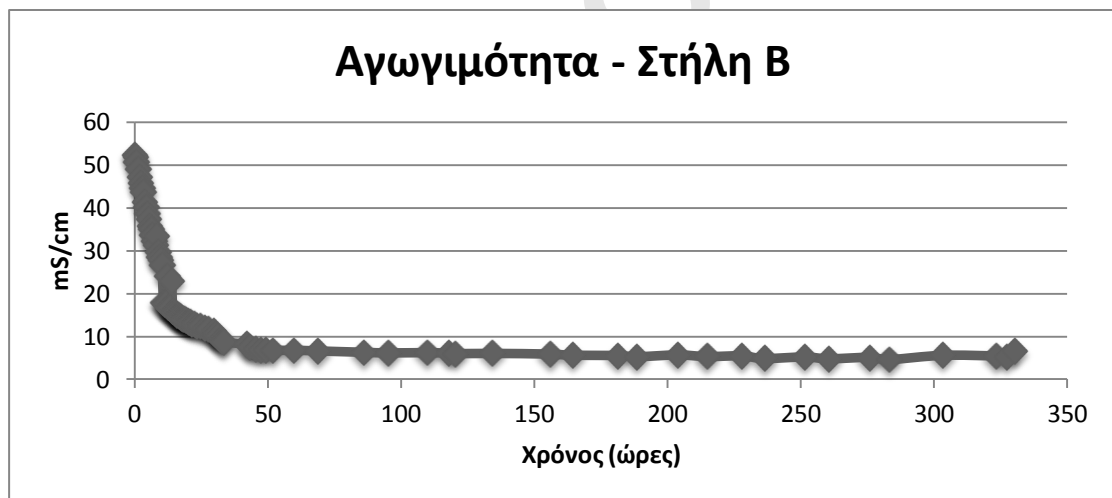
Από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων εξετάστηκαν η αγωγιμότητα, το pH και τα στερεά.

Ξεκινώντας με την αγωγιμότητα, αυτή μετρήθηκε αρχικά σε πολύ υψηλά επίπεδα και στα δύο λυσίμετρα, ακολουθώντας πτωτική πορεία, τείνοντας στη συνέχεια στην σταθεροποίηση μέχρι το τέλος της διαδικασίας. Είναι ενδεικτικό πάντως ότι οι πρώτες μετρήσεις έδωσαν 62,4 mS/cm για το λυσίμετρο A και 52,5 mS/cm για το λυσίμετρο B, αποτελέσματα που θα μπορούσαν να συγκριθούν με την αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού.



Γράφημα 5: Αγωγιμότητα λυσίμετρου Α

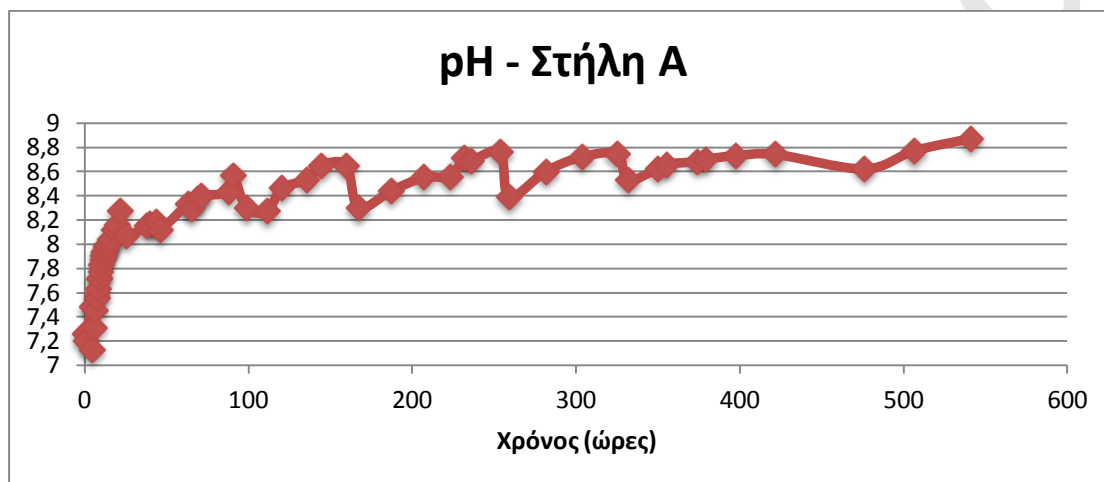
Εν τέλει, και μετά από περίπου 407 χιλιοστά βροχόπτωσης, η αγωγιμότητα έπεσε στα 2,44 και 6,6 mS/cm για το λυσίμετρο Α και Β αντίστοιχα.



Γράφημα 6: Αγωγιμότητα λυσίμετρου Β

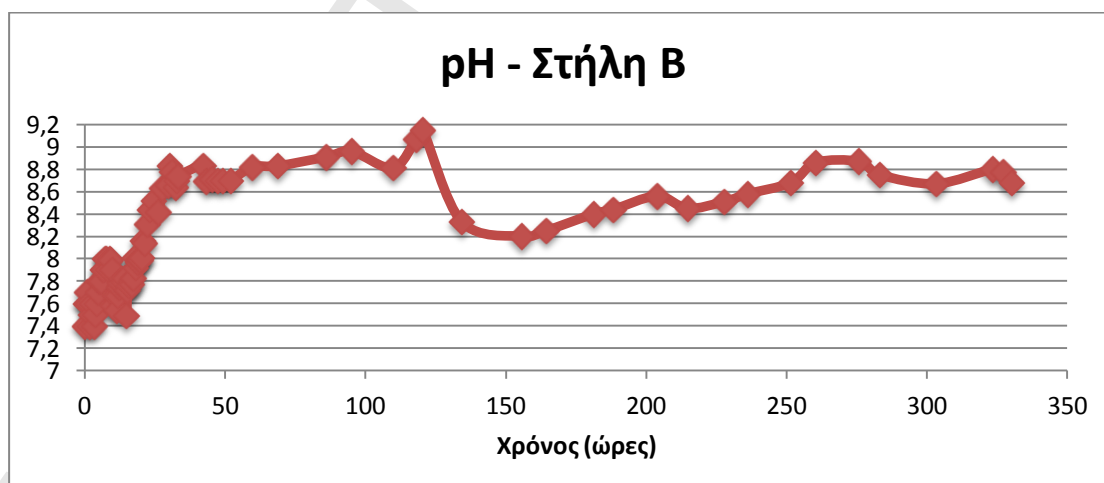
Η ύπαρξη παρόλα αυτά τόσο υψηλών μετρήσεων της αγωγιμότητας δικαιολογείται απόλυτα από την έντονη παρουσία ευκίνητων ανιόντων και κατιόντων πολλών ρυπαντικών ουσιών που περιέχονται στα στραγγίσματα.

Η τιμή του pH, που αποτελεί ενδεικτική παράμετρο της φάσης αποδόμησης, αντίθετα με την αγωγιμότητα, είχε αυξητική πορεία και στα δύο λυσίμετρα με αρχικές τιμές που κυμάνθηκαν μεταξύ 7,2 – 7,4. Καθώς η βροχοπτώση «ξέπλενε» τα απορρίμματα οι τιμές αυξάνονταν αγγίζοντας στο τέλος τιμές της τάξης του 8,7 – 8,8.



Γράφημα 7: pH λυσίμετρου Α

Μια μικρή διαφοροποίηση προέκυψε μόνο στο λυσίμετρο Β, όπου το pH ενώ είχε φτάσει στο 9,15 έπεσε απότομα στο 8,33, πιθανόν γιατί παρέσυρε κάποιον όξινο παράγοντα.



Γράφημα 8: pH λυσίμετρου Β

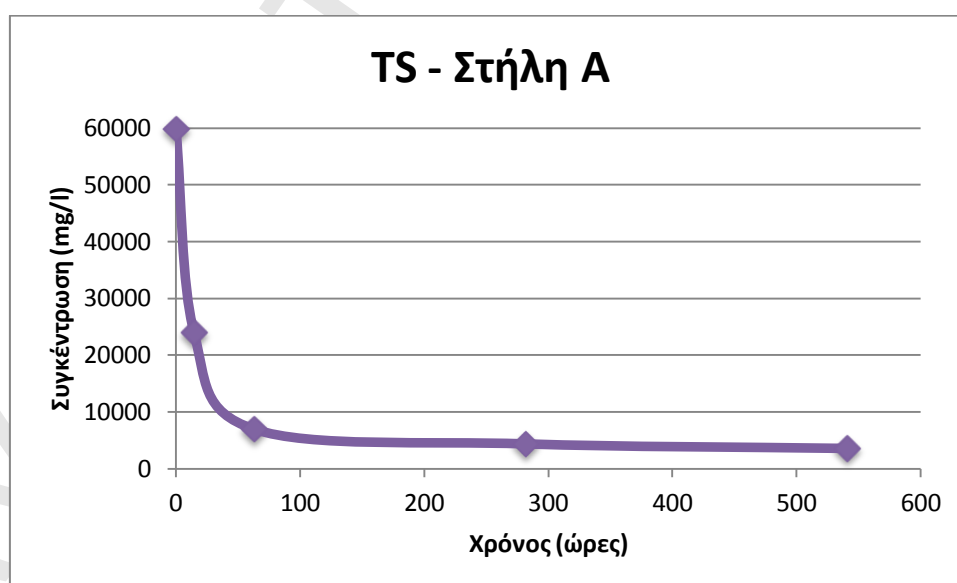
Η αύξηση του pH είναι δείκτης της παραγωγής μεθανίου, άρα βλέπουμε πως το pH δείχνει την μετάβαση της αποικοδόμησης από την φάση της οξεογένεσης στην φάση της μεθανογένεσης. Βάσει των αποτελεσμάτων, και συγκρίνοντάς τα με αυτά άλλων ερευνητών (Ehrig, 1983), βλέπουμε ότι η παρουσία βαρέων μετάλλων δεν φαίνεται να έχει επηρεάσει σημαντικά, ίσως και καθόλου, τα ευαίσθητα μεθανοπαραγωγά βακτήρια.

Από τα στερεά, μετρήθηκαν τόσο τα ολικά (TS) όσο και τα ολικά αιωρούμενα (TSS).

Οι συγκεντρώσεις των ολικών στερεών ξεκίνησαν από τα 59840 mg/l για το πρώτο λυσίμετρο και από τα 52740 mg/l για το δεύτερο λυσίμετρο. Στην συνέχεια ακολούθησαν και τα δύο αρκετά γρήγορη πτωτική πορεία, όπως φαίνεται και από τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις TS λυσίμετρου A

Χρόνος (h)	TS A (mg/l)
0	59840
14,7	23900
63,2	6940
281,7	4360
540,9	3560

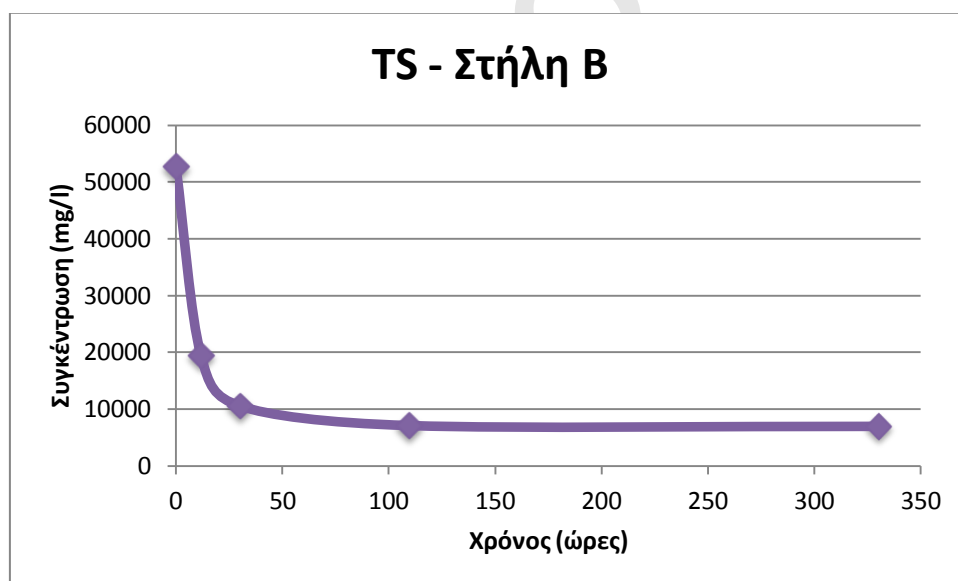


Γράφημα 9: Συγκεντρώσεις TS λυσίμετρου A

Μια μικρή διαφοροποίηση φαίνεται μόνο στο λυσίμετρο Β, καθώς οι συγκεντρώσεις των ολικών στερεών εδώ ξεκινούν μεν από χαμηλότερα επίπεδα, αλλά σταθεροποιούνται περίπου στα 7000 mg/l, εν αντιθέσει με το λυσίμετρο Α που καταλήγουν στα 3560 mg/l, και στον μισό σχεδόν χρόνο.

Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις TS λυσίμετρου Β

Χρόνος (h)	TS Β (mg/l)
0	52740
11,75	19460
30,25	10500
109,75	7060
330,25	6920



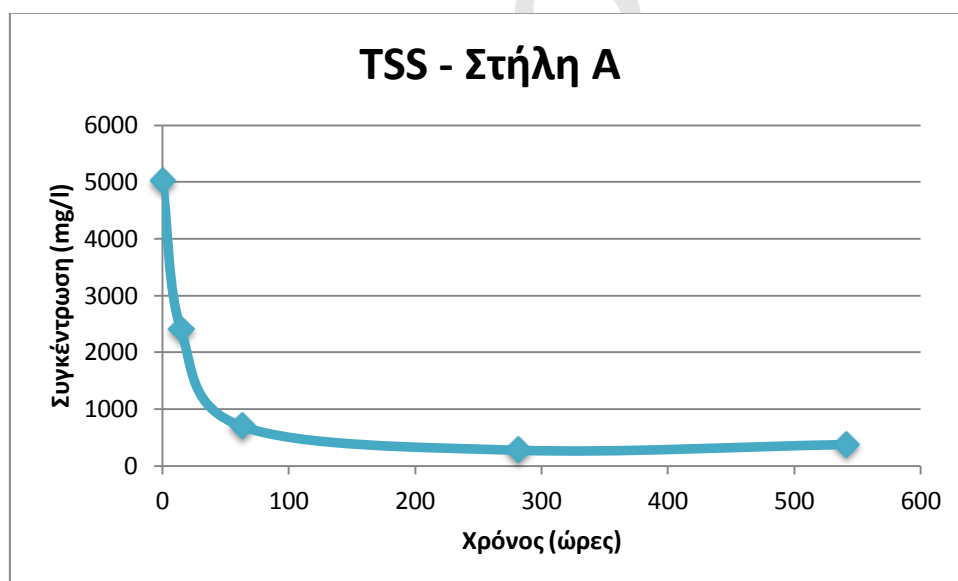
Γράφημα 10: Συγκεντρώσεις TS λυσίμετρου Β

Και στις δύο περιπτώσεις πάντως η μείωση των ολικών στερεών είναι αποτέλεσμα τόσο της αποικοδόμησης που υφίστανται τα απορρίμματα κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, όσο και της συνεχούς βροχόπτωσης που εφαρμόζεται.

Οι συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών κυμάνθηκαν, όπως ήταν αναμενόμενο, σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα, και συγκεκριμένα ξεκίνησαν από 5020 mg/l στο λυσίμετρο Α και 4740 mg/l στο λυσίμετρο Β. Αντίστοιχα στις τελευταίες μετρήσεις οι συγκεντρώσεις ήταν 380 και 760 mg/l.

Πίνακας 8: Συγκεντρώσεις TSS λυσίμετρου Α

Χρόνος (h)	TSS A (mg/l)
0	5020
14,67	2400
63,17	700
281,67	280
540,92	380



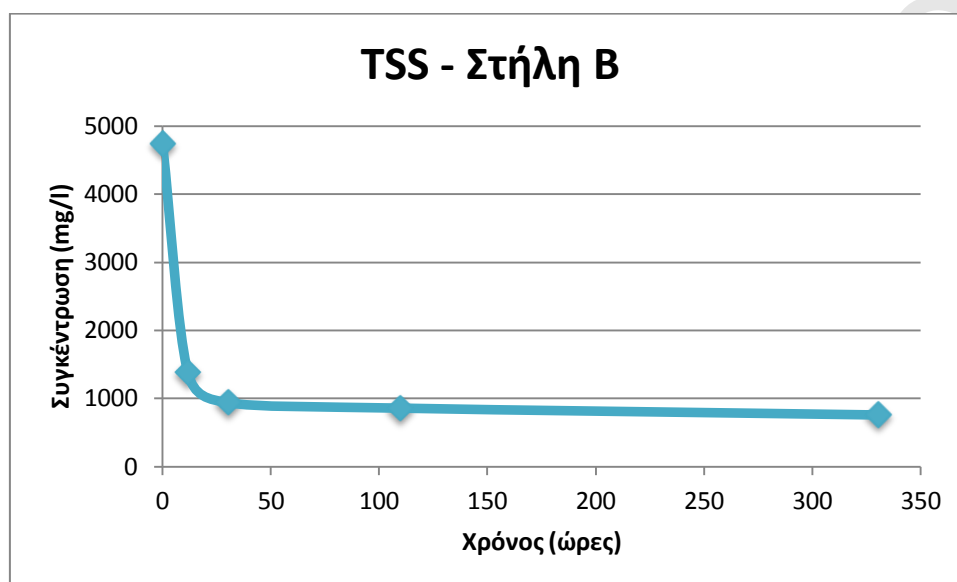
Γράφημα 11: Συγκεντρώσεις TSS λυσίμετρου Α

Πίνακας 9: Συγκεντρώσεις TSS λυσίμετρου Β

Χρόνος (h)	TSS B (mg/l)
0	4740
11,75	1380



30,25	940
109,75	860
330,25	760



Γράφημα 12: Συγκεντρώσεις TSS λυσίμετρου Β

Οι αρχικές τιμές που παρατηρούνται εδώ είναι αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες της βιβλιογραφίας, γεγονός που οφείλεται στο μεγαλύτερο ποσοστό οργανικών απορριμμάτων στην Ελλάδα. Μια μικρή διαφοροποίηση φαίνεται και εδώ στο λυσίμετρο Β, ως προς την τελική συγκέντρωση. Η διαφορά αυτή πιθανόν οφείλεται στο «ξέπλυμα» των απορριμμάτων από την βροχόπτωση που εφαρμόζεται.

### 6.3.2 Οργανικές ενώσεις

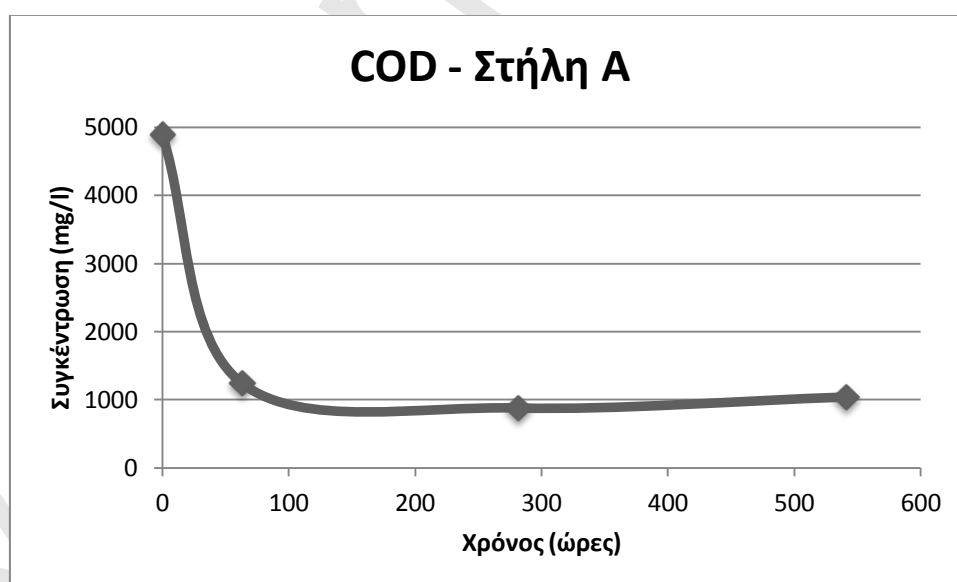
Η οργανική ύλη είναι από τους κυρίαρχους ρυπαντικούς παράγοντες των στραγγισμάτων που προέρχονται από χώρους απόθεσης οικιακών απορριμμάτων. Για να έχουμε λοιπόν μια πλήρη εικόνα, εξετάσαμε την διαχρονική εξέλιξη του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) και του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC).

Το COD χρησιμοποιείται και αυτό συχνά, όπως το pH, για τον προσδιορισμό του βαθμού αποδόμησης των απορριμμάτων. Γενικά κατά την αρχική φάση της μεθανογένεσης όπου η περιεκτικότητα του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) είναι μικρή, οι συγκεντρώσεις του COD και του TOC είναι πολύ υψηλές. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του CH<sub>4</sub> οι συγκεντρώσεις του COD και του TOC μειώνονται, καθώς η πλειονότητα της οργανικής ύλης μετατρέπεται σε CH<sub>4</sub> κατά την περίοδο αυτή.

Ξεκινώντας από το COD, βλέπουμε στο γράφημα που ακολουθεί πως η αρχική συγκέντρωση που καταγράφεται είναι 4890 mg/l. Στην συνέχεια ακολουθεί πτωτική πορεία, ενώ τελικά η συγκέντρωση αυξάνεται ελάχιστα αγγίζοντας τα 1041 mg/l.

Πίνακας 10: Συγκεντρώσεις COD λυσίμετρου A

Χρόνος (h)	COD A (mg/l)
0	4890
63,17	1240
281,67	880
540,92	1041



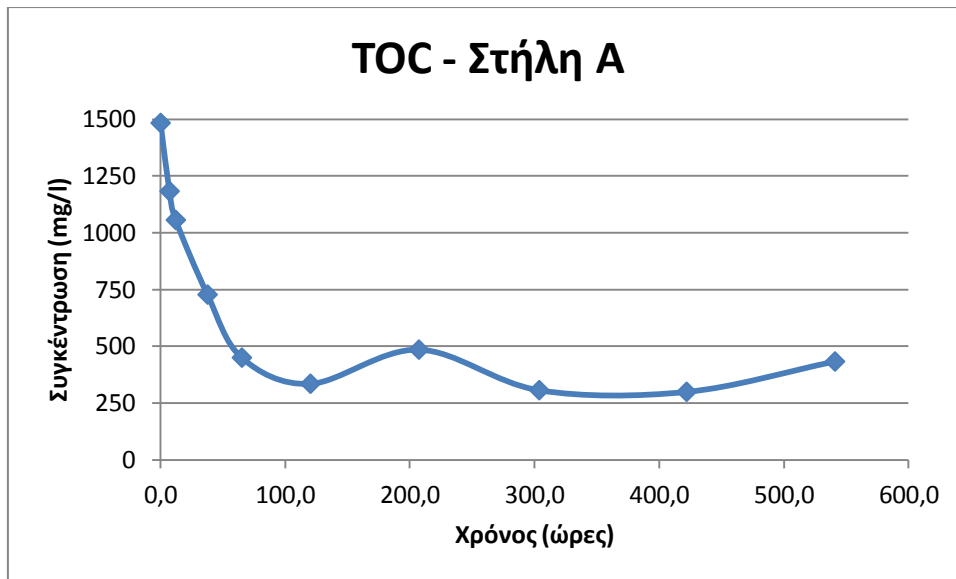
Γράφημα 13: Συγκεντρώσεις COD λυσίμετρου A

Αξίζει να σημειωθεί πως η αρχική συγκέντρωση που καταγράφεται είναι αρκετά χαμηλή, όμως δικαιολογείται απόλυτα από το γεγονός ότι το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε είχε υποστεί αποδόμηση σε σημαντικό βαθμό. Επίσης η πτωτική πορεία που καταγράφεται είναι αποτέλεσμα, όχι μόνο της αποδόμησης που εξακολουθεί να υφίσταται η απορριμματική μάζα, αλλά και της βροχόπτωσης που δέχεται. Όσον αφορά την βροχόπτωση θα πρέπει να επισημανθεί, πως βάσει της βιβλιογραφίας (Μποσδογιάννη, 1997) η διακύμανση των συγκεντρώσεων είναι ανεξάρτητη της προστιθέμενης ποσότητας νερού στα λυσίμετρα, γεγονός που υποδηλώνει πως η βιολογική αποδόμηση υπερτερεί έναντι της αραίωσης. Παρόλα αυτά η προσθήκη νερού με την μορφή κατάκλισης, όπως στην περίπτωση μας, δίνει στην αραίωση συγκριτικό πλεονέκτημα για την περαιτέρω διαμόρφωση των συγκεντρώσεων.

Ο TOC, όπως αναμενόταν, βρίσκεται σε πτωτική πορεία και στα δύο λυσίμετρα. Αξίζει να σημειωθεί πως η πορεία των δύο λυσιμέτρων είναι παρόμοια, αν και τα μεγέθη διαφέρουν καθώς οι αρχικές συγκεντρώσεις είναι 1484 mg/l και 2446 mg/l αντίστοιχα. Η πτώση των συγκεντρώσεων είναι εντυπωσιακή αφού σε 100 και 50 ώρες αντίστοιχα από την έναρξη του πειράματος, έχουν σχεδόν υποτετραπλασιαστεί.

Πίνακας 11: Συγκεντρώσεις TOC λυσίμετρου Α

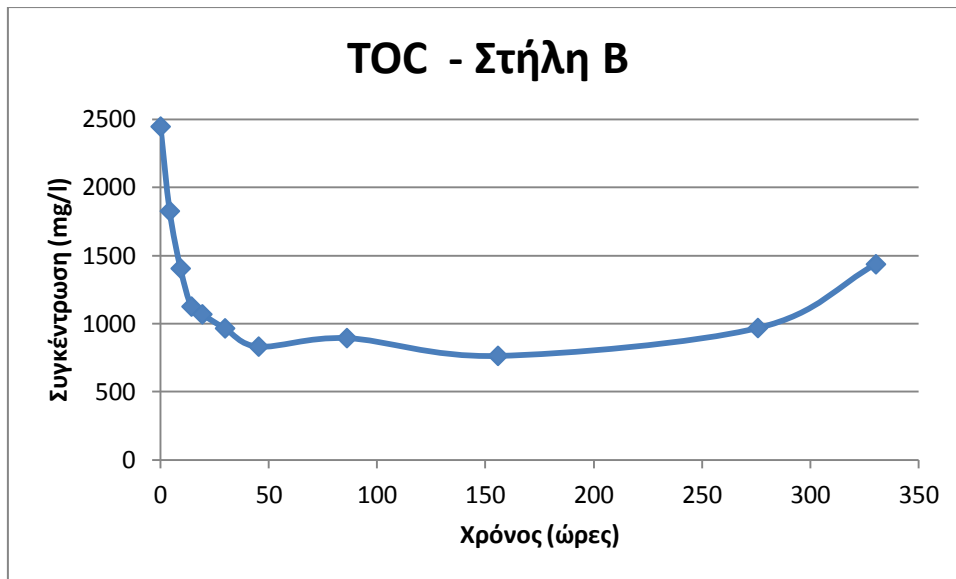
Χρόνος (h)	TOC A (mg/l)
0,0	1484
7,2	1183,5
12,2	1056,5
37,7	728
65,2	450,45
120,2	335,35
207,2	485,65
303,7	307,2
421,9	299,85
540,9	433,4



Γράφημα 14: Συγκεντρώσεις TOC λυσίμετρου Α

Πίνακας 12: Συγκεντρώσεις TOC λυσίμετρου Β

Χρόνος (h)	TOC B (mg/l)
0	2446,5
4,25	1826
9,25	1405
14,25	1125,5
19,25	1068,5
29,75	965,5
45,25	831,5
86	894
155,75	763,5
275,75	968
330,25	1436



Γράφημα 15: Συγκεντρώσεις TOC λυσίμετρου Β

Παρόλα αυτά, στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζεται μικρή αύξηση του TOC και στα δύο λυσίμετρα. Η αύξηση αυτή οφείλεται πιθανόν στην διείδυση αέρα στην μάζα των απορριμμάτων. Η διείδυση αυτή έχει ως επακόλουθο την αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά την αντίδραση της οξειδωσης του CH<sub>4</sub> (Kjeldsen et al., 2002), άρα και κατ' επέκταση την αύξηση του TOC.

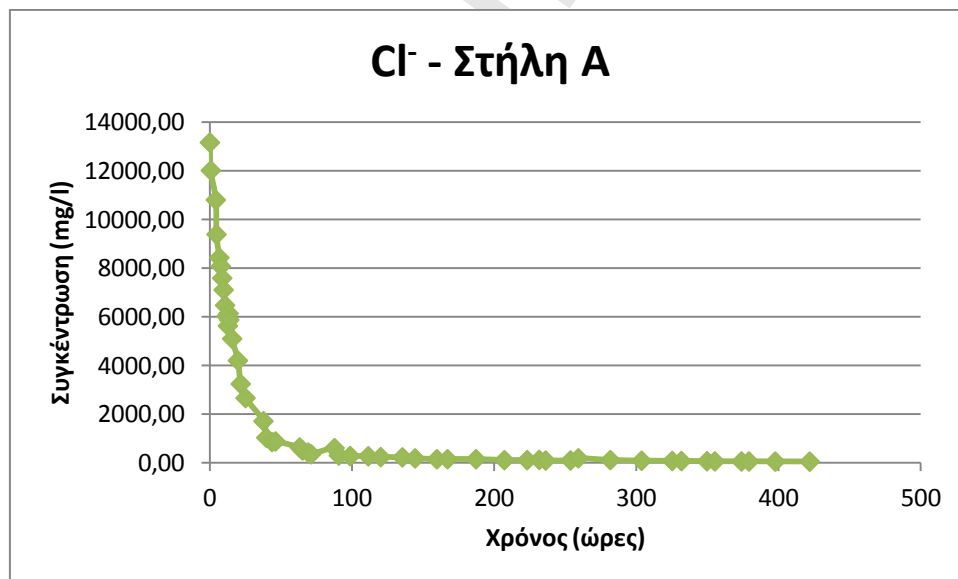
### 6.3.3 Ανόργανες ουσίες

Οι ανόργανες ουσίες αποτελούν την πλειοψηφία των ρυπαντικών ουσιών που περιέχονται στα απορρίμματα. Η τοξικότητά τους αλλά και οι ρυπαντικές τους ιδιότητες μπορεί να διαφοροποιούνται αρκετά, γι' αυτό και ελέγχονται συστηματικά. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι καθώς η αποδόμηση της οργανικής ύλης προχωρά, βελτιώνεται η κατανομή του νερού στα απορρίμματα με αποτέλεσμα η διαλυτότητα των ουσιών αυτών τελικά να αυξάνεται.

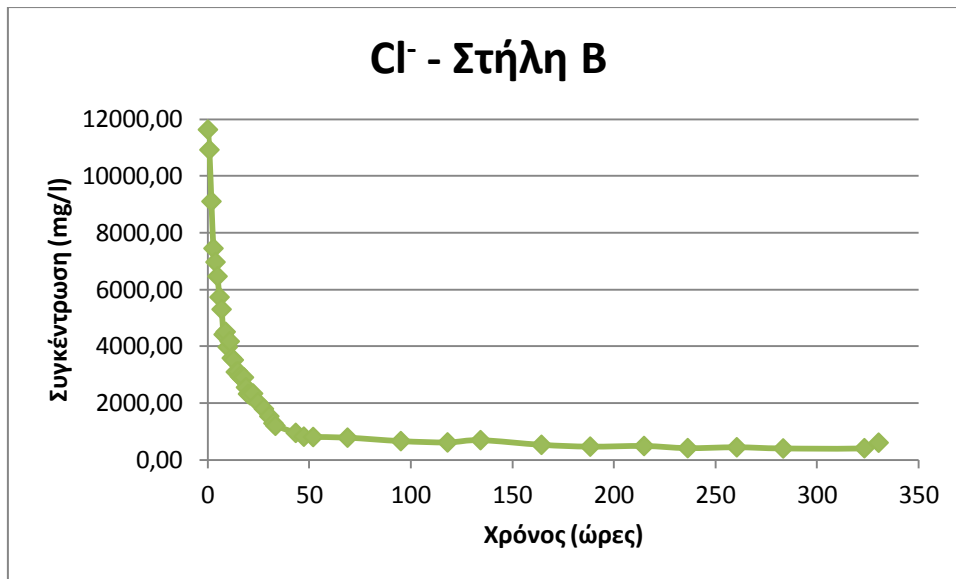
Εκτός από τις ουσίες που αναφέρονται παρακάτω, τα στραγγίσματα εξετάστηκαν ακόμη για νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και φωσφορικά (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) ιόντα, παρόλα

αυτά δεν ανιχνεύτηκε συγκέντρωση των δύο αυτών παραγόντων στα δείγματα που ελήφθησαν κατά την πειραματική διαδικασία.

Πρώτη ουσία που εξετάστηκε ήταν τα χλωριόντα ( $\text{Cl}^-$ ). Τα χλωριόντα είναι διατηρήσιμος ρύπος και δεν επηρεάζονται από τις βιοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους ΧΥΤΑ ή από τις φυσικές απορρυπαντικές αντιδράσεις στις οποίες εμπλέκονται τα στραγγίσματα κατά την διεύθυνσή τους στην ακόρεστη ζώνη. Βάσει αυτού τα χλωριόντα καθίστανται μια σοβαρή απειλή για τον υδροφόρο της περιοχής, αν εισχωρήσουν σε αυτόν, αφού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα. Τα επίπεδα που καταγράφηκαν αρχικά στα δύο λυσίμετρα ήταν πολύ υψηλά, 13160 και 11637 mg/l αντίστοιχα, γεγονός που δικαιολογείται από το υψηλό ποσοστό οργανικού κλάσματος στα απόβλητα, αλλά και από το υψηλό ποσοστό υγρασίας που επικρατεί στην απορριμματική μάζα και η οποία δημιουργεί ιδανικές συνθήκες για την απελευθέρωση του ρύπου (El – Fadel et al., 2002). Στην πορεία οι συγκεντρώσεις μειώνονται δραστικά μέχρι το τέλος της διαδικασίας, αγγίζοντας τα 43 και 606 mg/l αντίστοιχα.



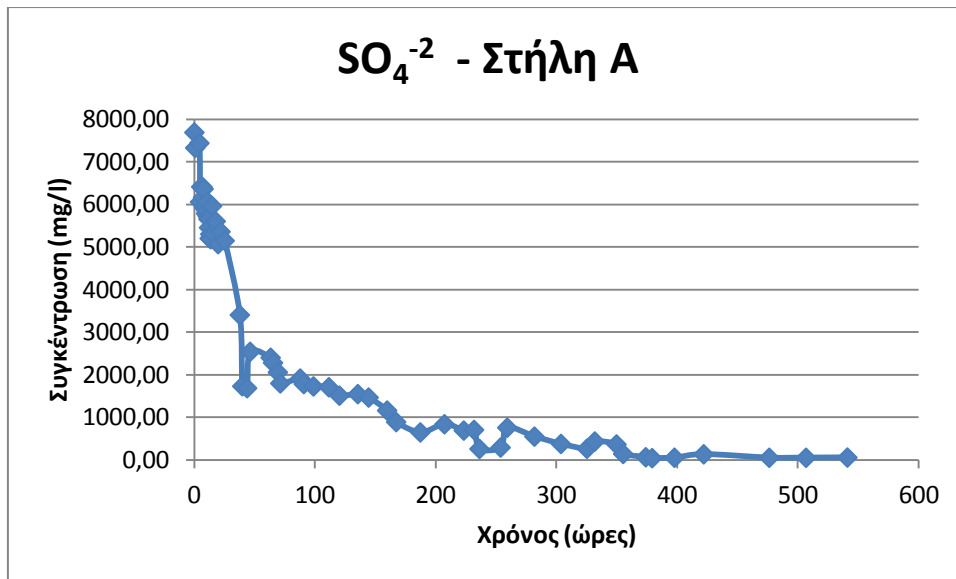
Γράφημα 16: Συγκεντρώσεις χλωριόντων λυσίμετρου Α



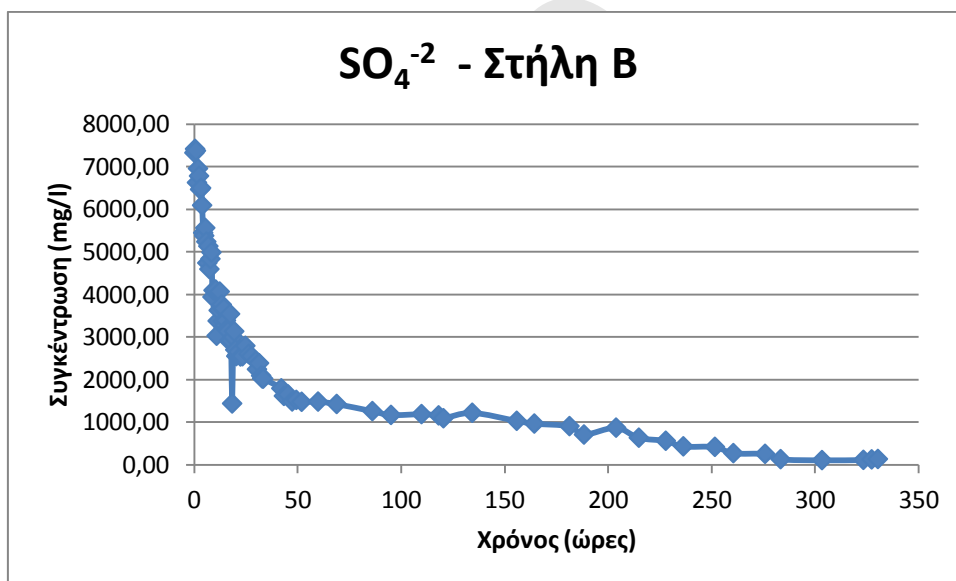
Γράφημα 17: Συγκεντρώσεις χλωριόντων λυσίμετρου Β

Τα αποτελέσματα αυτά διαφοροποιούνται σε σχέση με την βιβλιογραφία βάσει της οποίας η συγκέντρωση των χλωριόντων, με την αύξηση του pH, θα έπρεπε να αυξάνεται ή να παραμένει σταθερή. Η μείωση που παρατηρούμε εδώ είναι αποκλειστικά αποτέλεσμα του «ξεπλύματος» των απορριμμάτων με αρκετά μεγάλη ποσότητα νερού, που προσομοιώνει την βροχόπτωση της περιοχής μελέτης.

Η επόμενη ανόργανη ουσία που μετρήθηκε ήταν τα θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Αναφορικά με την διαχρονική εξέλιξη της συγκέντρωσής τους και στα δύο λυσίμετρα, αυτή ήταν πτωτική από την αρχή της πειραματικής διαδικασίας. Αξιοσημείωτο είναι πως οι αρχικές συγκεντρώσεις και των δύο λυσιμέτρων ήταν παρόμοιες (7690 και 7328 mg/l αντίστοιχα), αλλά το λυσίμετρο Α παρουσίασε κάποιες αυξομειώσεις στις συγκεντρώσεις με το πέρασμα του χρόνου, ενώ η πορεία των συγκεντρώσεων του λυσίμετρου Β ήταν ομαλότερη. Εν τέλει οι τελικές συγκεντρώσεις έφτασαν τα 55 και τα 135 mg/l για τα δύο λυσίμετρα αντίστοιχα.



Γράφημα 18: Συγκεντρώσεις θειικών στο λυσίμετρο Α

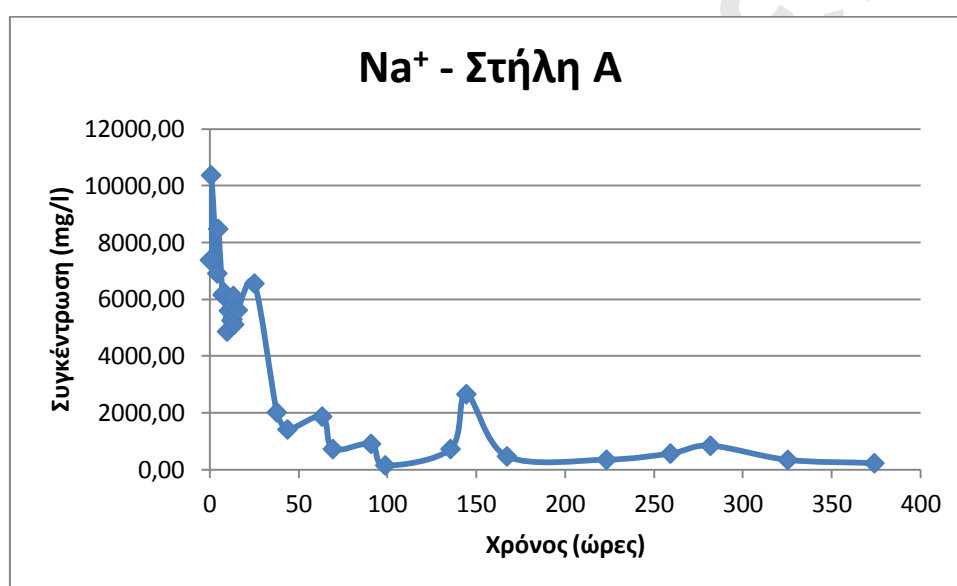


Γράφημα 19: Συγκεντρώσεις θειικών στο λυσίμετρο Β

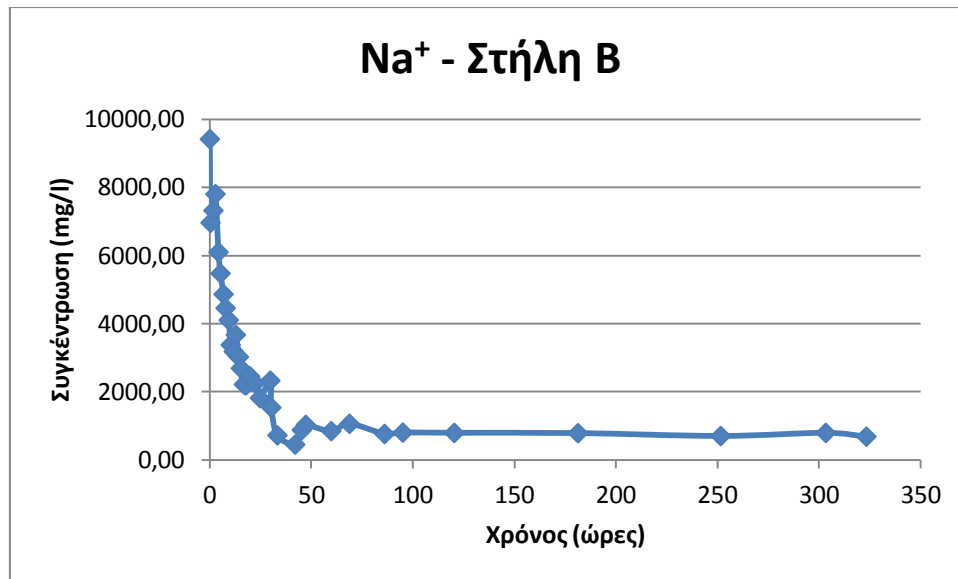
Η μείωση των συγκεντρώσεων των θειικών, κατά την μεθανογενή αυτή φάση, είναι απόλυτα συμβατή με τα βιβλιογραφικά δεδομένα και οφείλεται στην μικροβιακή μείωση των θειικών σε θειώδη, στην εξάντληση αλλά και στην αύξηση του pH, η οποία μειώνει την διαλυτότητα τους στα στραγγίσματα.



Επόμενη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε ήταν αυτή του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ). Όπως ειπώθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο το νάτριο είναι βασικό συστατικό τα οργανικής ύλης, για αυτό και οι συγκεντρώσεις αναμένονται μεγάλες. Έχει βρεθεί ότι υπάρχει μια ομοιότητα μεταξύ της συγκέντρωσης του νατρίου με αυτή των χλωριόντων (Bilgili et al., 2007). Έτσι και εδώ οι τιμές του νατρίου ξεκινούν από πολύ υψηλά επίπεδα, 7377 και 9418 mg/l στα δύο λυσίμετρα αντίστοιχα. Σταδιακά οι συγκεντρώσεις και στα δύο λυσίμετρα μειώνονται φτάνοντας το λυσίμετρο A στα 222 mg/l και για το λυσίμετρο B στα 683 mg/l.



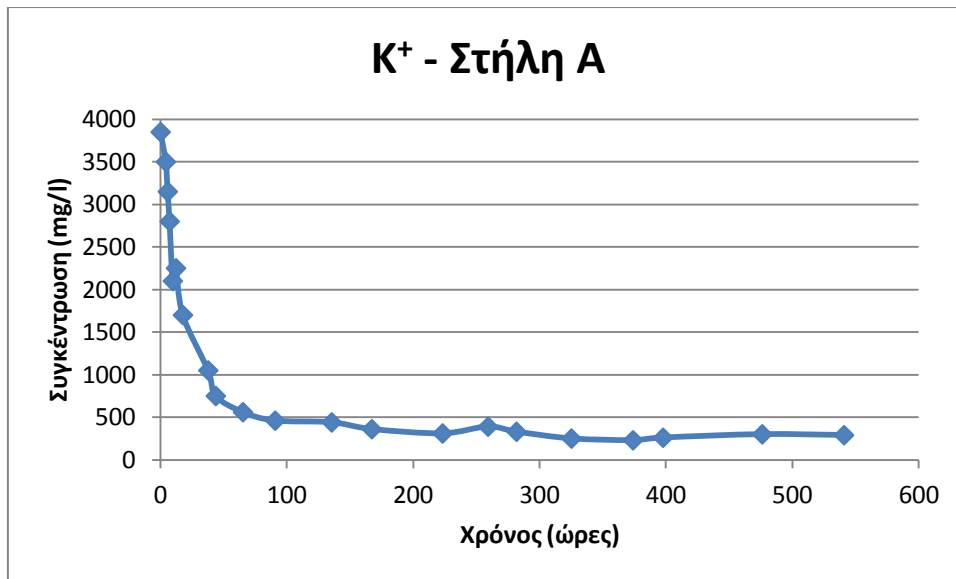
Γράφημα 20: Συγκεντρώσεις νατρίου λυσίμετρου A



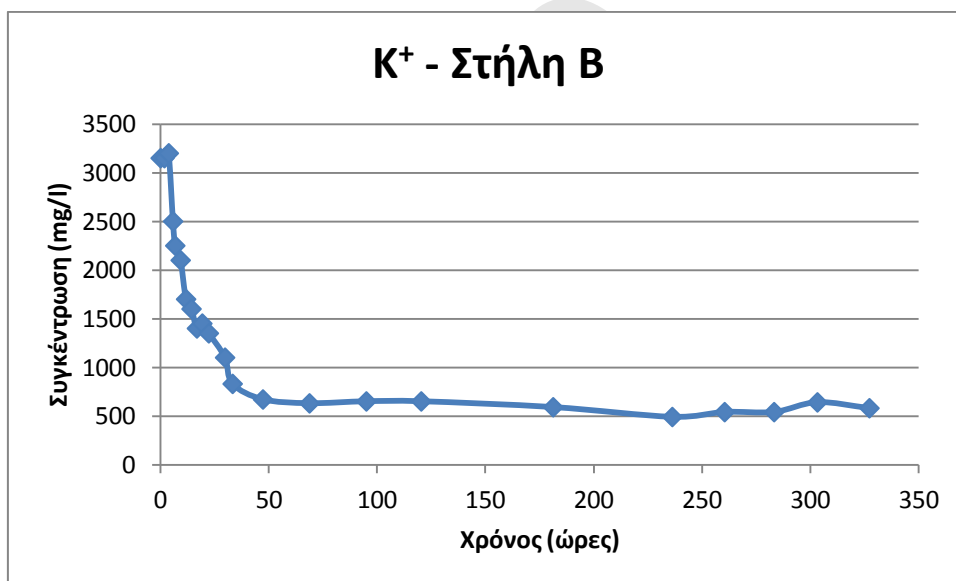
Γράφημα 21: Συγκεντρώσεις νατρίου λυσίμετρου A

Η πτώση αυτή δεν είναι αναμενόμενη στην φάση τα μεθανογένεσης, στην οποία και βρισκόμαστε, με βάση την βιβλιογραφία, αλλά οφείλεται στην ποσότητα τα βροχόπτωσης και στο «ξέπλυμα» των απορριμμάτων από αυτή στην διάρκεια του χρόνου, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τις συγκεντρώσεις των χλωριόντων.

Και για το κάλιο ( $\text{K}^+$ ), η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεών του είναι παρόμοια με αυτή του νατρίου αλλά με αρχικές συγκεντρώσεις αρκετά μικρότερες. Συγκεκριμένα η αρχική συγκέντρωση καλίου για το λυσίμετρο A ήταν 3850 mg/l και έφτασε τελικά τα 290 mg/l. Αντίστοιχα για το λυσίμετρο B η αρχική συγκέντρωση ήταν 3150 mg/l και κατέληξε στα 580 mg/l.



Γράφημα 22: Συγκεντρώσεις καλίου λυσίμετρου Α



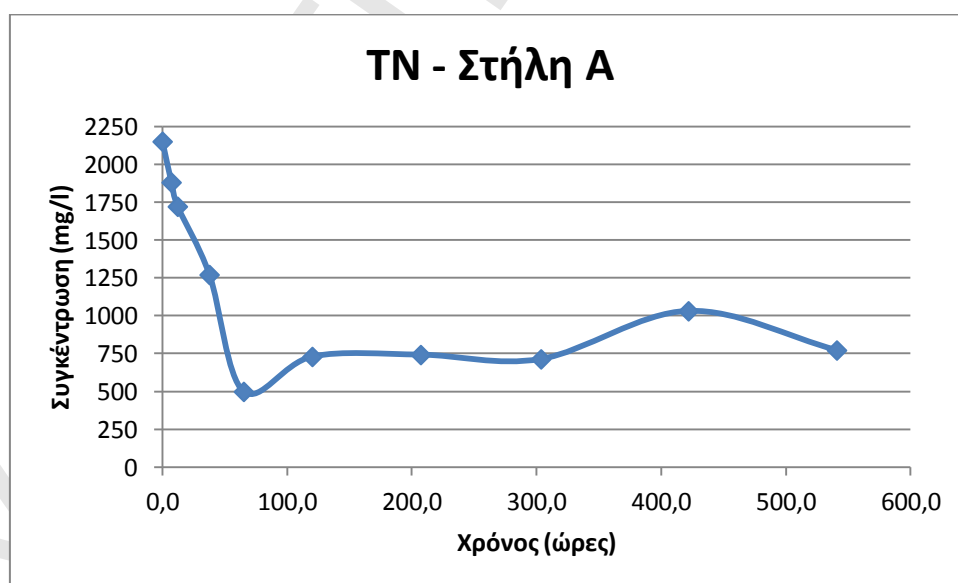
Γράφημα 23: Συγκεντρώσεις καλίου λυσίμετρου Β

Η μείωση αυτή, όπως και στην περίπτωση των χλωριόντων και του νατρίου, οφείλεται στο «ξέπλυμα» των απορριμμάτων εξαιτίας της βροχόπτωσης, και όχι λόγω των βιοχημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν σε αυτά.

Τα Γραφήματα 24 και 25 που ακολουθούν παρουσιάζουν την διαχρονική εξέλιξη του ολικού αζώτου (TN) στα στραγγίσματα των δύο λυσιμέτρων. Το ολικό άζωτο, ως βασικό συστατικό της οργανικής ύλης των απορριμμάτων, αναμενόταν να αγγίξει αρχικά υψηλά επίπεδα, όπως και έγινε. Έτσι η αρχική συγκέντρωση του λυσιμέτρου Α ήταν 2150 mg/l και του λυσιμέτρου Β ήταν 1578 mg/l.

Πίνακας 13: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσιμέτρου Α

Χρόνος (h)	TN (mg/l)
0,0	2150
7,2	1880
12,2	1720,5
37,7	1270
65,2	497,6
120,2	728,5
207,2	741
303,7	712,5
421,9	1030
540,9	771

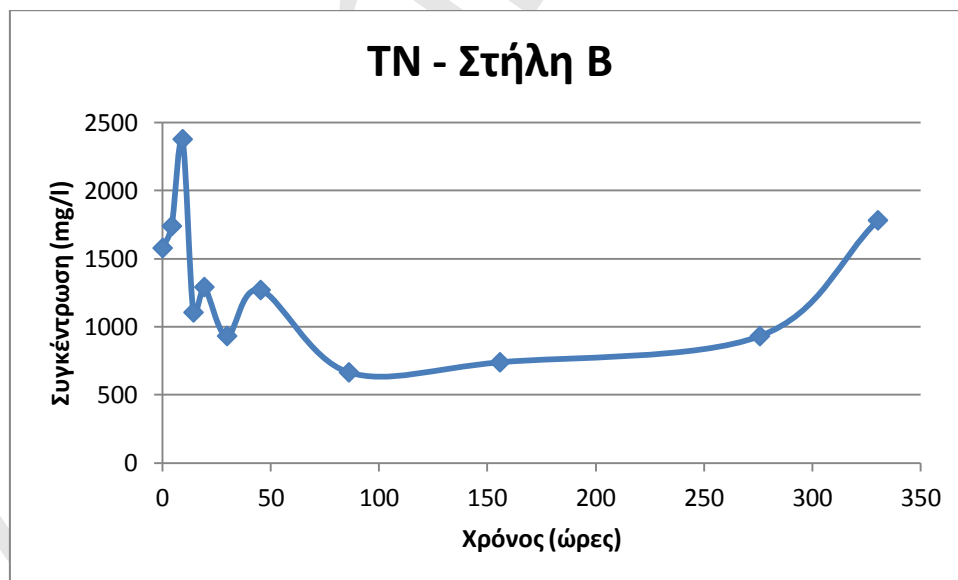


Γράφημα 24: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσιμέτρου Α

Ενώ το λυσίμετρο Α παρουσιάζει ομαλότερη καθοδική πορεία, και υψηλότερη αρχική συγκέντρωση, το λυσίμετρο Β ξεκινά από χαμηλότερη συγκέντρωση, αλλά όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις.

Πίνακας 14: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσίμετρου Β

Χρόνος (h)	TN (mg/l)
0	1578
4,25	1739,5
9,25	2377
14,25	1105,5
19,25	1291,5
29,75	932,5
45,25	1270
86	665,5
155,75	739,5
275,75	931,5
330,25	1781,5



Γράφημα 25: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου λυσίμετρου Β

Αξίζει να σημειωθεί πως οι συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου στο τέλος της διαδικασίας, και ιδιαίτερα του λυσίμετρου Β, παρουσιάζουν αύξηση. Η αύξηση

αυτή, όπως ακριβώς συμβαίνει και στον TOC, οφείλεται πιθανόν στην διεύθυνση αέρα στην μάζα των απορριμμάτων σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Kjeldsen et al., 2002). Γενικά πάντως οι καταγραφόμενες συγκεντρώσεις, συγκριτικά με την βιβλιογραφία, είναι αρκετά υψηλές και αυτό αποδίδεται στο μη αποδομημένο οργανικό φορτίο των δύο λυσιμέτρων. Η μείωση των τιμών, με εξαίρεση το τέλος της πειραματικής διαδικασίας, είναι αποτέλεσμα τόσο της αποδόμησης που υφίστανται τα οργανικά απορρίμματα κατά την διάρκεια του πειράματος, όσο και στο «ξέπλυμα» των απορριμμάτων από την ποσότητα της προστιθέμενης βροχόπτωσης.

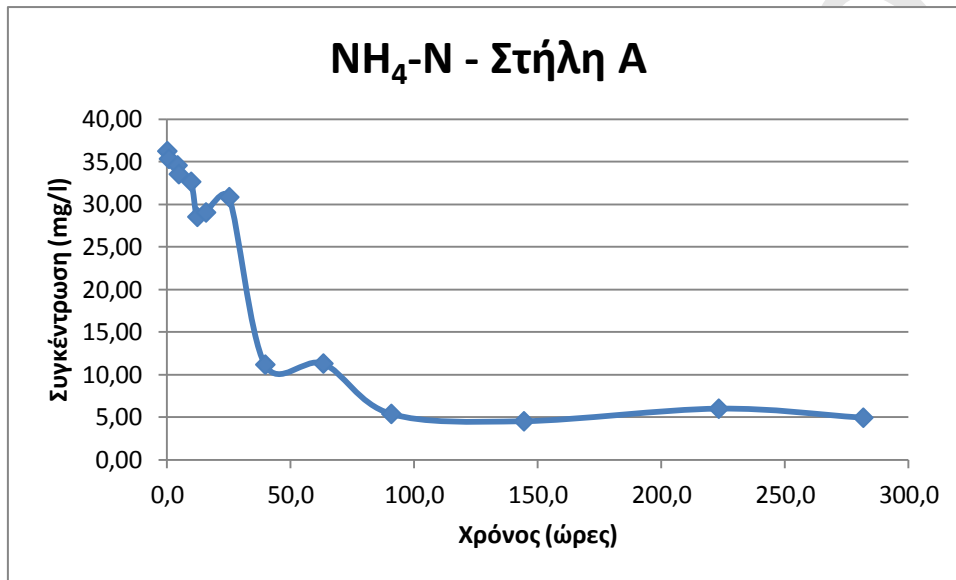
Άμεσα συνυφασμένα με το άζωτο είναι και τα αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4 - \text{N}$ ), οι συγκεντρώσεις των οποίων παρουσιάζονται στα παρακάτω Γραφήματα (26 και 27). Τα αμμωνιακά απελευθερώνονται από την αποσύνθεση πρωτεϊνών στα απορρίμματα, και η μείωση της συγκέντρωσής τους είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά του «ξεπλύματος» των απορριμμάτων και όχι της αποσύνθεσής τους. Γι' αυτό πολλοί ερευνητές θεωρούν τα αμμωνιακά ως τον σημαντικότερο ρυπαντικό παράγοντα των στραγγισμάτων μακροπρόθεσμα.

Η αρχική συγκέντρωση των αμμωνιακών του λυσίμετρου Α μετρήθηκε σε 36,26 mg/l, και ακολουθώντας πτωτική πορεία, με ελάχιστες διακυμάνσεις, κατέληξε στα 4,95 mg/l.

Πίνακας 15: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσίμετρου Α

Χρόνος (h)	$\text{NH}_4 - \text{N}$ (mg/l)
0,0	36,26
0,7	35,36
4,2	34,59
4,7	33,56
9,7	32,66
12,2	28,54
15,7	29,06
25,1	30,86
39,7	11,19

<b>63,2</b>	11,31
<b>90,7</b>	5,40
<b>144,3</b>	4,53
<b>223,2</b>	6,01
<b>281,7</b>	4,95



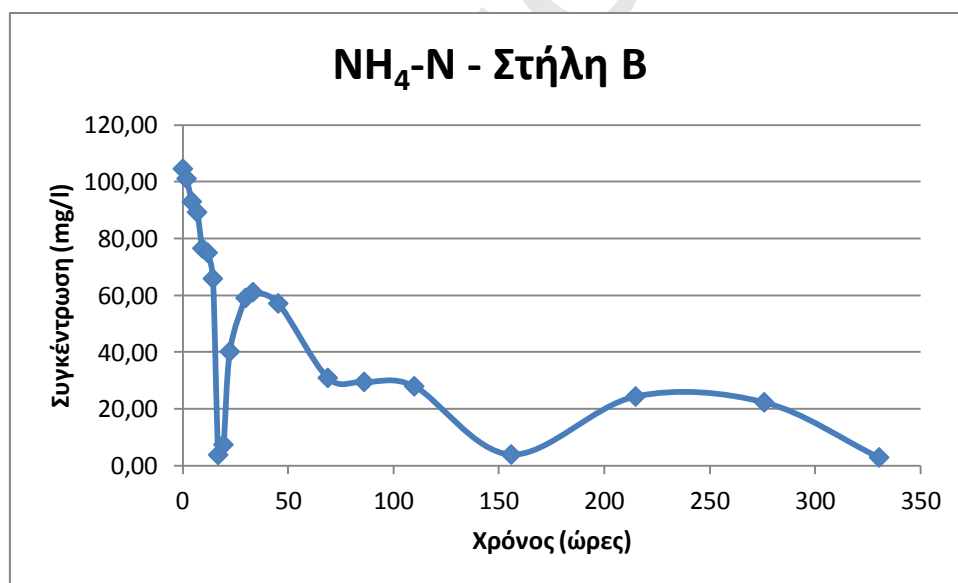
Γράφημα 26: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσίμετρου Α

Οι συγκεντρώσεις παρόλα αυτά του λυσίμετρου Β δεν ακολούθησαν το ίδιο μοτίβο. Η αρχική συγκέντρωση ήταν σχεδόν τετραπλάσια από την αντίστοιχη του λυσίμετρου Α, αγγίζοντας τα 104,66 mg/l. Αντίστοιχα η τελική τιμή διαμορφώθηκε στα 2,96 mg/l, παρουσιάζοντας ενδιάμεσες διακυμάνσεις μέχρι εκεί.

Πίνακας 16: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσίμετρου Β

Χρόνος (h)	NH <sub>4</sub> – N (mg/l)
<b>0</b>	104,66
<b>1,75</b>	101,19
<b>4,25</b>	93,09
<b>6,75</b>	89,36
<b>9,25</b>	76,63
<b>11,75</b>	75,09

14,25	65,96
16,75	3,86
19,25	7,46
22,25	40,24
29,75	59,14
33,25	61,20
45,25	57,21
68,75	30,99
86	29,57
109,75	28,03
155,75	3,99
214,75	24,43
275,75	22,37
330,25	2,96



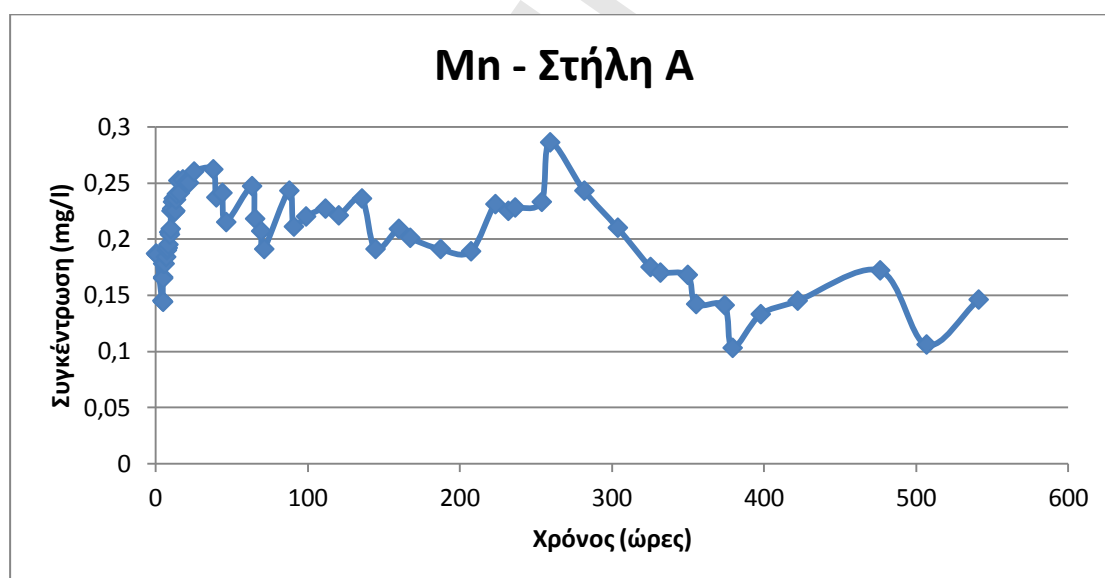
Γράφημα 27: Συγκεντρώσεις αμμωνιακών λυσίμετρου Β

Με βάση τα παραπάνω, παρατηρείται μια τεράστια απόκλιση μεταξύ των αρχικών συγκεντρώσεων που καταγράφονται στα δύο λυσίμετρα. Η διαφοροποίηση αυτή πιθανόν οφείλεται στην διαφορετική παλαιότητα των δύο δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, και κατ' επέκταση στην διαφορετική

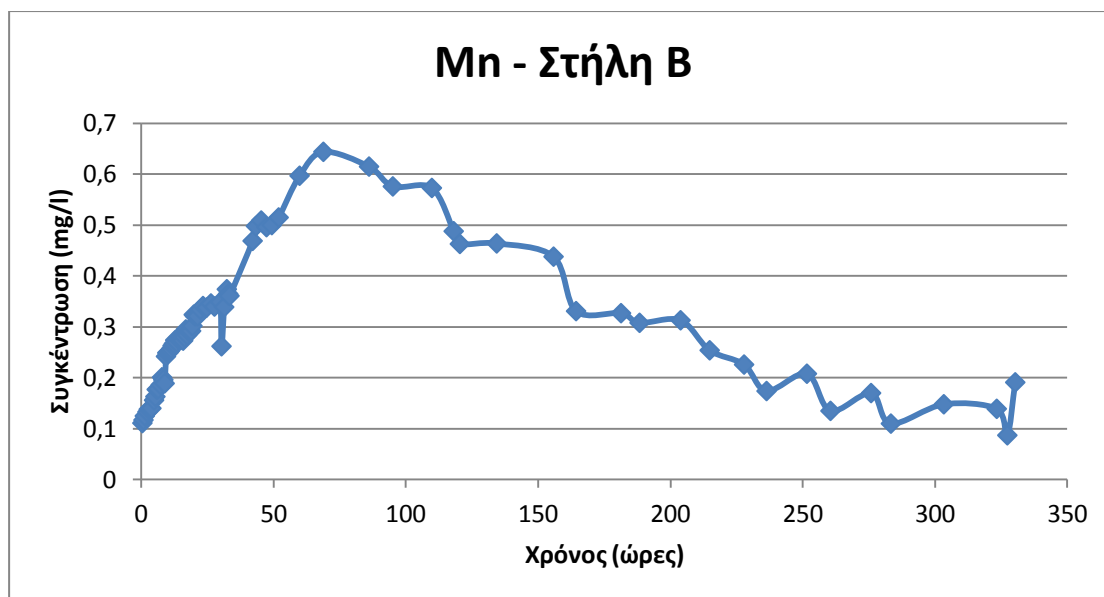


αποδόμηση που έχουν υποστεί. Πιθανόν τα απορρίμματα του λυσίμετρου Α είναι παλαιότερα, γι' αυτό και οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες. Συγκριτικά πάντως με την βιβλιογραφία οι συγκεντρώσεις του καταγράφονται τόσο για το λυσίμετρο Α όσο και για το λυσίμετρο Β είναι αρκετά χαμηλότερες από αυτές που παρατηρούνται, γεγονός που δεν συνάδει απόλυτα με έναν σχετικά νέο ΧΥΤΑ, το περιεχόμενο του οποίου κατά πλειονότητα αποτελείται από οργανικό φορτίο. Η πιθανή εξήγηση για αυτό είναι ο βαθμός αποδόμησης των απορριμμάτων, καθώς επίσης και τα ίδια τα δείγματα που έχουν χρησιμοποιηθεί, η πλήρη σύσταση των οποίων δεν είναι γνωστή.

Το πρώτο μέταλλο που εξετάστηκε στα παραγόμενα στραγγίσματα ήταν το μαγγάνιο (Mn). Οι αρχικές συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν ήταν 0,187 mg/l για το λυσίμετρο Α και 0,111 mg/l για το λυσίμετρο Β. Οι τελικές του συγκεντρώσεις ήταν παρεμφερείς, 0,146 mg/l για το λυσίμετρο Α και 0,191 mg/l για το λυσίμετρο Β.



Γράφημα 28: Συγκεντρώσεις μαγγανίου λυσίμετρου Α



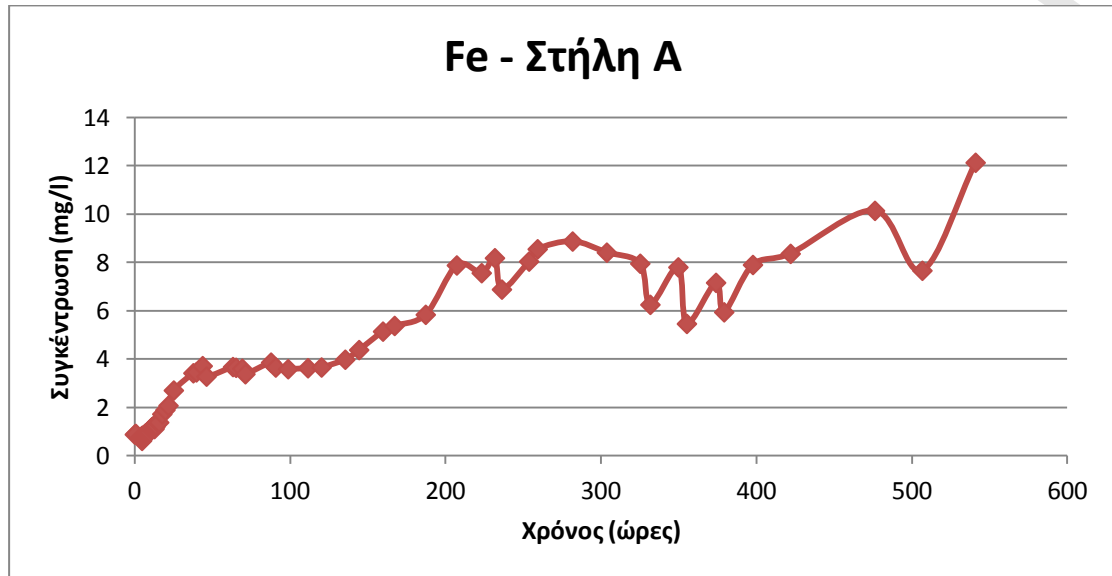
Γράφημα 29: Συγκεντρώσεις μαγγανίου λυσίμετρου Β

Όπως παρατηρείται, ενώ οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου και στα δύο λυσίμετρα είναι συναφείς, η χρονική μεταβολή είναι διαφορετική. Και τα δύο λυσίμετρα με την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζουν αύξηση. Το λυσίμετρο Α πολύ γρήγορα αρχίζει, με κάποιες διακυμάνσεις παρόλα αυτά, να ακολουθεί μια ήπια πτωτική πορεία, καταλήγοντας σε μια τελική συγκέντρωση ελαφρά χαμηλότερη από την αρχική. Το λυσίμετρο Β αντίθετα, αυξάνει την συγκέντρωσή του σε επίπεδα σχεδόν εξαπλάσια από την αρχική, για να ακολουθήσει αργότερα καθαρά πτωτική πορεία, όμως με τελική συγκέντρωση μεγαλύτερη από την αρχική.

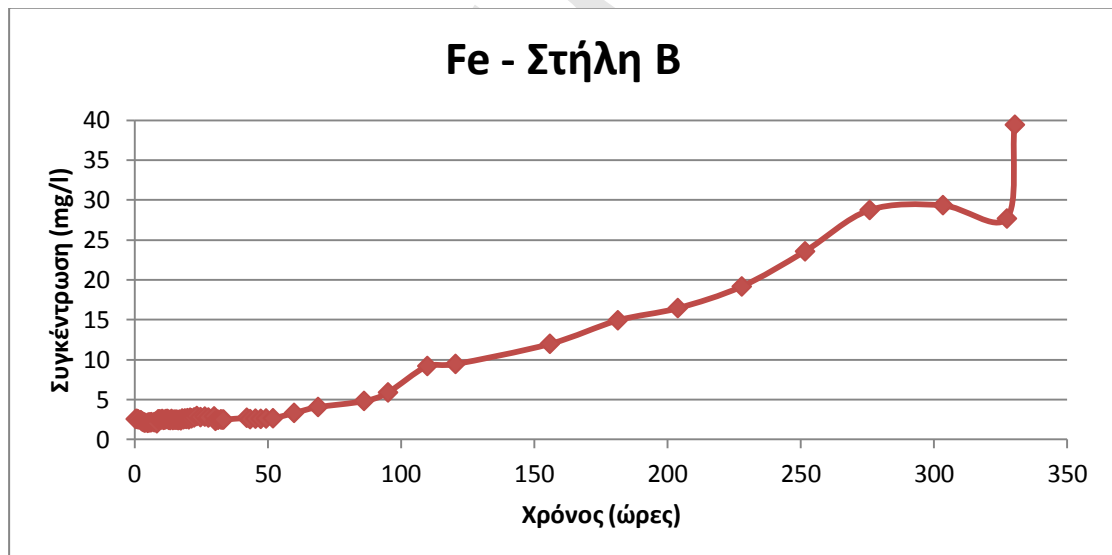
Οι αυξήσεις που παρατηρούνται και στα δύο λυσίμετρα, δεν είναι αναμενόμενες βιβλιογραφικά κατά την φάση τα μεθανογένεσης, αλλά πιθανόν οφείλονται στο «ξέπλυμα» των απορριμμάτων από την δοκιμαζόμενη βροχόπτωση. Επίσης στο λυσίμετρο Β είναι πιθανή η παρουσία κάποιου απορρίμματος με υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου, το οποίο με την παρουσία του νερού «απελευθερώνει» το μέταλλο. Το νερό με την σειρά του παρασύρει το μαγγάνιο, οδηγώντας το στα στραγγίσματα, όπως είναι αναμενόμενο.

Τα Γραφήματα 30 και 31 απεικονίζουν τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν διαχρονικά για τον σίδηρο (Fe). Και στα δύο λυσίμετρα οι αρχικές

συγκεντρώσεις είναι αρκετά χαμηλές, 0,878 mg/l για το λυσίμετρο A και 2,542 mg/l για το λυσίμετρο B. Οι τελικές συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν, 12,12 και 39,41 mg/l αντίστοιχα, δεν ήταν καθόλου αναμενόμενες.



Γράφημα 30: Συγκεντρώσεις σιδήρου λυσίμετρου A



Γράφημα 31: Συγκεντρώσεις σιδήρου λυσίμετρου A

Με βάση την διεθνή βιβλιογραφία, ο σίδηρος στην φάση της μεθανογένεσης θα έπρεπε να παρουσιάζει πτωτική πορεία και να κυμαίνεται μεν στα επίπεδα των 20 – 200 mg/l. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ενώ οι συγκεντρώσεις που

καταγράφονται θα μπορούσαν να θεωρηθούν αποδεκτές και εντός των ορίων, η πορεία που ακολουθούν είναι αυτή που προβληματίζει. Και στα δύο λυσίμετρα ανεξαιρέτως παρουσιάζεται ανοδική πορεία των συγκεντρώσεων, παρά την αύξηση του pH. Η διαφοροποίηση αυτή είναι κατά βάση αποτέλεσμα της περιεκτικότητας των δύο δειγμάτων σε σίδηρο, η οποία ήταν αρκετά υψηλή.

Οι τιμές των συγκεντρώσεων του μαγγανίου και του σιδήρου που μετρήθηκαν και στα δύο λυσίμετρα δίνονται αναλυτικά στο Παράρτημα Β.

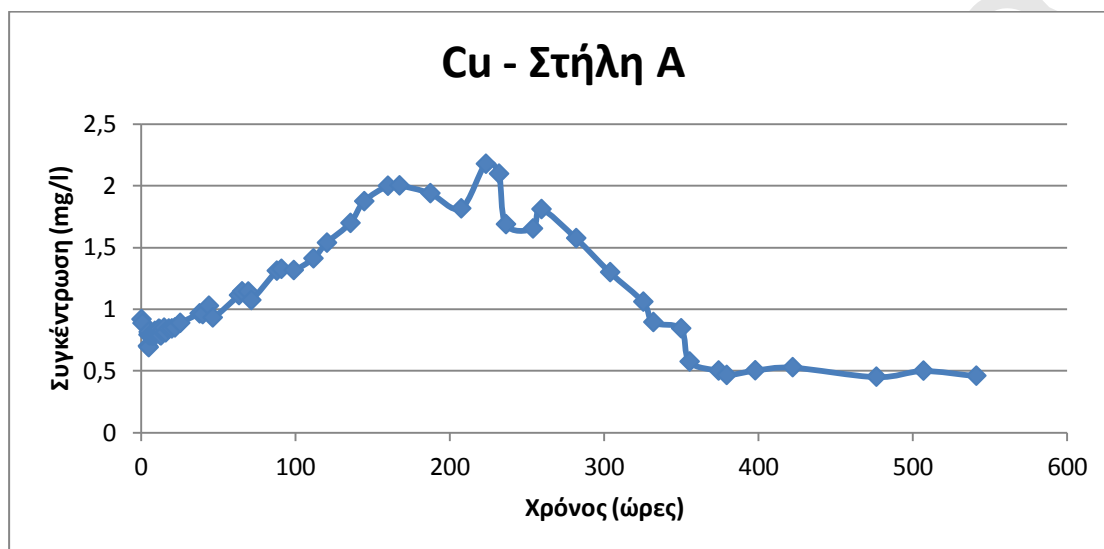
#### 6.3.4 Βαρέα Μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα, ως ρυπαντές ενέχουν τους περισσότερους κινδύνους, από περιβαλλοντική σκοπιά, συγκριτικά με τις υπόλοιπες ρυπαντικές ουσίες. Για τον λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί αυστηρότερα όρια και δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην διαχείρισή τους.

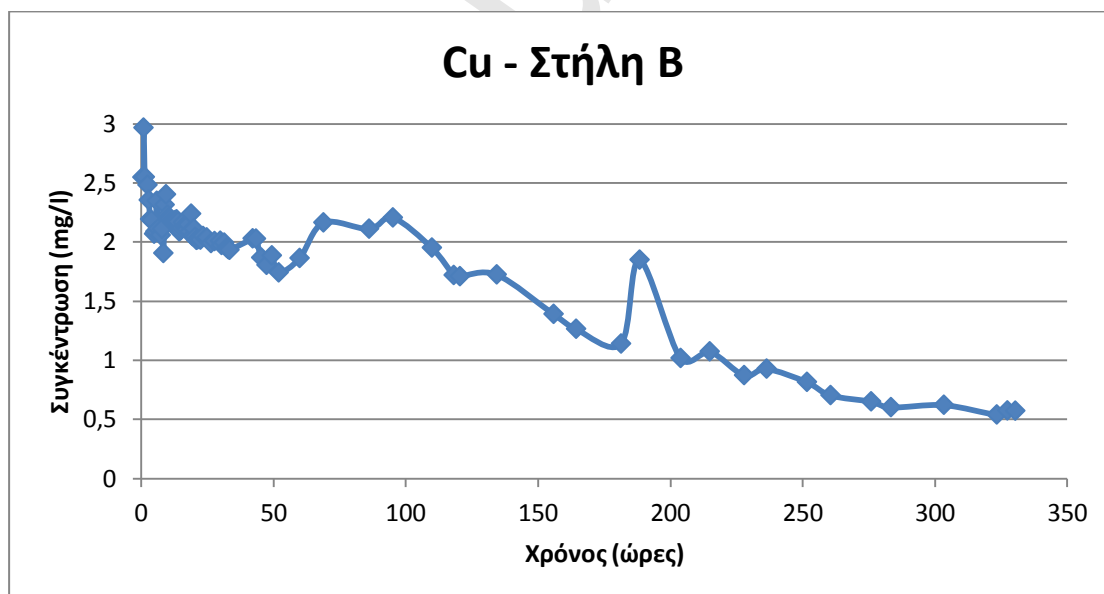
Στην παρούσα μελέτη, έγιναν μετρήσεις καδμίου (Cd), χρωμίου (Cr), μολύβδου (Pb), χαλκού (Cu), ψευδαργύρου (Zn) και νικελίου (Ni). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης και όπου κρίθηκε απαραίτητο, πραγματοποιήθηκε αραίωση των δειγμάτων, ώστε οι τιμές να βρίσκονται στη γραμμική περιοχή που θεωρείται ασφαλής για τα αποτελέσματα.

Από τα παραπάνω μέταλλα που εξετάστηκαν αξίζει να σημειωθεί πως και στα δύο λυσίμετρα οι συγκεντρώσεις του χρωμίου και του μολύβδου ήταν κάτω από τα όρια ανίχνευσης. Επίσης στο λυσίμετρο Β δεν ανιχνεύτηκε κάδμιο. Τα ευρήματα αυτά θεωρούνται πολύ σημαντικά καθώς δείχνουν την απουσία μερικών από τους πιο επικίνδυνους ρύπους και επιβεβαιώνουν επιπλέον το γεγονός πως η πλειονότητα των απορριμμάτων του ΧΥΤΑ είναι οικιακής προέλευσης.

Ποσότητα χαλκού (Cu), όπως φαίνεται και από τα Γραφήματα 32 και 33, μετρήθηκε και στα δύο λυσίμετρα. Οι αρχικές συγκεντρώσεις ήταν 0,918 και 2,548 mg/l για τα λυσίμετρα A και B αντίστοιχα, ενώ με την αύξηση του pH, οι τελικές συγκεντρώσεις μειώθηκαν σε 0,46 και 0,572 mg/l, αντίστοιχα.



Γράφημα 32: Συγκεντρώσεις χαλκού λυσίμετρου A

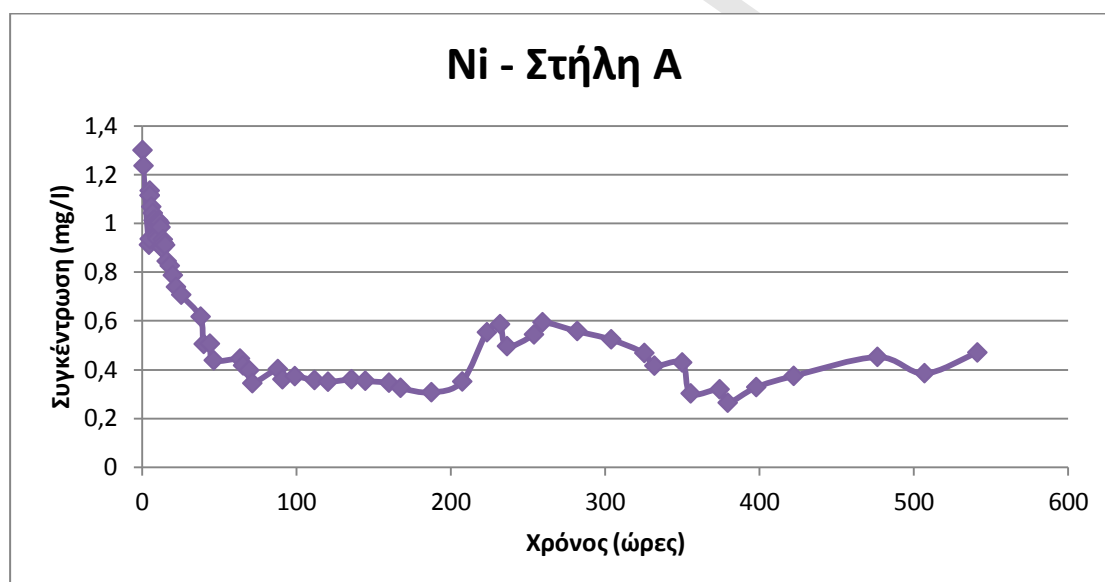


Γράφημα 33: Συγκεντρώσεις χαλκού λυσίμετρου B

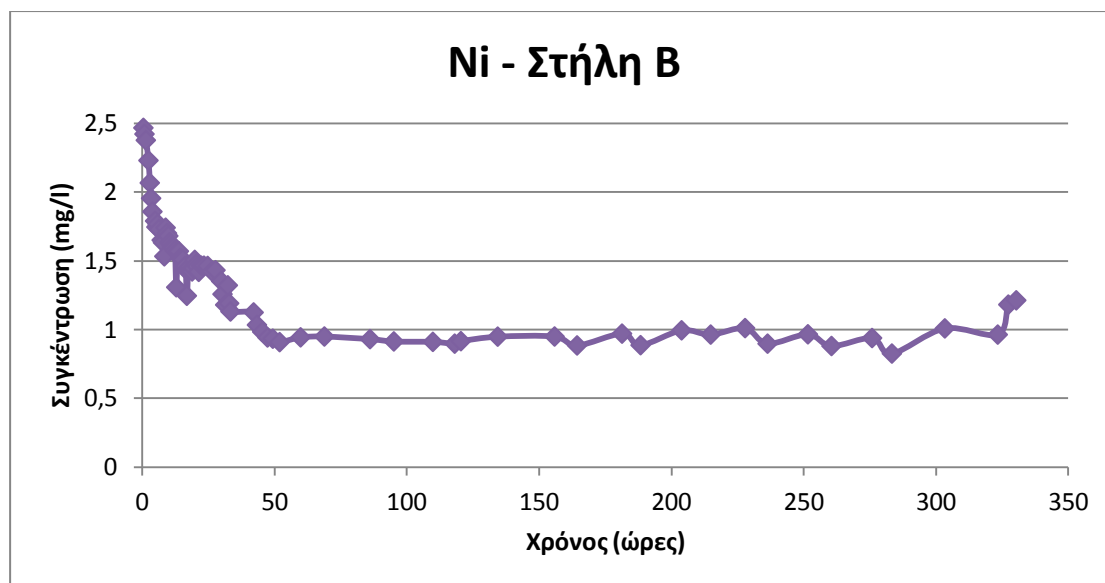
Παρόλα αυτά το μοτίβο των συγκεντρώσεων των δύο λυσιμέτρων δεν είναι ίδιο. Ενώ στο λυσίμετρο B οι συγκεντρώσεις, με κάποιες αυξομειώσεις, έχουν καθοδική πορεία όπως αναμενόταν με βάση την βιβλιογραφία, στο λυσίμετρο

Α παρουσιάζουν πρώτα μια αύξηση για τις πρώτες 200 περίπου ώρες, και εν συνεχεία έπεται η μείωσή τους. Επίσης αξίζει να τονιστεί πως, αν και οι αρχικές συγκεντρώσεις των δύο λυσιμέτρων διαφέρουν, οι τελικές τιμές είναι παρεμφερείς, γεγονός που τονίζει ότι δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά στην ύπαρξη χαλκού μεταξύ των δύο δειγμάτων.

Στην επόμενη μέτρηση παρατηρούμε την διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του νικελίου (Ni) στα δύο λυσίμετρα. Οι αρχικές συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν αντιστοιχούσαν σε 1,3 και 2,467 mg/l για το λυσίμετρο A και B αντίστοιχα. Οι τελικές συγκεντρώσεις διαμορφώθηκαν σε 0,47 και 1,213 mg/l αντίστοιχα.



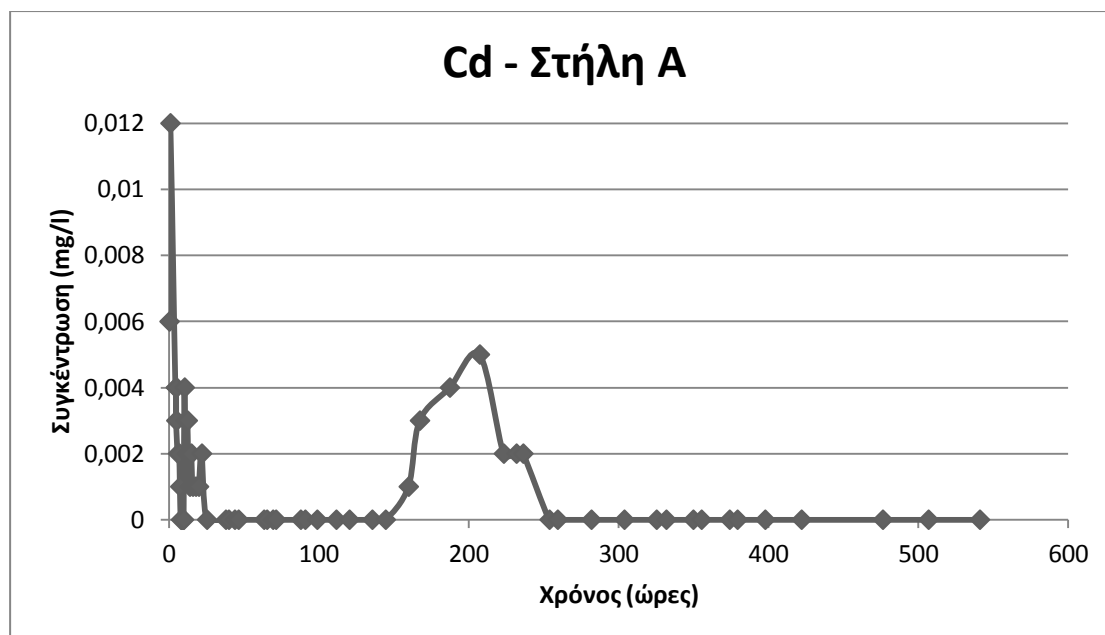
Γράφημα 34: Συγκεντρώσεις νικελίου λυσίμετρου A



Γράφημα 35: Συγκεντρώσεις νικελίου λυσίμετρου Β

Και στα δύο λυσίμετρα οι συγκεντρώσεις, όπως αναμενόταν βιβλιογραφικά, μειώνονται, και με σχετικά γρήγορο ρυθμό. Η μείωση αυτή παρουσιάζει κάποιες διακυμάνσεις για το λυσίμετρο Α, ενώ είναι αρκετά ομαλή για το λυσίμετρο Β. Η μόνη διαφοροποίηση έγκειται στις τιμές των συγκεντρώσεων, καθώς στο λυσίμετρο Β είναι υψηλότερες τόσο αρχικά όσο και στην τελική σταθεροποίηση του μετάλλου, που οφείλεται πιθανόν στην ύπαρξη κάποιου απορρίμματος με αυξημένες συγκεντρώσεις νικελίου.

Στην παρακάτω μέτρηση φαίνεται η συγκέντρωση του καδμίου (Cd) στο λυσίμετρο Α, καθώς όπως προειπώθηκε δεν ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις του στο λυσίμετρο Β. Η αρχική συγκέντρωσή του ήταν 0,006 mg/l ενώ η τελική συγκέντρωση ήταν μηδενική.

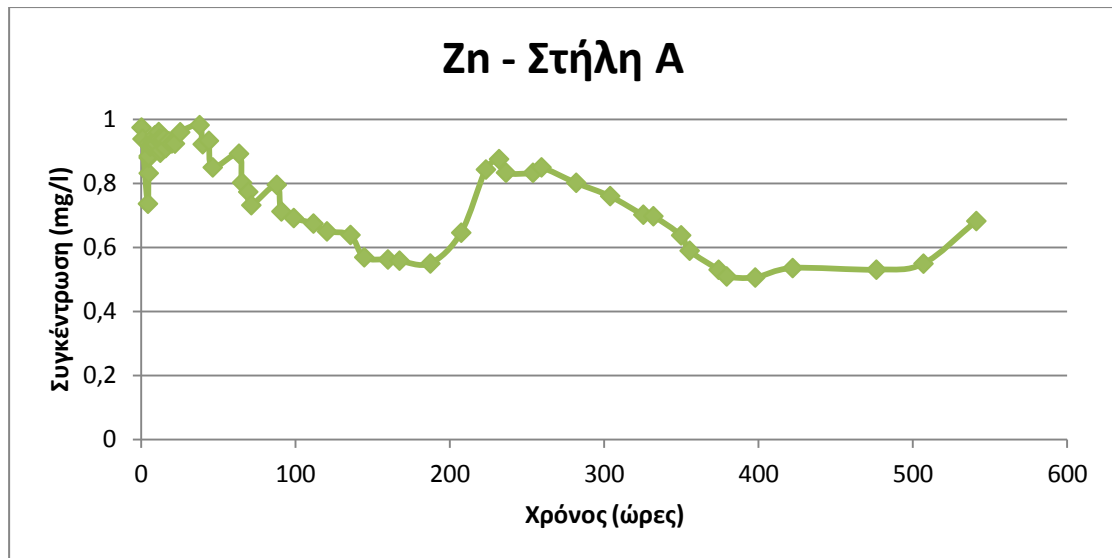


Γράφημα 36: Συγκεντρώσεις καδμίου λυσίμετρου A

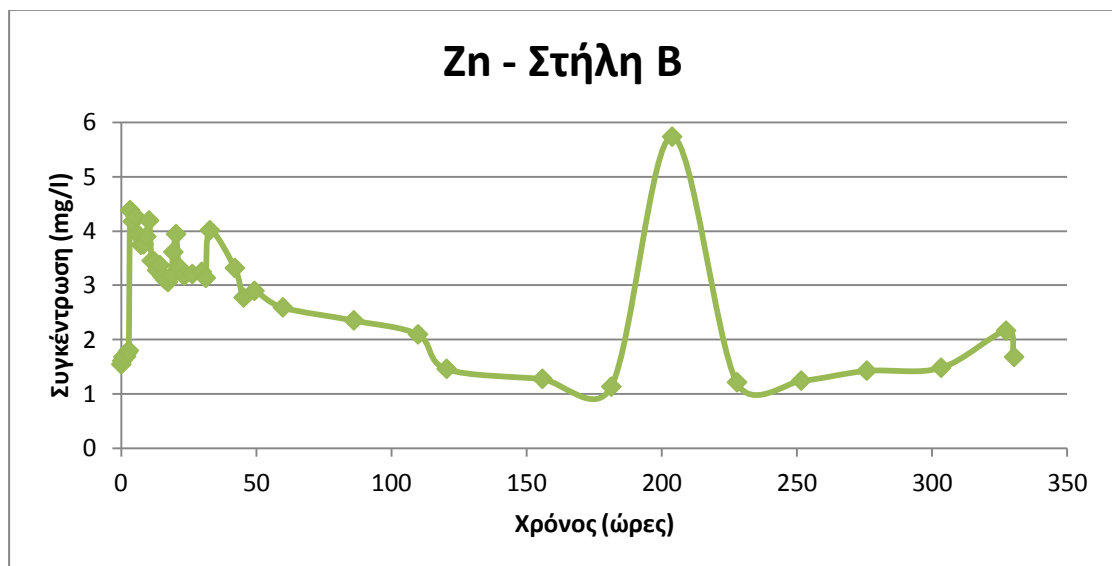
Η ύπαρξη καδμίου μόνο στο ένα δείγμα υποδηλώνει την ύπαρξη κάποιου συγκεκριμένου απορρίμματος στο οποίο περιεχόταν η ουσία. Άρα η ύπαρξή της στα απορρίμματα της Αττικής δεν είναι συνεχής, και πιθανόν οφείλεται σε βιομηχανικά απορρίμματα. Η διαμόρφωση των συγκεντρώσεών της είναι η αναμενόμενη, με μόνη εξαίρεση μια αύξηση που εμφανίζεται στο μέσο περίπου της πειραματικής διαδικασίας και η οποία υποχωρεί και πάλι. Θα πρέπει να τονιστεί πάντως πως οι περισσότερες συγκεντρώσεις ήταν μηδενικές, στα όρια ανίχνευσης της ατομικής απορρόφησης.

Τελευταία μέτρηση που πραγματοποιήθηκε, και παρουσιάζεται στα Γραφήματα 37 και 38 είναι η συγκέντρωση ψευδαργύρου (Zn) στα δείγματα των δύο λυσιμέτρων. Οι αρχικές συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν σε 0,9743 mg/l στο λυσίμετρο A και 1,5433 mg/l αντίστοιχα στο λυσίμετρο B, ενώ οι τελικές διαμορφώθηκαν στα 0,6821 και 1,679 mg/l αντίστοιχα.





Γράφημα 37: Συγκεντρώσεις ψευδαργύρου λυσίμετρου A



Γράφημα 38: Συγκεντρώσεις ψευδαργύρου λυσίμετρου B

Και στα δύο δείγματα οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν αρχικά μια αύξηση, αλλά σχεδόν αμέσως ξεκινά η πτωτική πορεία που αναμενόταν. Η πτώση στο λυσίμετρο A είναι πιο ήπια με μια μικρή διακύμανση στο μέσο περίπου της διαδικασίας, η οποία διορθώνεται στην συνέχεια. Στο λυσίμετρο B η πτώση είναι περισσότερο απότομη, και με εξαίρεση μια μέτρηση, οι συγκεντρώσεις σταθεροποιούνται γρηγορότερα. Η διαφοροποίηση των τιμών των συγκεντρώσεων οφείλεται στην ύπαρξη απορριμμάτων πλουσιότερων σε ψευδάργυρο στο λυσίμετρο B.

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων που μετρήθηκαν και στα δύο λυσίμετρα δίνονται αναλυτικά στο Παράρτημα Β.

Η αιτία για τις χαμηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα μεθανογενή στραγγίσματα δεν είναι η έλλειψη βαρέων μετάλλων στα απορρίμματα. Ισοζύγια βαρέων μετάλλων για τους χώρους υγειονομικής ταφής έχουν δείξει ότι λιγότερο από το 0,02% των βαρέων μετάλλων που περιήλθαν στους ΧΥΤΑ διαφεύγουν από αυτούς μετά από 30 χρόνια. Τόσο η απορρόφηση όσο και η καθίζηση θεωρείται ότι αποτελούν τους δύο σημαντικούς μηχανισμούς για την ακινητοποίηση των μετάλλων και τις επακόλουθες χαμηλές συγκεντρώσεις τους στα στραγγίσματα. Τα στερεά απόβλητα περιέχουν χώμα και οργανική ύλη τα οποία, ειδικά σε ουδέτερες ως υψηλές τιμές pH, παρουσιάζουν μια σημαντική απορροφητική ικανότητα. Επιπλέον, οι διαλυτότητες σε πολλά μέταλλα με θειώδη και ανθρακικά άλατα είναι χαμηλές και η καθίζηση θειωδών αναφέρεται συχνά ως εξήγηση για τις χαμηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Σε γενικές γραμμές, η καθίζηση θειωδών αναμένεται να κυριαρχήσει στην εξασθένηση των βαρέων μετάλλων σε σχέση με τους συμπλοκοποιητικούς παράγοντες (Bilgili et al., 2007; Kjeldsen et al., 2002).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις παρουσιάζονται συγκεντρωτικά για κάθε λυσίμετρο στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων**

	<b>Λυσίμετρο Α</b>	<b>Λυσίμετρο Β</b>
<b>pH</b>	7,13 – 8,87	7,4 – 8,8
<b>Αγωγιμότητα</b>	1,8 – 62,4	5,15 – 52,5
<b>COD</b>	880 - 4890	
<b>TOC</b>	300 – 1484	894 - 2447
<b>TSS</b>	280 – 5020	760 - 4740
<b>TS</b>	3560 – 59840	6920 - 52740
<b>NH<sub>4</sub> - N</b>	4,95 – 36,26	2,96 – 104,66
<b>TN</b>	713 – 2150	931 - 2377
<b>SO<sub>4</sub></b>	40,8 – 7690	108,3 - 7419
<b>Cl</b>	43,67 – 13160,56	403,28 – 11636,9

<b>Na</b>	222 – 10367	683 - 9418
<b>K</b>	260 – 3850	580 - 3200
<b>Fe</b>	0,878 – 12,13	2,542 – 39,41
<b>Mn</b>	0,106 – 0,187	0,087 – 0,111
<b>Cu</b>	0,452 – 0,918	0,572 – 2,967
<b>Zn</b>	0,5489 – 0,9743	1,213 – 1,7972
<b>Cd</b>	0 – 0,006	< DL
<b>Cr</b>	< DL	< DL
<b>Ni</b>	0,47 – 1,3	0,964 – 2,467
<b>Pb</b>	< DL	< DL

Σύμφωνα με εκτιμήσεις που έχουν γίνει με την βοήθεια υπολογιστικών σχέσεων, ο χρόνος που θα απαιτούνταν, σε φυσική κλίμακα, για να αγγίξουν την τελική τους συγκέντρωση ενώσεις, όπως τα θειικά και όλα τα μέταλλα, εμπεριέχεται στις φάσεις της εντατικής αντίδρασης του ΧΥΤΑ. Για το άζωτο αναμένεται να χρειαστούν αρκετές δεκαετίες, ενώ τον μεγαλύτερο χρόνο χρειάζονται τα χλωριόντα, ο φώσφορος, που εδώ δεν απαντάται, και ο οργανικός άνθρακας και έγκειται από έναν έως περισσότερους αιώνες (Belevi et al., 1989; Swedish EPA, 2000).

#### 6.4 Σύγκριση με παρόμοιες έρευνες

Ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί τόσο με την βοήθεια λυσιμέτρων (Αθήνα – Μποσδογιάννη, 1997) όσο και με in situ μετρήσεις σε χώρους υγειονομικής ταφής όχι μόνο από τον ελληνικό χώρο (Θεσσαλονίκη - Tatsi et al., 2002), αλλά και από άλλες, κατά βάση μεσογειακές, χώρες (Λίβανος - El – Fadel et al., 2002, Τουρκία - Bilgili et al.) όπου η σύνθεση των απορριμμάτων προσομοιάζει αυτή της Αθήνας. Επίσης δίνεται μια σειρά από τις επίσημες μετρήσεις του ΕΚΣΔΝΑ, οι οποίες πραγματοποιούνται σε εβδομαδιαία βάση.

Πίνακας 18: Αποτελέσματα παρόμοιων ερευνητικών μελετών

	Μποσδογιάννη (1997)	EI – Fadel et al. (2002)	Bilgili et al. (2006)	Bilgili et al. (2007)	Bilgili et al. (2007)(2)	Tatsi et al. (2002)	Αθήνα ΧΥΤΑ
pH	5,5 - 7	5,5 - 8	4,5 – 8,3	4 - 9		7,3 – 8,8	8.1
Αγωγιμ				16 - 25		6,2 - 34	34,2
B.O.D.	9500 - 18000	1000 - 50000	1900 - 36000			50 - 4200	2384
C.O.D.	22000 - 25000	3000 - 100000	8000 - 48000	8000 - 40000		685 - 15000	8313
TDS	11000 - 35000			10 – 25 <sup>1</sup>		3800 - 21800	
TSS	600 - 2500					10 - 5900	118
TS	18000 - 60000					3100 - 18000	20810
NH <sub>4</sub> - N	1000 - 2500	2000 <sup>2</sup>	200 - 250	200 - 1950		39 - 1750	2790
TN	20 - 100	4000 <sup>2</sup>	360 - 750	400 - 800		370 - 1800	3080
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			85 - 410			2,5 - 300	
P						1,27 – 19,9	19
PO <sub>4</sub>							17
SO <sub>4</sub>		1000 - 2000				55 - 500	13
Cl		4000 <sup>2</sup>	2800 - 6600	2600 <sup>2</sup>		1162 - 9209	3899
Na					1700 - 2600		
K					1700 - 2500		
Fe	50 - 200	0 - 480			50 - 100	0,11 - 25	6.3
Mn	7 - 10					0,05 – 0,42	
Cu		0,06 – 0,15			< 1	0,1 – 0,53	0.04
Zn	305 - 545	0,1 - 4			1 - 20	0,07 – 0,2	0.54
Cd	< 0,1				< 0,5	< DL <sup>3</sup>	0
Cr	< 0,1	0,34 – 0,44			0,5 - 8	0,2 – 0,2	0.88
Ni	1 – 1,5	0,35 – 2,4			1 – 6,7	0,08 – 5,1	0.68
Pb		0,1 – 0,6			< 0,5	< DL <sup>3</sup>	0.03
As							0.99
Hg		0,0001 – 0,0011					0
Al							2.3
F							1.3
Sr							0.6
Ca		2000 - 4000			100 - 10000	3,8 - 138	31
Mg		130 - 610				0,02 - 193	235
SiO <sub>2</sub>							37

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με αυτά που εξήχθησαν από την δική μας έρευνα, εντοπίζετε μια μικρή απόκλιση, ανοδική, στις αρχικές συγκεντρώσεις των χλωριόντων και του νατρίου των δικών μας δειγμάτων. Οι υπόλοιπες συγκεντρώσεις βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με τις παραπάνω, λαμβάνοντας επίσης υπόψη ότι τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αποδομημένα σε σημαντικό βαθμό, γεγονός που καταδεικνύει την σημασία της σύστασης των απορριμμάτων στην εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων.

<sup>1</sup> Σε ppt

<sup>2</sup> Μέσος όρος

<sup>3</sup> Detection Limit

### Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, δηλαδή τα παραγόμενα στραγγίσματα. Τα στραγγίσματα σε συνδυασμό με τον αργό ρυθμό αποδόμησης και σταθεροποίησης των απορριμμάτων καθώς και με την έλλειψη μέτρων περιβαλλοντικής προστασίας σε πολλές περιπτώσεις, μπορούν να καταστούν για μεγάλο χρονικό διάστημα πηγή ρύπανσης τόσο για τα υπόγεια όσο και για τα επιφανειακά ύδατα. Επομένως η πρόγνωση του όγκου και της διαχρονικής εξέλιξης της ποιότητας των παραγόμενων στραγγισμάτων θεωρούνται απαραίτητες για την ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων.

Με βάση τα παραπάνω, τα κυριότερα συμπεράσματα που εξάγονται είναι:

1. Πειραματική μελέτη, χρησιμοποιώντας λυσίμετρα πληρωμένα με απορρίμματα και προσομοιάζοντας την ετήσια βροχόπτωση, δίνει μια πρώτη εκτίμηση της διαχρονικής εξέλιξης των στραγγισμάτων στον ΧΥΤΑ Δυτικής Αττικής
2. Η βροχόπτωση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των περιεχόμενων ρύπων στα στραγγίσματα που προκύπτουν από τα απορρίμματα ενός ΧΥΤΑ. Η προσομοίωσή της μας δίνει ένα σενάριο για την μελλοντική εξέλιξη των συγκεντρώσεων διάφορων ρύπων, τόσο στο πέρασμα του χρόνου, όσο και σε επεισόδια ασυνήθιστα έντονης βροχόπτωσης
3. Ο παράγοντας που πιο επιτακτικά φαίνεται να επηρεάζει τον ρυθμό αποδόμησης των απορριμμάτων είναι η περιεχόμενη υγρασία, και είναι κοινά αποδεκτό πως απορρίμματα σε περιοχές με ξηρό κλίμα αποδομούνται πιο αργά από αυτά που βρίσκονται σε περιοχές όπου τουλάχιστον 50 με 100 cm από την ετήσια βροχόπτωση εισχωρούν στην απορριμματική μάζα

4. Η μέγιστη παραγωγή στραγγισμάτων παρουσιάζεται σε μικρό χρονικό διάστημα από την έναρξη της βροχόπτωσης, ενώ η κατακράτηση του νερού από τα απορρίμματα αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου τείνοντας τελικά σε μια μέγιστη τιμή
5. Οι συγκεντρώσεις των στερεών (TS και TSS) που μελετήθηκαν στα παραγόμενα στραγγίσματα έδειξαν να μειώνονται με την αύξηση του όγκου της προστιθέμενης βροχόπτωσης
6. Οι τιμές των συγκεντρώσεων του οργανικού φορτίου των στραγγισμάτων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές, όπως ήταν αναμενόμενο για τα πλούσια σε ζυμώσιμα ελληνικά απορρίμματα. Αυτό οφείλεται στον βαθμό αποδόμησης των απορριμμάτων πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, και όχι στην διαφοροποίηση του δείγματος
7. Τα επίπεδα  $\text{NH}_4 - \text{N}$  και  $\text{Cl}^-$ , που θεωρούνται οι πιο «διατηρήσιμοι» ρύποι από αυτούς που μελετήθηκαν, με την βοήθεια της βροχόπτωσης ελαττώνονται σημαντικά αλλά δεν επηρεάζονται από τις υπόλοιπες βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα απορρίμματα. Οι συγκεντρώσεις των  $\text{NH}_4 - \text{N}$  κυμάνθηκαν εντός των βιβλιογραφικών ορίων, που δικαιολογείται από την φάση της μεθανογένεσης στην οποία βρίσκεται η απορριμματική μάζα και η οποία δικαιολογεί την απουσία συγκεντρώσεων νιτροδών και νιτρικών ιόντων. Οι συγκεντρώσεις των  $\text{Cl}^-$  αντιθέτως ξεκινούν από αρκετά υψηλά επίπεδα, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη μεγάλου ποσοστού οργανικού κλάσματος στα απορρίμματα
8. Η αλλαγή του pH κατά την διάρκεια της αποδόμησης σε έναν ΧΥΤΑ επηρεάζει την συγκέντρωση των μετάλλων στα στραγγίσματα. Το pH είναι μια κρίσιμη παράμετρος για τον προσδιορισμό της διαλυτότητας των μετάλλων, και τα βαρέα μέταλλα παρουσιάζουν την ελάχιστη διαλυτότητά τους όταν οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 7 και 10 (Bilgili et al., 2007)
9. Από τα μέταλλα ο σίδηρος (Fe) είναι αυτός που παρουσιάζει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις και έπονται ο ψευδάργυρος (Zn) και το νικέλιο (Ni). Συγκεντρώσεις μετάλλων όπως ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr) και το κάδμιο (Cd) είτε δεν εμφανίζονται καθόλου, είτε εμφανίζονται σε πολύ μικρά ποσά

10. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων που καταγράφονται, θα μπορούσαν χωρίς την λήψη των απαραίτητων μέτρων, να προκαλέσουν σημαντική περιβαλλοντική υποβάθμιση κυρίως στον υπόγειο υδροφόρο της περιοχής, με μη αντιστρεπτά αποτελέσματα
11. Το στρώμα των απορριμμάτων που βρίσκεται ήδη σε προχωρημένη αποδόμηση δρα σαν εδαφικό υλικό, μειώνει το ρυπαντικό φορτίο των στραγγισμάτων και επιταχύνει την βιολογική αποδόμηση

Τα παραπάνω συμπεράσματα πιστεύεται ότι μπορούν να συμβάλλουν εποικοδομητικά στον καλύτερο σχεδιασμό των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και μπορούν να συντελέσουν στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την λειτουργία τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

---

### Εισηγήσεις

Με το πέρας της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, και έχοντας πλέον μια καλύτερη και εκτενέστερη εικόνα της ερευνητικής δραστηριότητας στην ενότητα των στερεών αποβλήτων, καθώς επίσης και των ελλείψεων αναφορικά με την βιβλιογραφία που διαπιστώθηκαν, μπορούν να προταθούν δύο βασικά θέματα, που θα άξιζε να μελετηθούν.

Έχοντας ως πρότυπο την παρούσα εργασία και διαπιστώνοντας ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν καταδεικνύουν σοβαρές επιπτώσεις στο άμεσο περιβάλλον του υπό μελέτη ΧΥΤΑ, προτείνεται πρώτον η επανάληψη της πειραματικής διαδικασίας σε μεγαλύτερη κλίμακα, όπως για παράδειγμα στο πεδίο, καθώς επίσης και η διεξαγωγή επιπρόσθετων μελετών των στραγγισμάτων με την χρήση, ή μη, λυσιμέτρων, θέτοντας διάφορες επιπλέον παραμέτρους ως ερευνητικές υποθέσεις.

Επίσης παρατηρήθηκε η έλλειψη βιβλιογραφικών δεδομένων, αναφορικά πάντα με τον ελληνικό χώρο, που αφορούν ξενοβιοτικές οργανικές ενώσεις (XOCs). Βάσει αυτού, προτείνεται η έρευνα της ύπαρξης ουσιών που εμπίπτουν στην κατηγορία αυτή, όπως για παράδειγμα επιβραδυντές φλόγας, διαλύτες, αρωματικοί και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, φαρμακευτικές ουσίες, τόσο στα στραγγίσματα, όσο και στους γεινιάζοντες υδατικούς πόρους, η περαιτέρω αξιολόγηση των πιθανόν αποτελεσμάτων αλλά και των επιπτώσεών τους, καθώς και η σύγκρισή τους με παρόμοιες έρευνες από την διεθνή βιβλιογραφία.



## Επιστημονικά άρθρα

1. Aziz H.A., Yusoff M.S., Adlan M.N., Adnan N.H., Alias S., (2004), *Physico-chemical removal of iron from semi-aerobic landfill leachate by limestone filter*, Waste Management 24, 353 – 358
2. Belevi H., Baccini P., (1989), *Long - term behavior of municipal solid waste landfills*, Waste Management & Research 7, 43 – 56
3. Bilgili M.S., Demir A., Ince M., Özkaya B., (2007), *Metal concentrations of simulated aerobic and anaerobic pilot scale landfill reactors*, Journal of Hazardous Materials 145, 186 – 194
4. Bilgili M.S., Demir A., Özkaya B., (2006), *Quality and Quantity of Leachate in Aerobic Pilot-Scale Landfills*, Environmental Management 38 (2), 189 – 196
5. Bilgili M.S., Demir A., Özkaya B., (2007), *Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes*, Journal of Hazardous Materials 143, 177–183
6. Callender E., Rice K. C., (2000), *The Urban Environmental Gradient: Anthropogenic Influences on the Spatial and Temporal Distributions of Lead and Zinc in Sediments*, Environmental Science and Technology 34 (2)
7. Cempel M., Nikel G., (2006), *Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology*, Polish Journal of Environmental Studies 15 (3) , 375-382
8. Davis J. M., (1998), *Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl: Health Risk Uncertainties and Research Directions*, Environmental Health Perspectives 106 (1)
9. Eggen T., Moeder M., Arukwe A., (2010), *Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants*, Science of the Total Environment 408, 5147–5157
10. Ehrig H. - J., (1983), *Quality and quantity of sanitary landfill leachate*, Waste Management & Research 1, 53 – 68

11. El - Fadel M., Findikakis A. N., Leckie J. O., (1997), *Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling*, Journal of Environmental Management 50, 1 – 25
12. El - Fadel M., Bou - Zeid E., Chahine W., Alayli B., (2002), *Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content*, Waste Management 22, 269 – 282
13. Fatta D., Papadopoulos A., Loizidou M., (1999), *A study on the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area*, Environmental Geochemistry and Health 21, 175–190
14. Flemming C. A., Trevors J. T., (1989), *Copper toxicity and chemistry in the environment: a review*, Water, Air, and Soil Pollution 44, 143-158
15. Garrison A. W., Cipollone M. G., Wolfe N. L., Swank R. R. JR., (1995), *Environmental fate of methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl*, Environmental Toxicology and Chemistry 14 (11), 1859 – 1864
16. Halvadakis C. P., Findikakis A. N., Papelis C., Leckie J. O., (1988), *The mountain view controlled landfill project field experiment*, Waste Management & Research 6, 103 – 114
17. Jensen D.L., Christensen T.H., (1999), *Colloidal and dissolved metals in leachates from four Danish landfills*, Water Research 33 (9), 2139 – 2147
18. Johansen O. J., Carlson D. A., (1976), *Characterization of sanitary landfill leachates*, Water Research 10, 1129 – 1134
19. Karnchanawong S., Yongpisalpop P., (2009), *Leachate Generation from Landfill Lysimeter using Different Types of Soil Cover*, International Journal of Civil and Environmental Engineering 1:3
20. Kjeldsen P., Barlaz M. A., Rooker A. P., Baun A., Ledin A., Christensen T. H., (2002), *Present and Long – Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review*, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32(4), 297 – 336
21. Komilis D.P., Haritopoulou T., Togia A., (2007), *Municipal solid waste unit production rates and estimation of the required number of waste storage containers in the municipality of Athens*, Global NEST Journal 9 (1), 1 – 5

22. Kotaś J., Stasicka Z., (2000), *Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation*, Environmental Pollution 107, 263 – 283
23. Ledakowicz S., Kaczorek K., (2004), *The effect of advanced oxidation processes on leachate biodegradation in recycling lysimeters*, Waste Management & Research 22, 149 – 157
24. Lisk D.J., (1991), *Environmental effects of landfills*, The Science of the Total Environment 100, 415 – 468
25. Mohan S., Gandhimathi R., (2009), *Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent*, Journal of Hazardous Materials 169, 351 – 359
26. Öman C., Hynning P. – Å., (1993), *Identification of organic compounds in municipal landfill leachates*, Environmental Pollution 80, 265 – 271
27. Øygard J.K., Måge A., Gjengedal E., (2004), *Estimation of the mass-balance of selected metals in four sanitary landfills in Western Norway, with emphasis on the heavy metal content of the deposited waste and the leachate*, Water Research 38, 2851 – 2858
28. Papachristou E., Hadjianghelou H., Darakas E., Alivanis K., Belou A., Ioannidou D., Paraskevopoulou E., Poulios K., Koukourikou A., Kosmidou N., Sortikos K., (2009), *Perspectives for integrated municipal solid waste management in Thessaloniki, Greece*, Waste Management 29, 1158 – 1162
29. Paschke M. W., Valdecantos A., Redente E. F., (2005), *Manganese toxicity thresholds for restoration grass species*, Environmental Pollution 135, 313 – 322
30. Seco J. I., Fernández – Pereira C., Vale J., (2003), *A study of the leachate toxicity of metal-containing solid wastes using Daphnia magna*, Ecotoxicology and Environmental Safety 56, 339 – 350
31. Slack R.J., Gronow J.R., Voulvoulis N., (2005), *Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate*, Science of the Total Environment 337, 119 – 137
32. Stessel R. I., Murphy R. J. (1992), *A lysimeter study of the aerobic landfill concept*, Waste Management & Research 10, 485 – 503
33. Tatsi A.A., Zouboulis A.I., (2002), *A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a*

- Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece)*, Advances in Environmental Research 6, 207 – 219
34. Thornton S. F., Lerner D. N., Tellam J. H., (2001), *Attenuation of landfill leachate by clay liner materials in laboratory columns: 2. Behaviour of inorganic contaminants*, Waste Management & Research 19, 70 – 88
35. Vuori K – M., (1995), *Direct and indirect effects of iron on river ecosystems*, Ann. Zool. Fennici 32, 317 – 329
36. Zanoni A.E., Fungaroli A. A., (1973), *Potential for ground water pollution from the land disposal of solid wastes*, C R C Critical Reviews in Environmental Control 3:1 - 4, 225 - 260
37. Zayed J., Vyskocil A., Kennedy G., (1999), *Environmental contamination and human exposure to manganese - contribution of methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl in unleaded gasoline*, International Archives of Occupational and Environmental Health 72, 7 – 13

## **Βιβλία**

1. Fergusson J.E., (1990), *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*, εκδόσεις Pergamon Press, Oxford
2. Metcalf & Eddy, Inc, (2006), *Μηχανική υγρών αποβλήτων*, 4<sup>η</sup> Έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
3. Miller G. T. Jr., Spoolman S. E., (2009), *Living in the environment – Concepts, connections and solutions*, εκδόσεις Brooks/ Cole Cengage Learning, USA
4. Tchobanoglous G., Kreith F., (2002), *Handbook of solid waste management*, εκδόσεις McGraw – Hill, New York, USA
5. Wright R.T., (2005), *Environmental Science*, εκδόσεις Pearson Education Inc., New Jersey
6. Αλμπάνης Τρ., (2005), *Ρύπανση και τεχνολογία προστασίας περιβάλλοντος*, εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Ιωάννινα
7. Βαλαβανίδης Αθ., (2007), *Οικοτοξικολογία και περιβαλλοντική τοξικολογία*, έκδοση Τμήμα Χημείας Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα

8. Καραγιαννίδης Π., (2009), *Ειδική Ανόργανη Χημεία*, 4<sup>η</sup> Έκδοση, εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
9. Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ., (1998), *Χημεία περιβάλλοντος*, εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη
10. Λαζαρίδης Μ., (2008), *Ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους*, εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
11. Λέκκας Θ., (2001), *Περιβαλλοντική Μηχανική II – Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων*, εκδόσεις Κόσμος ΠΕΜΕΡ ΕΠΕ, Αθήνα
12. Οικονομόπουλος Α.Π., (2009), *Διαμόρφωση και συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών εθνικών σχεδίων διαχείρισης αστικών απορριμμάτων*, προσωπική έκδοση
13. Παναγιωτακόπουλος Δ., (2007), *Βιώσιμη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων*, εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη
14. Παπαδογιάννης Ι., (2000), *Εργαστηριακές Ασκήσεις Ενόργανης Χημικής Ανάλυσης*, Εκδόσεις Πήγασος 2000, Θεσσαλονίκη
15. Παπαδογιάννης Ι., Σαμανίδου Β., (2001), *Ενόργανη Χημική Ανάλυση*, Εκδόσεις Πήγασος 2000, Θεσσαλονίκη
16. Φυτιάνος Κ., (1996), *Η ρύπανση των θαλασσών*, εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη

### **Πανεπιστημιακές Μελέτες - Σημειώσεις**

1. Αγγελίδης Μ., (1993), *Εργαστηριακές ασκήσεις περιβαλλοντικής χημείας*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
2. Αργυροκαστρίτης Ι., (2006), *Εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής εδάφους και αρδεύσεων*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
3. Βογιάννης Ε., (2006), *Διαχείριση στερεών και επικίνδυνων αποβλήτων*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
4. Βουδούρης Κ., (2006), *Υδρογεωλογία περιβάλλοντος*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

5. Βουτσά Δ, (2009), *Στερεά αστικά και βιομηχανικά απόβλητα*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
6. Κατσίρη Α., (2009), *Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και Ιλύος*, Διδακτικές σημειώσεις, ΔΠΜΣ ΕΜΠ: Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
7. Λοϊζίδου Μ., (2007), *Στερεά απόβλητα*, Διδακτικές σημειώσεις, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
8. Μποσδογιάννη Α., (1997), *Βιολογική αποδόμηση αστικών απορριμμάτων*, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
9. Τζεδάκης Π., (2007), *Κλιματικές Αλλαγές*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
10. Τζιούρα Γ., (2010), *Η επίδραση του pH στην έκλυση μετάλλων από θαλάσσια ιζήματα*, Διπλωματική εργασία, ΔΠΜΣ ΕΜΠ: Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
11. Φελεσκούρα Χ., Παπαϊωάννου Ε., (2004), *Σύγχρονες τεχνολογίες ανακύκλωσης απορριμμάτων – Διαχείριση και ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων*, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, ΤΕΙ Χαλκίδας
12. Χαραλάμπους Α., (2007), *Υδάτινο Περιβάλλον*, Διδακτικές σημειώσεις, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

## **Νομοθεσία**

1. Συμβούλιο της Ευρώπης (1999), *Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων*
2. Συμβούλιο της Ευρώπης (2000), *Οδηγία 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Δεκεμβρίου 2000 για την αποτέφρωση των αποβλήτων*
3. Συμβούλιο της Ευρώπης (2006), *Οδηγία 2006/12/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Απριλίου 2006 περί των στερεών αποβλήτων*

4. Συμβούλιο της Ευρώπης (2008), *Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών*

## Εκθέσεις

1. ECOREC, (2011), *The Greek situation with regard to waste management*, Presentation, Waste Workshop, Athens, 3 & 4 November 2011
2. Swedish Environmental Protection Agency, (2000), *Leachate emissions from landfills – Final report*, Stockholm
3. United Nations, (1997), *Glossary of environmental statistics*, New York
4. United States Geological Survey (USGS), (2011), *Mineral Commodity Summaries – Chromium*
5. United States Geological Survey (USGS), (2011), *Mineral Commodity Summaries - Copper*
6. United States Geological Survey (USGS), (2011), *Mineral Commodity Summaries - Nickel*
7. United States Geological Survey (USGS), (2011), *Mineral Commodity Summaries - Zinc*
8. United States Geological Survey (USGS), (2011), *Mineral Commodity Summaries - Manganese*
9. United States Geological Survey (USGS), (2011), *Mineral Commodity Summaries – Iron and Steel*
10. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, (2011), *Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης Ελευσίνας*
11. Ελληνική Στατιστική Αρχή, (2011), *Ανακοίνωση προσωρινών αποτελεσμάτων Απογραφής Πληθυσμού 2011*
12. Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής, (2000), *Χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων Δυτικής Αττικής*
13. Θεοχάρη Χ, Αραβώσης Κ, Βαρελίδης Π, Ηλίας Δ, Ζιώγας Χ, Ιατρού Σ, Μπούρκα Α. – Α., Οικονομόπουλος Α, Παπαγρηγορίου Σ, Παντελάρας Π, Φραντζής Ι., (2006), *Διαχείριση στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα – Η περίπτωση της Αττικής*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας

- 14.Μαυρόπουλος Α., (2008), *Τεχνολογίες επεξεργασίας απορριμμάτων*,  
Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης
- 15.Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής  
(ΥΠΕΚΑ), (2010), *5<sup>th</sup> National communication to the United Nations  
Framework Convention on climate change*, Αθήνα



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

---

## Παράρτημα Α

### Περιγραφή αναλυτικών μεθόδων ποιοτικού ελέγχου των χαρακτηριστικών των στραγγισμάτων

#### *Μέτρηση αγωγιμότητας*

---

Ως ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού ορίζεται το μέτρο της ικανότητας ενός διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται από τα ιόντα του διαλύματος, η αγωγιμότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων. Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε μονάδες SI είναι τα millisiemens ανά εκατοστό (mS/cm).

#### Πειραματική συσκευή

Ⓢ Αγωγιμόμετρο Consort C931

#### Πειραματική διαδικασία

Πριν από την μέτρηση το αγωγιμόμετρο ρυθμίζεται. Ακολουθεί έκπλυση του ηλεκτροδίου του αγωγιμόμετρου με απιονισμένο νερό πριν από κάθε επανάληψη. Το ηλεκτρόδιο κατόπιν βυθίζεται στο δείγμα και λαμβάνεται η ένδειξη.

### Μέτρηση pH

---

Το pH, το οποίο αποτελεί ποιοτική παράμετρο τόσο των νερών όσο και των αποβλήτων, εκφράζει την συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε ένα διάλυμα και ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης αυτής, δηλαδή:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

Η κλίμακα του pH εκτείνεται από 0 για πολύ όξινα διαλύματα έως 14 για πολύ αλκαλικά με ουδέτερο pH το 7, πάντα σε θερμοκρασία 25° C.

#### Πειραματική συσκευή και αντιδραστήρια

- Ⓢ Ρυθμιστικά διαλύματα Hach Lange pH 4 και pH 7
- Ⓢ Πεχάμετρο Metrohm 654 pH Meter

#### Πειραματική διαδικασία

Πριν την μέτρηση το pHμετρο ρυθμίζεται με την βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων με pH 4 και 7. Ακολουθεί έκπλυση του ηλεκτροδίου του pHμέτρου με απιονισμένο νερό πριν από κάθε επανάληψη. Στην συνέχεια το ηλεκτρόδιο βυθίζεται στο δείγμα και λαμβάνεται η ένδειξη.

### Μέτρηση Ολικών Στερεών (TS)

---

Η μέτρηση των ολικών στερεών βασίζεται στην ολική εξάτμιση γνωστού όγκου ενός δείγματος και στην μέτρηση της μάζας του υπολείμματος.

#### Πειραματικές συσκευές

- Ⓢ Κατάλληλες πορσελάνινες κάψες
- Ⓢ Φούρνος ξήρανσης στους 103 – 105° C ± 2° C
- Ⓢ Ξηραντήρας
- Ⓢ Ζυγός ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων KERN ALS 120 – 4

#### Πειραματική διαδικασία

Οι κάψες τοποθετούνται για 20 λεπτά στον φούρνο ξήρανσης. Αφού βγουν από τον φούρνο τοποθετούνται για 15 λεπτά σε ξηραντήρα και μετά ζυγίζονται (Α). Ανακινούμε καλά το δείγμα μας, για να επιτευχθεί ομογενοποίηση των στερεών, και λαμβάνουμε μια ποσότητα δείγματος την οποία και τοποθετούμε στην κάψα. Οι κάψες τοποθετούνται εκ νέου στον φούρνο ξήρανσης στους 105° C μέχρι να εξατμιστεί όλη η ποσότητα των δειγμάτων. Αφού βγουν, τοποθετούνται σε ξηραντήρα για 15 λεπτά και ζυγίζονται (Β). Η τελική συγκέντρωση δίνεται από τον τύπο:

$$TS = \frac{(B - A) \cdot 10^6}{ml \text{ δείγματος}} \text{ mg/l}$$

#### Μέτρηση Ολικών Αιωρούμενων Στερεών (TSS)

Η μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών στηρίζεται στο διαχωρισμό των αιωρούμενων στερεών από τα διαλυτά μέσω διήθησης γνωστού όγκου δείγματος, ενώ απαλλάσσονται από την υγρασία με εξάτμιση στους 103-105° C.

#### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- Ⓢ Συσκευή διήθησης γυάλινη με αντλία κενού
- Ⓢ Φίλτρα GF/C (Whatman ή αντίστοιχα) διαμέτρου 47 mm
- Ⓢ Φούρνος πτητικών 550° C
- Ⓢ Φούρνος ξήρανσης στους 103 – 105° C ± 2° C
- Ⓢ Ξηραντήρας
- Ⓢ Ζυγός ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων KERN ALS 120 – 4

#### Πειραματική διαδικασία

Τα φίλτρα αριθμούνται και τοποθετούνται για 20 λεπτά στον φούρνο πτητικών στους 550° C για να αποβάλουν την περιεχόμενη υγρασία. Αφού βγουν τοποθετούνται σε ξηραντήρα για άλλα 20 λεπτά και κατόπιν ζυγίζονται (Α). Τοποθετούμε το φίλτρο στην συσκευή και κατόπιν διηθούμε γνωστό όγκο δείγματος. Τα φίλτρα στην συνέχεια τοποθετούνται για 1 ώρα στον φούρνο

ξηρανσης στους 105° C. Αφού βγουν τοποθετούνται σε ξηραντήρα για 15 λεπτά και ζυγίζονται (B). Η τελική συγκέντρωση δίνεται από τον τύπο:

$$\text{TSS} = \frac{(B - A) \cdot 10^6}{\text{ml δάγματος}} \text{ mg/l}$$

### Μέτρηση COD

Η μέτρηση του COD, μας δίνει πληροφορίες για την ρυπαντική ισχύ των οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων, αποτελεί δηλαδή μέτρο της ολικής ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για την οξειδωση των οργανικών ουσιών, που περιέχει το απόβλητο σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό σύμφωνα με την εξίσωση:



Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στο ότι οι οργανικές ενώσεις, με ελάχιστες εξαιρέσεις, κάτω από την επίδραση ισχυρού οξειδωτικού σε όξινο περιβάλλον, οξειδώνονται. Κατά τον προσδιορισμό είναι αδύνατον να διαπιστώσουμε αν μια ένωση οξειδώνεται και βιολογικά ή αν δεν βιοαποικοδομείται. Επίσης δεν μας δίνει την ταχύτητα με την οποία μια βιοαποικοδομήσιμη ουσία διασπάται/αποικοδομείται κάτω από φυσικές συνθήκες. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο μικρός χρόνος προσδιορισμού, δηλαδή 2 ώρες.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός γίνεται με τη οξείδωση δείγματος με ένα θερμό θειικό διάλυμα διχρωμικού καλίου ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), παρουσία θειικού αργύρου ( $\text{AgSO}_4$ ) ως καταλύτη. Τα υπάρχοντα χλωριόντα δεσμεύονται με θειικό υδράργυρο ( $\text{HgSO}_4$ ). Τελικά η συγκέντρωση των πράσινων ιόντων  $\text{Cr}^{3+}$  προσδιορίζεται φωτομετρικά, και αντιστοιχεί στην συγκέντρωση του COD.

### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- Ⓢ Αντιδραστήριο της Merck: COD 14541
- Ⓢ Βραστήρας Block Heater 1540 C – Tech
- Ⓢ Φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός τύπου Merck Spectroquant NOVA

### Πειραματική διαδικασία

Στο φιαλίδιο του αντιδραστηρίου προστίθενται 3 ml δείγματος. Τα φιαλίδια πωματίζονται και τοποθετούνται για βρασμό στους 148° C για 2 ώρες. Αφού ολοκληρωθεί ο βρασμός τα φιαλίδια αφήνονται να κρυώσουν, για τουλάχιστον μισή ώρα, και στην συνέχεια τοποθετούνται στο φασματοφωτόμετρο για ανάγνωση.

### Μέτρηση Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)

Ο προσδιορισμός του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC), καθώς επίσης και του Ολικού Αζώτου (TN) πραγματοποιήθηκε από την ίδια πειραματική συσκευή και στον ίδιο χρόνο. Ο προσδιορισμός του TOC δεν γίνεται απευθείας αλλά σε δύο μέρη. Αρχικά προσδιορίζεται ο ολικός άνθρακας (TC) με καταλυτική καύση σε θερμοκρασία 680° C. Με την καύση μετατρέπονται όλες οι μορφές του άνθρακα σε CO<sub>2</sub> και νερό και οδηγούνται, με την βοήθεια φέροντος αερίου, σε συμπυκνωτή όπου αφαιρείται το νερό. Τελικά το CO<sub>2</sub> οδηγείται σε ανιχνευτή μη – σχεδιαστικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (NDIR) όπου γίνεται ο ποσοτικός προσδιορισμός του. Εν συνεχεία προσδιορίζεται ο ανόργανος άνθρακας (IC) όπου οξινισμένο, αυτή τη φορά, δείγμα ψεκάζεται με το φέρον αέριο μετατρέποντας όλες τις μορφές ανόργανου άνθρακα σε CO<sub>2</sub> το οποίο οδηγείται με την σειρά του και αυτό στον ανιχνευτή NDIR. Η τιμή του TOC δίνεται από την διαφορά TC – IC.

### Πειραματική συσκευή

© Total organic carbon analyzer TOC – V<sub>C<sub>SH</sub></sub> Shimadzu

### Πειραματική διαδικασία

Ποσότητα δείγματος απορροφάται από την συσκευή και προσδιορίζεται πρώτα ο ολικός άνθρακας και μετά ο ανόργανος άνθρακας. Η διαφορά των δύο δίνει, όπως ειπώθηκε, τον ολικό οργανικό άνθρακα.

### Μέτρηση Ολικού Αζώτου (TN)

---

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω ο προσδιορισμός του TOC και του TN πραγματοποιήθηκε από την ίδια πειραματική συσκευή και στον ίδιο χρόνο. Το ολικό άζωτο (TN) προσδιορίζεται και αυτό με καταλυτική καύση σε θερμοκρασία όμως 720° C. Η καύση μετατρέπει το άζωτο σε μονοξείδιο του αζώτου (NO), το οποίο αφού περάσει από τον συμπυκνωτή, οδηγείται σε ανιχνευτή χημειοφωταύγειας. Εκεί το NO αντιδρά παρουσία όζοντος για τον σχηματισμό της διεγερμένης κατάστασης του NO<sub>2</sub>. Καθώς επιστρέφει στην κανονική του κατάσταση εκλύει φωτεινότητα, η οποία μετράται με τον ανιχνευτή χημειοφωταύγειας και αντιστοιχεί στον TN.

#### Πειραματική συσκευή

- Ⓢ Total organic carbon analyzer TOC – V<sub>CSH</sub> Shimadzu
- Ⓢ Total nitrogen unit TNM – 1 Shimadzu

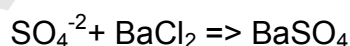
#### Πειραματική διαδικασία

Ποσότητα δείγματος απορροφάται από την συσκευή και αφού προσδιοριστεί ο TOC, απορροφάται ακόμη λίγη ποσότητα δείγματος και προσδιορίζεται το ολικό άζωτο.

### Μέτρηση Θεικών Ιόντων (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)

---

Ο προσδιορισμός των θεικών ιόντων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των θεικών ιόντων, το αντιδραστήριο που χρησιμοποιείται είναι το χλωριούχο βάριο (BaCl<sub>2</sub>) το οποίο αντιδρά με τα SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> βάσει της παρακάτω αντίδρασης και σχηματίζεται λευκό ίζημα θειικού βαρίου (BaSO<sub>4</sub>).



Το  $\text{BaSO}_4$  προκαλεί θολότητα εάν στο δείγμα περιέχονται  $\text{SO}_4^{-2}$ . Με φωτόμετρο μετράται το φως που απορροφάται από το αιωρούμενο  $\text{BaSO}_4$ . Η ποσότητα της θολότητας που σχηματίζεται είναι ανάλογη της συγκέντρωσης  $\text{SO}_4^{-2}$  του δείγματος.

#### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- Ⓢ Κυψελίδες δείγματος χωρητικότητας 25 ml
- Ⓢ Αντιδραστήριο της Hach: SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow
- Ⓢ Φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός τύπου Hach Lange DR 2800

#### Πειραματική διαδικασία

Προστίθενται 25 ml δείγματος στις κυψελίδες και το αντιδραστήριο της HACH, SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow. Στη συνέχεια πωματίζονται οι κυψελίδες και ανακινούνται για να διαλυθεί το αντιδραστήριο. Έπειτα τα δείγματα αφήνονται για 5 λεπτά, ώστε να ολοκληρωθεί η αντίδραση, και μετράται η απορρόφηση του κάθε δείγματος χρησιμοποιώντας το φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος ίσο με 450 nm, αφού προηγηθεί μηδενισμός με το τυφλό δείγμα (blank), δηλαδή 25 ml απιονισμένου νερού με προσθήκη αντιδραστήριου.

#### Μέτρηση Αμμωνιακών ( $\text{NH}_4^+$ - N)

Ο προσδιορισμός των αμμωνιακών ιόντων πραγματοποιείται και αυτός χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο. Ο ποσοτικός προσδιορισμός γίνεται μέσω της αντίδρασης των αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ), σε pH 12,6 με υποχλωριώδη ιόντα ( $\text{ClO}^-$ ) και σαλικυλικά ιόντα ( $\text{C}_6\text{H}_4\text{O} - \text{COOH}$ ), παρουσία νιτροπρωσικού νατρίου ( $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$ ) ως καταλύτη για να προκύψει ως τελικό προϊόν ινδοφαινόλη. Η ποσότητα του χρώματος που σχηματίζεται από την αντίδραση αυτή, είναι άμεσα ανάλογη με το αμμωνιακό άζωτο που περιέχεται στο δείγμα.

### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- Ⓢ Αντιδραστήριο της Hach: Ammonia, ULR TNT830 Reagent Set
- Ⓢ Φασματοφωτόμετρο ορατού φωτός τύπου Hach Lange DR 2800

### Πειραματική διαδικασία

Προστίθενται 5 ml δείγματος στην κυβέτα με τα περιεχόμενα αντιδραστήρια. Κατόπιν η κυβέτα πωματίζεται και ανακινείται για να γίνει ανάμιξη με το αντιδραστήριο. Στη συνέχεια τα δείγματα αφήνονται για 15 λεπτά μέχρι να ολοκληρωθεί η αντίδραση και κατόπιν τοποθετούνται στο φασματοφωτόμετρο για ανάγνωση μέσω της διαδικασίας του barcode, σε μήκος κύματος 690 nm, χωρίς την χρήση τυφλού δείγματος. Επειδή όμως η ένδειξη εδώ βασίζεται στη μέτρηση του αζώτου, απαιτείται η μετατροπή της ένδειξης σε συγκέντρωση (mg/l) αμμωνιακών ιόντων. Η μετατροπή γίνεται με την χρήση του τύπου:

$$C \text{ (mg/l)} = (\text{Μοριακό βάρος } \text{NH}_4 / \text{Μοριακό βάρος N}) * \text{Ένδειξη φασματοφωτόμετρο} * \text{Αραίωση}$$

### Μέτρηση Νατρίου (Na)

Η μέτρηση του νατρίου (Na) γίνεται με την βοήθεια φλογοφωτόμετρο. Η ποσοτική ανάλυση στο φλογοφωτόμετρο γίνεται με τη μέτρηση της εκπομπής φλόγα των διαλυμάτων που περιέχουν, εκτός από το Na και άλλα μεταλλικά άλατα. Τα διαλύματα αναρροφούνται μέσα σε φλόγα, κυρίως προπανίου, η οποία εξατμίζει τον διαλύτη, νεφελοποιεί το μέταλλο, και διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο σθένους σε μια ανώτερη κατάσταση. Καθώς το ηλεκτρόνιο επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, φως εκπέμπεται σε χαρακτηριστικά μήκη κύματος, που με την χρήση ειδικού οπτικού φίλτρου δίνει το μήκος κύματος της εκπομπής του Na ή των άλλων μετάλλων που έχουμε επιλέξει.

### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- Ⓢ Πρότυπα διαλύματα νατρίου 0, 5, 10, 15, 20, 25 και 30 ppm
- Ⓢ Φλογοφωτόμετρο Corning Flame Photometer 410



### Πειραματική διαδικασία

Πριν από τον ποσοτικό προσδιορισμό του Na, απαιτείται η βαθμονόμηση του οργάνου η οποία γίνεται με την χρήση πρότυπων διαλυμάτων Na των 0, 5, 10, 15, 20, 25 και 30 ppm. Η βαθμονόμηση αυτή μας δίνει μια δευτεροβάθμια εξίσωση, η οποία με την αντικατάσταση των αγνώστων της με τις τιμές που θα προκύψουν μας δίνει τελικά την τελική συγκέντρωση του Na. Αφού βαθμονομήσουμε το όργανο τοποθετούμε προς μέτρηση μικρή ποσότητα δείγματος. Η ένδειξη που λαμβάνουμε, αφού αντικατασταθεί στην δευτεροβάθμια εξίσωση μας δίνει την συγκέντρωση του Na σε mg/l.

### Μέτρηση Καλίου (K)

---

Η μέτρηση του καλίου (K) γίνεται με την βοήθεια φλογοφωτόμετρου, η λειτουργία του οποίου περιγράφηκε παραπάνω στην μέτρηση του νατρίου.

### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- Ⓢ Φλογοφωτόμετρο Corning Flame Photometer 410

### Πειραματική διαδικασία

Πριν από τον ποσοτικό προσδιορισμό του K, απαιτείται η βαθμονόμηση του οργάνου η οποία γίνεται με την χρήση πρότυπων διαλυμάτων K. Αφού βαθμονομήσουμε το όργανο τοποθετούμε προς μέτρηση μικρή ποσότητα δείγματος. Η ένδειξη που λαμβάνουμε αντιστοιχεί στην συγκέντρωση του K σε mg/l.

### Μέτρηση χλωριόντων (Cl)

---

Ο προσδιορισμός των χλωριόντων πραγματοποιείται εφαρμόζοντας την τεχνική της ποτενσιομετρικής ογκομέτρησης καθίζησης, χρησιμοποιώντας

πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ). Σε μια ποτενσιομετρική ογκομέτρηση αντί για την προσθήκη δείκτη στο δείγμα, βυθίζουμε δύο ηλεκτρόδια και μετράμε την διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ τους κατά την πορεία της ογκομέτρησης. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού μεταβάλλεται με τέτοιο τρόπο που δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού ενός τελικού σημείου, του ισοδύναμου σημείου. Το ισοδύναμο σημείο αντιστοιχεί στο σημείο της μέγιστης κλίσης της καμπύλης που προκύπτει από τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της ενεργότητας των ιόντων ως προς τον όγκο. Στις ποτενσιομετρικές ογκομετρήσεις καθίζησης περιλαμβάνονται αντιδράσεις στις οποίες έχουμε σχηματισμό δυσδιάλυτου άλατος που καταβυθίζεται, ενώ το χρησιμοποιούμενο ηλεκτρόδιο είναι συνήθως του μετάλλου που παίρνει μέρος στην αντίδραση καθίζησης ή σχηματίζεται με το ανιόν της αντίδρασης. Η μέθοδος προσδιορισμού των χλωριόντων βασίζεται στην καταβύθιση λευκού ιζήματος  $\text{AgCl}$  κατά την τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ), μέχρι το ισοδύναμο σημείο της τιτλοδότησης.

#### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- Ⓢ Πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,01 N
- Ⓢ Πρότυπο διάλυμα νιτρικού οξέως ( $\text{HNO}_3$ ) 2 N
- Ⓢ Ποτενσιομετρικός τιτλοδότης Metrohm 702 SM Titrino

#### Πειραματική διαδικασία

Σε 25 ml δείγματος προστίθενται 2,5 ml  $\text{HNO}_3$  και τοποθετούνται πάνω σε μαγνητικό αναδευτήρα. Εντός του δείγματος βυθίζεται το ηλεκτρόδιο αργύρου, το ηλεκτρόδιο αναφοράς και η προχοϊδα. Ακολουθεί η τιτλοδότηση με  $\text{AgNO}_3$  μέχρις ότου το διάλυμα φτάσει στο ισοδύναμο σημείο, όπου και λήγει η τιτλοδότηση. Η ένδειξη που λαμβάνουμε από τον τιτλοδότη αντιστοιχεί στον όγκο (ml) του  $\text{AgNO}_3$  και μετατρέπεται σε συγκέντρωση (mg/l)  $\text{Cl}^-$  με την βοήθεια της εξίσωσης:

$$C \text{ (mg/l)} = \left( \frac{N \cdot 1000 \cdot \text{Κατάναλωση (ml)} \cdot \text{Αραίωση}}{\text{Όγκος δείγματος (ml)}} \right) \cdot \text{Ατομικό βάρος Cl}$$

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των μετάλλων στο υπερκείμενο υγρό διάφορων δειγμάτων πραγματοποιείται με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης, με ατομοποίηση με φλόγα (AAS), σύμφωνα με το Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, μέθοδος 3110 (APHA, 2005). Η ατομική απορρόφηση βασίζεται στη μέτρηση της ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος που απορροφούν οι ατομοποιημένες μορφές μετάλλων που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Επειδή η ενέργεια των ατόμων είναι κβαντισμένη, οι μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων συντελούνται μόνο μεταξύ καθορισμένων ενεργειακών επιπέδων. Έτσι, όταν στις ατομοποιημένες μορφές μετάλλων προσπίπτει ακτινοβολία, απορροφώνται μόνο συγκεκριμένες ενεργειακές στάθμες, οπότε λαμβάνεται το φάσμα απορρόφησης. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας οδηγεί σε μετάπτωση ενός ηλεκτρονίου σε ανώτερη ενεργειακή στιβάδα, που αντιστοιχεί σε διεγερμένη κατάσταση του ατόμου. Οι διεγερμένες καταστάσεις είναι ασταθέστερες σε σχέση με τη θεμελιώδη, με αποτέλεσμα την αυθόρμητη επαναφορά του ηλεκτρονίου στη θεμελιώδη κατάσταση, με εκπομπή ακτινοβολίας μικρότερου μήκους κύματος, της ακτινοβολίας φθορισμού. Η ηλεκτρονική δομή του ατόμου, στη θεμελιώδη και τις διεγερμένες καταστάσεις, είναι μοναδική για κάθε στοιχείο, επομένως και η ακτινοβολία που απαιτείται για τη διέγερση είναι χαρακτηριστική για κάθε στοιχείο. Ειδικότερα κατά την μέτρηση με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης αρχικά χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα γνωστών συγκεντρώσεων, κατασκευάζονται καμπύλες αναφοράς, με τις οποίες συσχετίζεται η συγκέντρωση με την απορρόφηση των προτύπων δειγμάτων. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των μετάλλων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την τιμή απορρόφησης του κάθε δείγματος, στην καμπύλη βαθμονόμησης ώστε να υπολογιστεί η τελική συγκέντρωση του μετάλλου στο δείγμα.

### Πειραματικές συσκευές και αντιδραστήρια

- ⊙ Πυκνό διάλυμα νιτρικού οξέως ( $\text{HNO}_3$ )

- Ⓢ Φυγόκεντρος IEC Centra CL2
- Ⓢ Πρότυπα διαλύματα Cr, Cd, Fe, Ni, Zn, Mn, Pb και Cu
- Ⓢ Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης Agilent Technologies 200 Series AA

### Πειραματική διαδικασία

Πριν πραγματοποιηθεί η μέτρηση τα δείγματα έπρεπε να υποστούν την παρακάτω προκατεργασία για την σωστή συντήρηση αλλά και μέτρησή τους. Αμέσως μετά την δειγματοληψία τα δείγματα αποθηκεύονταν σε κατάλληλα δοχεία και συντηρούνταν με όξυνση με πυκνό νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ) σε pH μικρότερο από 2 (συνήθως 1,5 ml πυκνού  $\text{HNO}_3$  /L δείγματος). Μετά την όξυνση τα δείγματα φυλάσσονταν σε ψυγείο στους 4° C. Πριν από την μέτρηση σε δείγματα που περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια ενδείκνυται η χώνευσή τους για την σωστή μέτρηση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε αιωρούμενα ήταν μικρή, αλλά επιπλέον η περιεκτικότητα σε νάτριο ήταν μεγάλη, προτιμήθηκε να γίνει φυγοκέντρηση των δειγμάτων για να μην υποστούν αλλοίωση, από την διαδικασία της χώνευσης. Τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν για 4 λεπτά στις 3600 rpm. Ύστερα από την κατεργασία αυτή, κάθε δείγμα τοποθετούνταν στο AAS όπου μικρή ποσότητα από το υπερκείμενο υγρό απορροφούνταν για την περαιτέρω μέτρηση έτσι όπως περιγράφηκε παραπάνω.

## Παράρτημα Β

# Συγκεντρώσεις μετάλλων στα παραγόμενα στραγγίσματα

Πίνακας 19: Συγκεντρώσεις μετάλλων λυσίμετρου Α

Χρόνος (h)	Συγκεντρώσεις (mg/l)					
	Cu	Mn	Fe	Ni	Cd	Zn
0	0,918	0,187	0,878	1,3	0,006	0,9743
0,666667	0,886	0,186	0,906	1,236	0,012	0,9388
4,166667	0,701	0,145	0,782	0,912	0,004	0,7362
4,366667	0,691	0,144	0,617	0,936	0,004	0,8316
4,666667	0,795	0,166	0,732	1,115	0,003	0,8798
4,766667	0,79	0,165	0,737	1,134	0,004	0,8853
4,966667	0,815	0,178	0,821	1,114	0,003	0,925
5,666667	0,789	0,178	0,854	1,068	0,002	0,9151
6,666667	0,79	0,184	0,91	1,042	0,002	0,9194
7,166667	0,787	0,19	0,875	1,012	0,001	0,9232
7,666667	0,796	0,192	0,914	1,014	0	0,9283
8,166667	0,787	0,195	0,93	0,99	0	0,9239
8,666667	0,823	0,206	0,983	1,003	0	0,9498
9,166667	0,802	0,204	0,992	0,949	0	0,9137
9,666667	0,797	0,209	0,982	0,937	0	0,9223
10,16667	0,817	0,225	1,111	1,011	0,004	0,9408
10,66667	0,825	0,227	1,145	1	0,003	0,9402
11,16667	0,84	0,233	1,188	1,002	0,003	0,9601
11,66667	0,838	0,236	1,206	0,984	0,002	0,9389
12,16667	0,789	0,224	1,155	0,903	0,003	0,8956
12,66667	0,787	0,225	1,106	0,899	0,002	0,9038
13,16667	0,822	0,235	1,189	0,934	0,002	0,9295
13,66667	0,827	0,24	1,272	0,919	0,001	0,9376

<b>14,66667</b>	0,849	0,252	1,394	0,911	0,002	0,9403
<b>15,66667</b>	0,811	0,241	1,376	0,845	0,001	0,9102
<b>17,66667</b>	0,842	0,253	1,72	0,826	0,001	0,9316
<b>19,66667</b>	0,843	0,25	1,889	0,787	0,001	0,9247
<b>21,66667</b>	0,851	0,25	2,072	0,739	0,002	0,9241
<b>25,08333</b>	0,888	0,26	2,701	0,707	0	0,9596
<b>37,66667</b>	0,965	0,262	3,417	0,617	0	0,9818
<b>39,66667</b>	0,959	0,237	3,453	0,505	0	0,9222
<b>43,66667</b>	1,027	0,241	3,713	0,506	0	0,9328
<b>46,16667</b>	0,932	0,215	3,278	0,438	0	0,8497
<b>63,16667</b>	1,113	0,247	3,674	0,445	0	0,8925
<b>65,16667</b>	1,143	0,218	3,643	0,417	0	0,8021
<b>69,16667</b>	1,142	0,207	3,603	0,397	0	0,7732
<b>71,16667</b>	1,073	0,191	3,377	0,344	0	0,7316
<b>87,66667</b>	1,311	0,243	3,857	0,402	0	0,7951
<b>90,66667</b>	1,326	0,211	3,654	0,36	0	0,7121
<b>98,66667</b>	1,316	0,22	3,585	0,373	0	0,6915
<b>111,4167</b>	1,411	0,227	3,624	0,357	0	0,6742
<b>120,1667</b>	1,538	0,221	3,655	0,35	0	0,6498
<b>135,4167</b>	1,698	0,236	3,978	0,36	0	0,6385
<b>144,3333</b>	1,874	0,191	4,377	0,354	0	0,5688
<b>159,6667</b>	1,999	0,209	5,141	0,346	0,001	0,5619
<b>167,1667</b>	2,002	0,201	5,376	0,325	0,003	0,5583
<b>187,1667</b>	1,939	0,191	5,837	0,307	0,004	0,5494
<b>207,1667</b>	1,816	0,189	7,88	0,351	0,005	0,6456
<b>223,1667</b>	2,177	0,231	7,56	0,553	0,002	0,8431
<b>231,6667</b>	2,097	0,225	8,18	0,586	0,002	0,8756
<b>236,1667</b>	1,688	0,228	6,88	0,496	0,002	0,8333
<b>253,6667</b>	1,653	0,233	8,04	0,544	0	0,833
<b>259,1667</b>	1,81	0,286	8,55	0,594	0	0,8498
<b>281,6667</b>	1,575	0,243	8,87	0,558	0	0,8017
<b>303,6667</b>	1,299	0,21	8,41	0,524	0	0,76
<b>325,1667</b>	1,06	0,175	7,95	0,468	0	0,7019

331,6667	0,895	0,17	6,25	0,416	0	0,6972
349,6667	0,844	0,168	7,8	0,429	0	0,6374
355,1667	0,575	0,142	5,46	0,302	0	0,5894
373,9167	0,502	0,141	7,16	0,319	0	0,5299
379,1667	0,466	0,103	5,94	0,264	0	0,5089
397,6667	0,504	0,133	7,9	0,328	0	0,5056
421,9167	0,529	0,145	8,36	0,374	0	0,5352
476,1667	0,452	0,172	10,14	0,452	0	0,5301
506,6667	0,501	0,106	7,66	0,385	0	0,5489
540,9167	0,46	0,146	12,13	0,47	0	0,6821

Πίνακας 20: Συγκεντρώσεις μετάλλων λυσίμετρου Β

Χρόνος (h)	Συγκεντρώσεις (mg/l)				
	Cu	Mn	Fe	Ni	Zn
0					1,5433
0,333333	2,548	0,111	2,542	2,467	1,6085
0,75	2,967	0,117	2,565	2,422	1,6807
1,25	2,55	0,125	2,493	2,377	1,6742
2,25	2,483	0,133	2,39	2,23	1,6877
2,75	2,355	0,138	2,237	2,067	1,7595
3,25	2,194	0,139	2,149	1,955	1,7972
3,75	2,183	0,14	2,078	1,858	4,381
4,75	2,069	0,156	2,056	1,79	4,172
5,25	2,089	0,163	2,106	1,746	4,262
5,75	2,348	0,177	2,123	1,767	
6,25	2,111	0,178	2,142	1,73	3,929
7,25	2,058	0,186	2,137	1,651	3,743
7,75	2,11	0,201	2,201	1,633	
8,25	1,906	0,196	2,003	1,533	3,753
8,75	2,315	0,189	2,5	1,741	
9,25	2,403	0,242	2,497	1,701	3,894

<b>9,75</b>	2,229	0,249	2,455	1,681	
<b>10,25</b>	2,205	0,25	2,54	1,635	4,19
<b>10,75</b>	2,195	0,253	2,423	1,622	
<b>11,25</b>	2,179	0,257	2,465	1,605	3,45
<b>11,75</b>	2,165	0,263	2,537	1,594	
<b>12,25</b>	2,179	0,267	2,546	1,576	3,434
<b>12,75</b>	2,185	0,274	2,435	1,308	
<b>13,25</b>	2,191	0,27	2,408	1,57	3,273
<b>13,75</b>	2,172	0,278	2,545	1,57	
<b>14,25</b>	2,089	0,275	2,412	1,52	3,367
<b>14,75</b>	2,097	0,274	2,462	1,515	
<b>15,25</b>	2,119	0,28	2,455	1,509	3,162
<b>15,75</b>	2,165	0,273	2,458	1,449	
<b>16,25</b>	2,135	0,28	2,396	1,463	3,1
<b>16,75</b>	2,12	0,295	2,464	1,246	
<b>17,25</b>	2,106	0,284	2,369	1,439	3,059
<b>17,75</b>	2,147	0,292	2,602	1,456	
<b>18,25</b>	2,086	0,29	2,505	1,435	3,158
<b>18,75</b>	2,239	0,292	2,606	1,423	
<b>19,25</b>	2,049	0,302	2,546	1,445	3,61
<b>19,75</b>	2,114	0,324	2,643	1,507	
<b>20,25</b>	2,042	0,321	2,497	1,475	3,941
<b>20,75</b>	2,017	0,324	2,705	1,459	
<b>21,25</b>	2,022	0,321	2,621	1,42	3,333
<b>22,25</b>	2,019	0,334	2,734	1,465	
<b>23,25</b>	2,05	0,341	2,912	1,465	3,173
<b>24,63333</b>	2,038	0,338	2,776	1,463	
<b>26,25</b>	1,99	0,346	2,842	1,424	3,204
<b>27,58333</b>	2,007	0,34	2,724	1,432	
<b>29,75</b>	2,01	0,349	2,864	1,352	3,246
<b>30,25</b>	1,974	0,262	2,306	1,258	
<b>31,25</b>	1,994	0,339	2,446	1,18	3,133
<b>32,25</b>	1,951	0,374	2,495	1,322	



<b>32,75</b>	1,939	0,365	2,463	1,191	4,011
<b>33,25</b>	1,933	0,361	2,474	1,132	
<b>42</b>	2,03	0,469	2,698	1,125	3,316
<b>43,25</b>	2,028	0,498	2,524	1,034	
<b>45,25</b>	1,868	0,509	2,584	0,984	2,773
<b>47,25</b>	1,806	0,496	2,556	0,943	
<b>49,25</b>	1,886	0,5	2,604	0,934	2,895
<b>51,83333</b>	1,742	0,515	2,636	0,909	
<b>59,75</b>	1,864	0,597	3,306	0,944	2,591
<b>68,75</b>	2,165	0,644	4,046	0,95	
<b>86</b>	2,112	0,615	4,804	0,931	2,352
<b>95</b>	2,207	0,576	5,871	0,914	
<b>109,75</b>	1,952	0,573	9,18	0,911	2,095
<b>118</b>	1,72	0,488		0,898	
<b>120,3333</b>	1,71	0,463	9,44	0,916	1,46
<b>134,25</b>	1,725	0,464		0,949	
<b>155,75</b>	1,391	0,438	11,96	0,95	1,276
<b>164,25</b>	1,265	0,331		0,885	
<b>181,25</b>	1,14	0,327	14,91	0,971	1,132
<b>188,25</b>	1,85	0,308		0,887	
<b>203,75</b>	1,018	0,313	16,44	0,995	5,732
<b>214,75</b>	1,074	0,254		0,964	
<b>227,75</b>	0,873	0,226	19,15	1,011	1,213
<b>236,25</b>	0,928	0,174		0,898	
<b>251,5</b>	0,816	0,208	23,55	0,966	1,243
<b>260,4167</b>	0,704	0,135		0,881	
<b>275,75</b>	0,651	0,17	28,73	0,939	1,427
<b>283,25</b>	0,602	0,11		0,826	
<b>303,25</b>	0,622	0,148	29,34	1,009	1,48
<b>323,25</b>	0,54	0,139		0,964	
<b>327,25</b>	0,574	0,087	27,66	1,182	2,162
<b>330,25</b>	0,572	0,191	39,41	1,213	1,679