Τ.Ε.Ι. Κρήτης
Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος

ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΧΩΡΟΥ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ



Κιρμιζάκης Παναγιώτης

Επιβλέπων καθηγητής :

Καλδέρης Δημήτριος

Χανιά
2013

ABSTRACT

This thesis negotiates the reduction of the organic load of leachate from the landfill of the municipality's Chania through oxidation at hydrothermal conditions. More specifically, the paper describes the methods of treatment of urban waste management and treatment of urban waste in the municipality of Chania, the concepts of subcritical fluids subject of intense scientific interest in recent years because of eco-friendly technologies that offer and application of subcritical water to waste treatment .

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται την μείωση του οργανικού φορτίου των στραγγισμάτων του Χ.Υ.Τ.Α. του δήμου Χανίων μέσω οξείδωσής τους σε υδροθερμικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, στην εργασία περιγράφονται οι μέθοδοι επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, η διαχείριση και η επεξεργασία των αστικών αποβλήτων στο δήμο Χανίων, οι έννοιες των υποκρίσιμων ρευστών που αποτελούν αντικείμενο έντονου επιστημονικού ενδιαφέροντος τα τελευταία χρόνια λόγω των φιλικών τεχνολογιών προς το περιβάλλον που προσφέρουν και η εφαρμογή του υποκρίσιμου νερού στην επεξεργασία αποβλήτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον εισηγητή της πτυχιακής εργασίας κ. Δημήτριο Καλδέρη για την υπόδειξη του θέματος, καθώς και για τη συνεχή και πολύτιμη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της προετοιμασίας της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την μηχανικό Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος Τ.Ε. Τσαμουτσόγλου Χριστίνα από τη Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων για την αμέριστη βοήθειά της κατά τη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ....6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ....7
2.1. ΑΠΟ ΧΑΔΑ ΣΕ ΧΥΤΑ....10
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ....14
2.2.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ....14
2.2.1.1 Αποτέφρωση....15
2.2.1.2 Πυρόλυση....18
2.2.1.3 Αεριοποίηση....20
2.2.2 ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ....22
2.2.2.1 Μέθοδος Αναδευόμενων Σωρών....24
2.2.2.2 Μέθοδος Αεριζόμενων Σωρών....25
2.2.2.3 Μέθοδος Βιοαντιδραστήρων (Κλειστά Συστήματα)....26
2.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ....28
2.3 ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΑ ΧΥΤΑ....30
2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΧΑΝΙΩΝ....32
2.4.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ Χ.Υ.Τ.Α. ΔΗΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ....37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΑ / ΥΠΕΡΚΡΙΣΙΜΑ ΡΕΥΣΤΑ....38
3.1 ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΟ ΝΕΡΟ....41
3.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΟ ΝΕΡΟ....43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ....44
4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ....44
4.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ....47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ....48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ....53

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ....54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

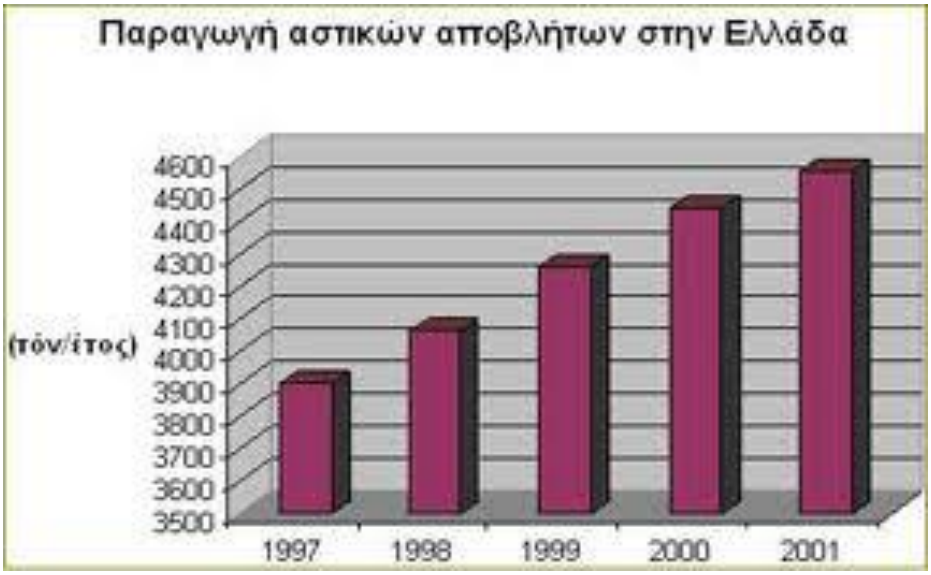
Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται έντονα στις κοινωνίες, ο προβληματισμός και η μεγάλη όχληση που δημιουργείται στους πολίτες, από την παρουσία Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων και χώρων αποθήκευσης των λυμάτων. Τα αστικά απορρίμματα δεν θα πάψουν ποτέ να υπάρχουν στις κοινωνίες και αν δεν επεξεργάζονται ή δεν διατίθενται σε κατάλληλους χώρους διαχείρισης απορριμμάτων, θα είναι επιβλαβή για την υγεία των κατοίκων και των ζώων, καταστροφικά για τις καλλιέργειες και γενικά θα υποβαθμίζουν το βιοτικό επίπεδο.

Τα στραγγίσματα είναι αναπόφευκτα απόβλητα σε ένα Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων. Τα στραγγίσματα είναι υγρά που δημιουργούνται σε ένα Χ.Υ.Τ.Α. από την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των απορριμμάτων και από τη διείσδυση στη μάζα τους των νερών της βροχής. Κατά την πορεία των υγρών μέσα από τη μάζα των απορριμμάτων διαλύονται και παρασύρονται διάφορες ουσίες και έτσι μπορούν να μολύνουν το επιφανειακό και υπόγειο νερό. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για πολλά χρόνια μετά το κλείσιμο του Χ.Υ.Τ.Α. Κατά την κατασκευή ενός Χ.Υ.Τ.Α. πρέπει να εγκαθίστανται συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων, ώστε να μειωθεί η περίπτωση ρύπανσης επιφανειακού ή υπόγειου νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Με τον όρο αστικά απορρίμματα εννοούμε όλα τα στερεά απόβλητα τα οποία δεν μπορούν φαινομενικά να αξιοποιηθούν. Τα απορρίμματα περιλαμβάνουν μόνο τα στερεά απόβλητα διαφόρων προελεύσεων, σύμφωνα με τις οποίες ποικίλει και η σύστασή τους.Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση και την ποσότητα των απορριμμάτων είναι το βιοτικό επίπεδο, τα καταναλωτικά πρότυπα, η κινητικότητα του αστικού πληθυσμού και οι εποχές του έτους. Σημαντικές πηγές των αστικών απορριμμάτων αποτελούν οι κατοικίες, οι οποίες περιλαμβάνουν μικρές ή μεγάλες οικογένειες, οι εμπορικές δραστηριότητες, οι οποίες περιλαμβάνουν διάφορα είδη καταστημάτων, οι περιοχές κατεργασίας αποβλήτων, στις οποίες γίνονται οι διεργασίες νερού, λυμάτων, βιομηχανικών λυμάτων, καύσης των αποβλήτων, οι βιολογικοί καθαρισμοί κ.α.

Στην Ελλάδα παράγονται περίπου 4,6 εκατομμύρια τόνοι αστικών απορριμμάτων ανά έτος. Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 1) απεικονίζεται η ετήσια παραγωγή των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα κατά τη περίοδο 1997-2001. Είναι εμφανές ότι κατά τη περίοδο 1997-2001, τα αστικά απορρίμματα αυξήθηκαν ραγδαία. Πολλοί μπορεί να είναι οι λόγοι που προκάλεσαν αυτή την άνοδο, όπως η πληθυσμιακή αύξηση, περισσότερες απαιτήσεις της νομοθεσίας, βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, και πιθανόν η ελλιπής διαχείριση των αστικών απορριμμάτων.



Εικ. 1 Η παραγωγή των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα κατά τη περίοδο 1997-2001 [http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_4.html].

Υπάρχει ένας αριθμός μεθόδων διάθεσης των απορριμμάτων, όπως η υγειονομική ταφή, η θερμική επεξεργασία με καύση ή πυρόλυση, η αναερόβια χώνευση και ο διαχωρισμός των απορριμμάτων με σκοπό την ανάκτηση χρήσιμων υλικών, καθώς επίσης και παραλλαγές αυτών των μεθόδων. Κάθε μέθοδος διαφέρει ως προς τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει στο περιβάλλον, το κόστος εγκατάστασης και

λειτουργίας, την ανάκτηση ή εξοικονόμηση ενέργειας, την ανάκτηση χρήσιμων υλικών και την ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων.

Στην Ελλάδα, όπως παρατηρείται και στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 2), το 1997 τα αστικά στερεά απόβλητα (Α.Σ.Α.) διατίθενται το 51% σε Χ.Υ.Τ.Α., το 40% σε χωματερές, το 8% σε ανακύκλωση στην πηγή και μόλις το 1% σε κομποστοποίηση.



Εικ. 2 Διάθεση Αστικών Απορριμμάτων για την Ελλάδα το 1997 [6].

Η διαχείριση των απορριμμάτων είναι ένα βασικό στοιχείο της πολιτικής προστασίας του περιβάλλοντος, με σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας, και μπορεί να συνεισφέρει στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας. Σκοπός της διαχείρισης των απορριμμάτων είναι :

- η συλλογή, εναπόθεση, επεξεργασία ή καταστροφή των απορριμμάτων κατά τον ευνοϊκότερο για το περιβάλλον τρόπο,
- η μείωση της παραγωγής τους και
- η ανάκτηση, επαναφορά και επαναχρησιμοποίηση διαφόρων υλικών [13].



Εικ. 3 Ιεράρχιση των στόχων της διαχείρισης απορριμμάτων [14].

Η αξιοποίηση μπορεί να προσλάβει διάφορες μορφές, όπως η χρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η ανάκτηση πρώτων υλών ή η ενεργειακή αξιοποίηση. Η επιλογή της μορφής πρέπει να έχει ως κριτήριο τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων, την εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας.

Με τον όρο μείωση απορριμμάτων εννοούμε μια σειρά τεχνικών επιλογών και νομοθετικών-οικονομικών ρυθμίσεων, καθώς και ένα πλαίσιο κοινωνικής συμπεριφοράς και ενεργού συμμετοχής των πολιτών, με στόχο τη δραστική ελάττωση του όγκου και του βάρους των απορριμμάτων που καταλήγουν στους χώρους τελικής διάθεσης, σε όσο το δυνατόν πιο αρχικό στάδιο παραγωγής τους. [13]

Η μείωση των απορριμμάτων μπορεί τεχνικά να επιτευχθεί με την αποφυγή παραγωγής τους, με επαναχρησιμοποίηση υλικών, με ανακύκλωση υλικών, με κομποστοποίηση οργανικών και εναλλακτική διαχείριση ειδικών απορριμμάτων. Εκτός από αυτούς τους τρόπους μείωσης, διεθνώς χρησιμοποιούνται και άλλες τεχνολογίες, εντασσόμενες στις τεχνικές για τη γενικότερη διαχείριση των απορριμμάτων. Αυτές οι τεχνολογίες είναι ο μηχανικός διαχωρισμός των απορριμμάτων και οι τεχνολογίες ανάκτησης ενέργειας (καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση). Τέλος, για την ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων, είναι απαραίτητη η ασφαλής τελική διάθεση των υπολλειμάτων σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Υ.). Παράλληλα, όλα τα προηγούμενα θα πρέπει να υποστηριχτούν με νομοθετικά μέτρα, οικονομικές ρυθμίσεις και προγράμματα ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών

Η εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου συμπεριλαμβάνει πλήρεις προδιαγραφές για όλα τα επίπεδα συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας, αξιοποίησης και διάθεσης των στερεών αποβλήτων, γεγονός που αποτελεί χρήσιμο και ουσιαστικό εργαλείο, για όλους τους αρμόδιους και ενδιαφερόμενους φορείς και οργανισμούς.

Πρωταρχικός στόχος κάθε συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων είναι η ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Για τον προσδιορισμό των αερίων και υγρών εκπομπών απαιτείται η γνώση όλων των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο χώρο εναπόθεσης των απορριμμάτων.

Είναι σημαντικό για τις τοπικές αρχές και για αυτούς που χειρίζονται τα απορρίμματα να κάνουν γνωστό στον καθένα ότι η ανακύκλωση αποτελεί μέρος μόνο της λύσης. Είναι, βέβαια, ένα διαρκώς εξελισσόμενο κομμάτι, όπως πάντα θα υπάρχουν απορρίμματα που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν για τον ένα ή τον άλλο λόγο.

Το να αποφασίσουμε ποιος είναι ο σωστότερος συνδυασμός επιλογών για μια συγκεκριμένη περιοχή είναι ένα πολύπλοκο, που απαιτεί έρευνα για τις ποσότητες και για τους τύπους των απορριμμάτων, για τη γεωγραφία της περιοχής, για τη δυνατότητα μεταφορών και άλλα κοινωνικοπολιτικά κριτήρια. Η επιλογή της τοποθεσίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας είναι εξαιρετικά δύσκολη, αλλά η τοποθεσία των εγκαταστάσεων, σε σχέση με την ικανότητα επεξεργασίας και τις τελικές αγορές των ανακυκλωμένων υλικών, μπορεί να καθορίσει την επιτυχία ή μη του εγχειρήματος της διαχείρισης απορριμμάτων.

2.1. ΑΠΟ ΧΑΔΑ ΣΕ ΧΥΤΑ

Η μόνη διαχείριση απορριμμάτων που εφαρμοζόταν στην Ελλάδα μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του ΄90 ήταν η εδαφική διάθεσή τους σε ανεξέλεγκτους χώρους ή σε ημι-ελεγχόμενους χώρους διάθεσης, οι οποίοι δεν πληρούσαν τους κανόνες προστασίας του περιβάλλοντος για την αποφυγή εκπομπών αερίων ρύπων ή μόλυνσης των υδροφορέων. Η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά την περίοδο 1994 - 1997, όπου οργανώθηκε το σύστημα συλλογής και μεταφοράς των αστικών απορριμμάτων, ενώ κατασκευάστηκαν και λειτούργησαν οι πρώτες σύγχρονες εγκαταστάσεις διαχείρισης απορριμμάτων.

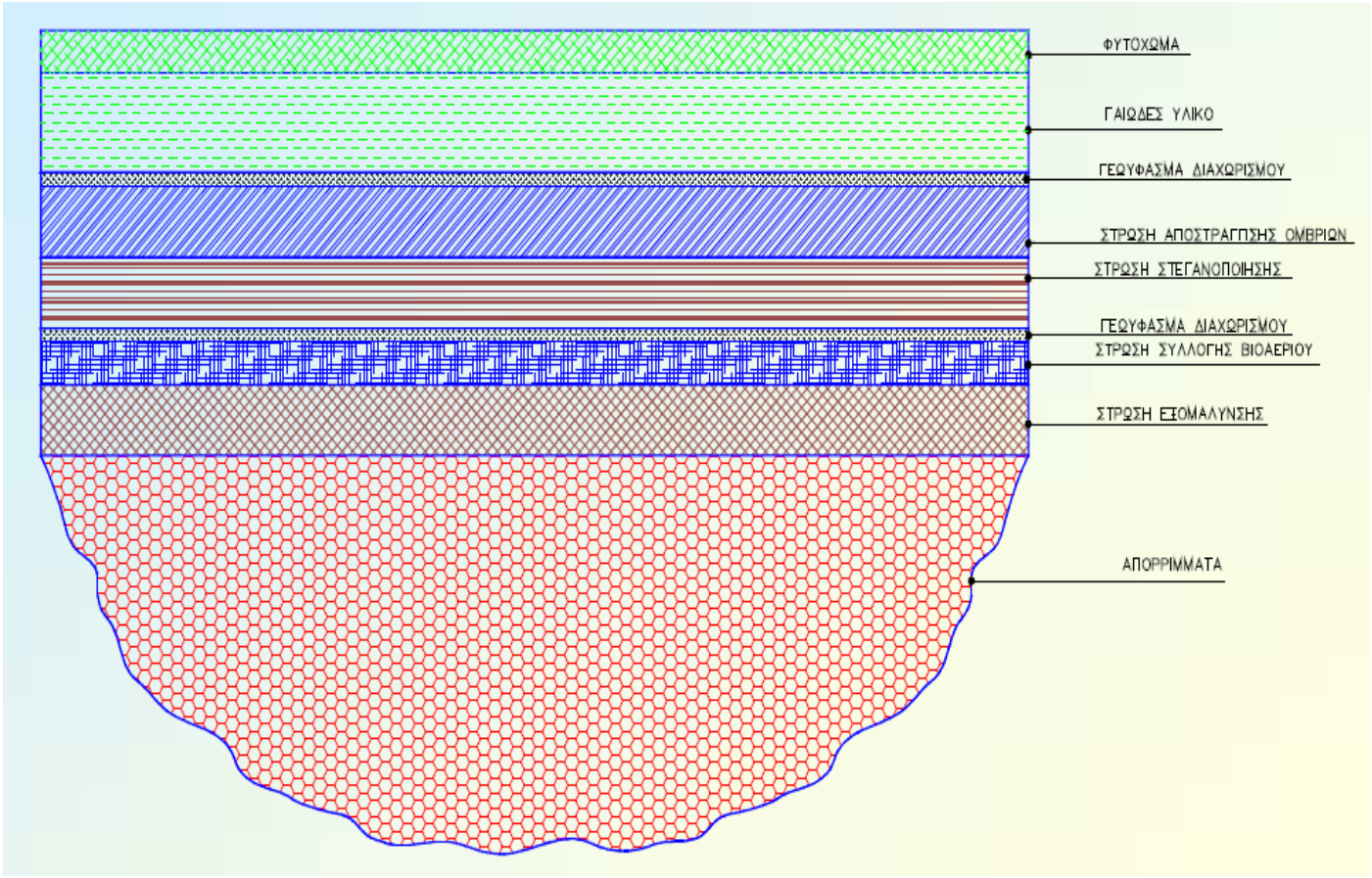
Η ανεξέλεγκτη διάθεση των αστικών απορριμμάτων στην Ελλάδα έχει περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό, αλλά το πρόβλημα παραμένει. Το 1997 είχαν καταγραφεί 6.500 Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων, ενώ το 2001 μειώθηκαν σε 2.182. Σήμερα ο αριθμός των ΧΑΔΑ (ενεργοί και ανενεργοί) στην Ελλάδα είναι πολύ μικρότερος από τότε. Ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΣΑ), ο οποίος θεσμοθετήθηκε με την ΚΥΑ 50910/2727/03 (ΦΕΚ 1909 Β΄) έθεσε σαφές χρονοδιάγραμμα για την εξάλειψη Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμάτων, σε συνδυασμό με την υλοποίηση σύγχρονων έργων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

Μετά την παύση λειτουργίας των ανεξέλεγκτων χώρων προγραμματίζεται η αποκατάστασή τους. Μέχρι σήμερα έχουν ολοκληρωθεί αρκετά έργα αποκατάστασης ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης αστικών αποβλήτων, καθώς και έργα ανάπλασης χώρων διάθεσης μεγάλης δυναμικότητας που εξυπηρετούσαν μεγάλα αστικά κέντρα. Το πρόγραμμα αποκατάστασης των ΧΑΔΑ, άρχισε στις 29/7/2004 με την έκδοση της αρ. 175535/29.7.04 Υπουργικής Απόφασης (ΦΕΚ 1259 Β/16.8.04) «Συγκρότηση Ομάδας Εργασίας για την προώθηση έργων αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ)». Οι ενέργειες που έγιναν από τον ΥΠΕΧΩΔΕ για την κατάρτιση και την υλοποίηση του προγράμματος αποκατάστασης συνοψίζεται παρακάτω :

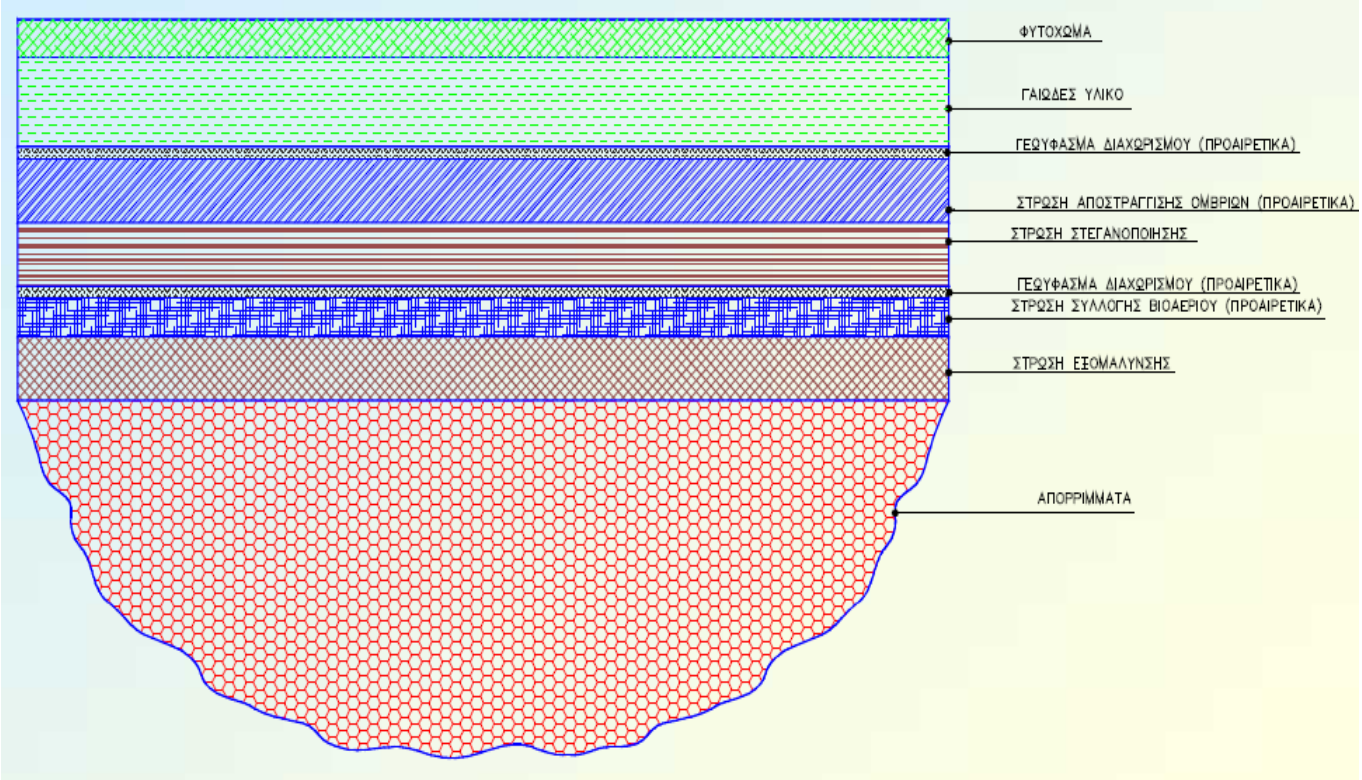
- Υπουργική Απόφαση οικ. 175535/27-7-2004 για τη «Συγκρότηση Ομάδας Εργασίας για την προώθηση έργων αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ)», ΦΕΚ 1259 Β΄/16-8-2004.
- Ερωτηματολόγιο με αρ. πρωτ. οικ. 109974/3106/22-10-2004 του ΥΠΕΧΩΔΕ «Πρότυπες Προδιαγραφές Τεχνικής Μελέτης Περιβαλλοντικής Αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων».
- Συλλογή στοιχείων για ΧΑΔΑ. Έγγραφο του ΥΠΕΧΩΔΕ (Τμήμα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων) προς τους φορείς λειτουργίας ΧΥΤΑ (αρ. πρωτ. 108883/2832/1-11-2004).
- Απόφαση του Γενικού Γραμματέα του ΥΠΕΧΩΔΕ με αριθμό οικ. 184095/25-7-2005 για την ένταξη στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 2000-2006» του έργου «Σύμβουλος για την ωρίμανση έργων στους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων».
- Απόφαση του Γενικού Γραμματέα του ΥΠΕΧΩΔΕ με αρ. οικ. 185268/30-9-2005 για την επιλογή Αναδόχου για το έργο «Σύμβουλος για την ωρίμανση έργων στους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων».
- Την Εγκύκλιο 19 με αρ. πρωτ. οικ. 135977/14-12-2005 του ΥΠΕΧΩΔΕ με θέμα «Πρότυπες Οριστικές Μελέτες Έργων Αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ)».

Τα έργα αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων αφορούν κυρίως [Τσοπανίδης] :

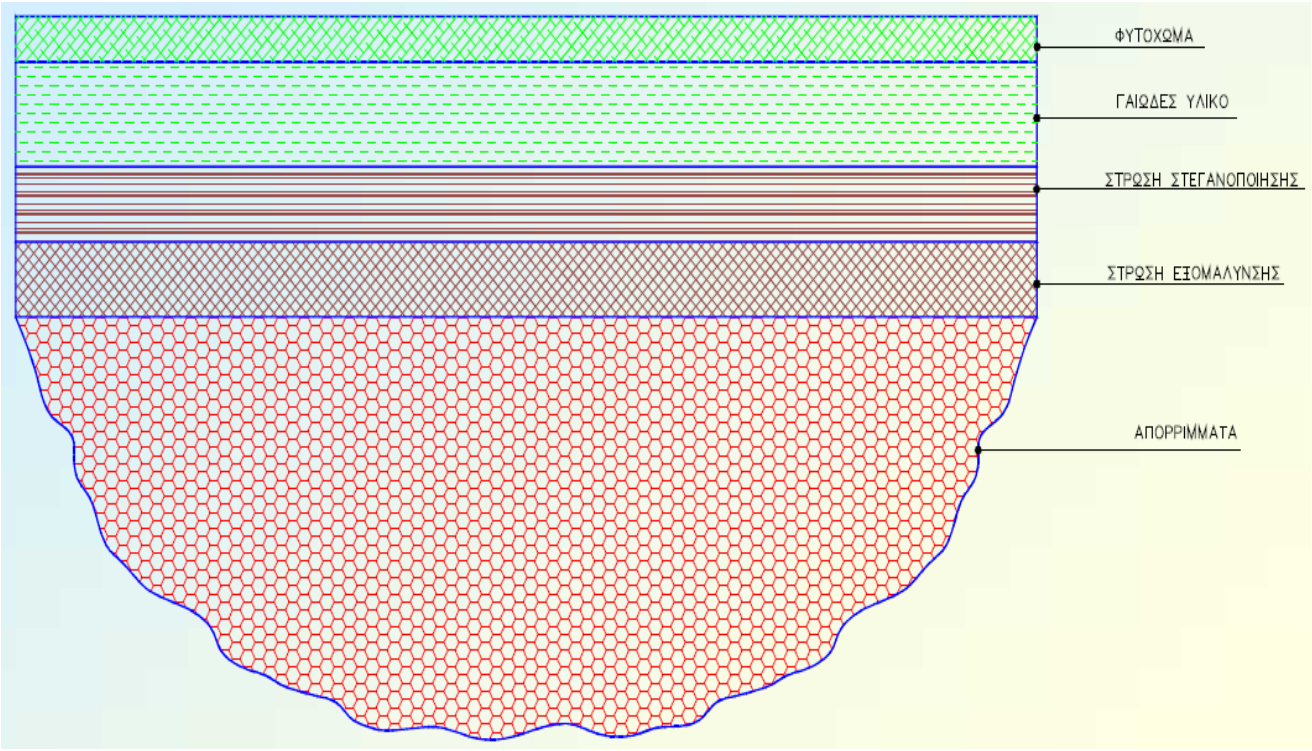
- Χωματουργικές εργασίες συλλογής διάσπαρτων απορριμμάτων από την συνολική έκταση του Χ.Α.Δ.Α. και συγκέντρωσή τους σε μικρότερη έκταση.
- Χωματουργικές εργασίες διαμόρφωσης και εξομάλυνσης του ανάγλυφου.
- Κατασκευή έργων τελικής κάλυψης.
- Έργα διαχείρισης ομβρίων.
- Έργα διαχείρισης στραγγισμάτων.
- Έργα διαχείρισης βιοαερίου.
- Έργα μεταφροντίδας αποκατεστημένου χώρου.
- Λοιπά έργα (περιφράξεις, κλπ).



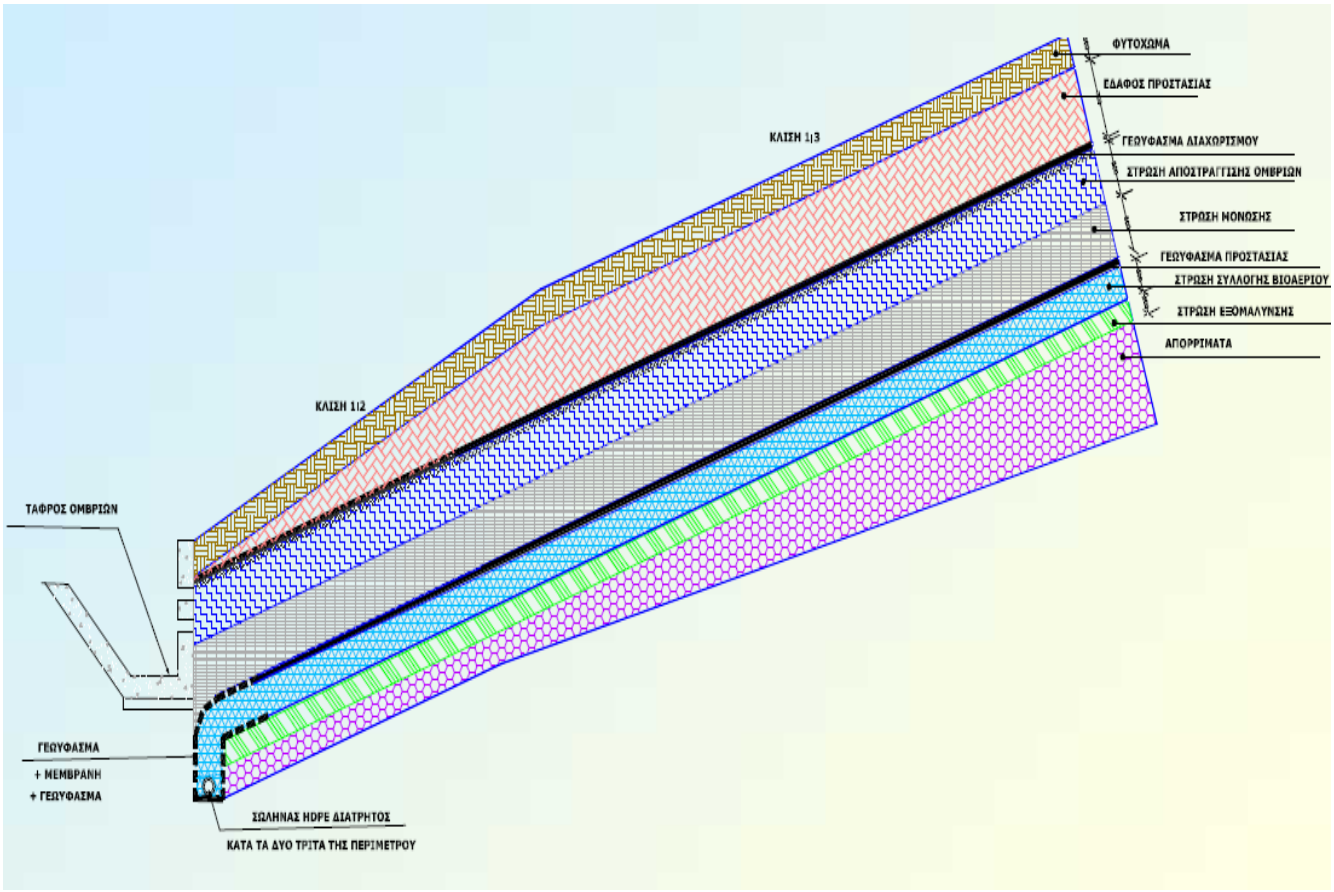
Εικ. 4Εργασίες αποκατάστασης Χ.Α.Δ.Α. υψηλής επικινδυνότητας [14].



Εικ. 5 Εργασίες αποκατάστασης Χ.Α.Δ.Α μέτριας επικινδυνότητας [14].



Εικ. 6Εργασίες αποκατάστασης Χ.Α.Δ.Α. χαμηλής επικινδυνότητας [14]



Εικ. 7Εργασίες διαχείρισης στραγγισμάτων και ομβρίων [14].

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ

Οι κύριοι σκοποί των μεθόδων επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων είναι η αύξηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης των απορριμμάτων ως πρώτης ύλης, για ανάκτηση ενέργειας, επαναφορά στο βιολογικό κύκλο και η διάθεση των απορριμμάτων με περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο [1].

Τα αστικά απορρίμματα δεν μπορούν να εξαφανιστούν, αλλά μετατρέπονται με φυσικούς τρόπους ή με τη χρήση τεχνικών μεθόδων σε άλλη στερεά, υγρή ή αέρια μορφή. Η τελική τους μορφή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην προξενεί πέραν ορισμένων αποδεκτών ορίων ρύπανση στον αέρα, τα νερά και το έδαφος. Η ποσότητα και η σύσταση των απορριμμάτων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως το βιοτικό επίπεδο και η ανάπτυξη της περιοχής που προέρχονται. Έτσι σε διαφορετικές περιοχές υπάρχουν διαφοροποιήσεις στο πρόβλημα των απορριμμάτων, που αντιμετωπίζονται με διάφορες μεθόδους διάθεσης και επεξεργασίας ή με συνδυασμό αυτών. Κάθε μέθοδος διαφέρει ως προς το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, τη δυνατότητα ανάκτησης ή εξοικονόμησης ενέργειας, τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει στο περιβάλλον, την ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων και τη δυνατότητα ανάκτησης χρήσιμων υλικών.

Ακολούθως γίνεται παράθεση των κυριότερων μεθόδων διάθεσης και επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων, καθώς και των βασικών χαρακτηριστικών τους.

2.2.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Με τον όρο θερμική επεξεργασία αστικών απορριμμάτων εννοούνται συγκεκριμένες διαδικασίες μετατροπής των απορριμμάτων σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη έκλυση θερμικής ενέργειας. Ο σκοπός της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων είναι η ελάττωση του όγκου τους, η μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία και η εκμετάλλευση της ευρισκομένης στα απορρίμματα ενέργειας. Οι βασικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας, κατηγοριοποιημένες βάσει των απαιτήσεων τους σε αέρα είναι η αποτέφρωση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση.

	Πυρόλυση	**Αεριοποίηση**	**Αποτέφρωση**
Συνθήκες λειτουργίας			
Θερμοκρασία αντίδρασης (°C)	250-700	500-1600	800-1450
Πίεση (bar)	1	145	1
Ατμόσφαιρα	Αδρανής / Άζωτο	Παράγοντας αεριοποίησης : O2, H20	Αέρας
Στοιχειομετρική αναλογία	0	<1	>1
Προϊόντα			
Αέρια φάση	H2, CO, H2O, N2, υδρογονάνθρακες	H2, CO, CO2, CH4, H2O, N2	CO2, H2O, O2, N2
Στερεά φάση	Τέφρα, κωκ (στερεό ανθρακούχο υπόλειμμα)	Τέφρα, σκωρία	Τέφρα, σκωρία
Υγρή φάση	Έλαια πυρόλυσης και νερό		

Πίνακας 1.Τυπικές συνθήκες λειτουργίας και προϊόντα των τριών βασικότερων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων (EuropeanCommission, 2005) [8].

2.2.2.1 Αποτέφρωση

Ως αποτέφρωση ορίζεται η ταχεία μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, με οξείδωση της οργανικής ύλης των απορριμμάτων, υπό συνθήκες περίσσειας οξυγόνου. Τα ανόργανα συστατικά των απορριμμάτων παραμένουν στο παραγόμενο στερεό υπόλειμμα. Τα κυριότερα είδη μονάδων αποτέφρωσης, που έχουν αναπτυχθεί, είναι δύο [9] :

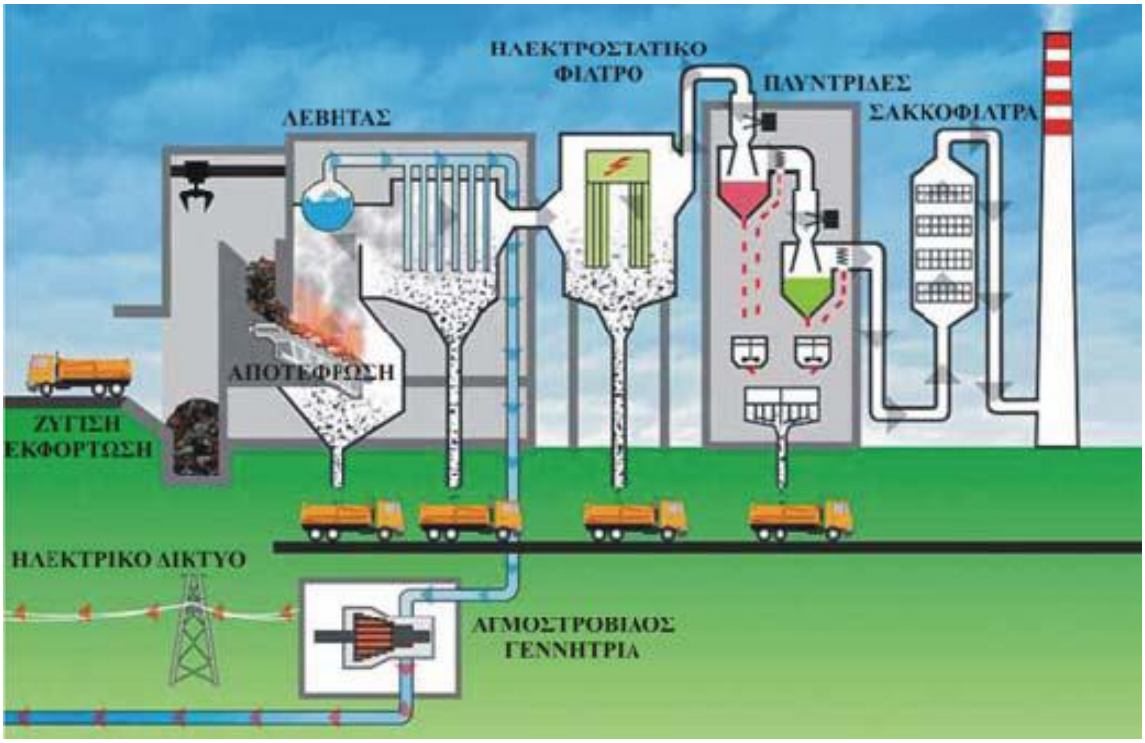
- Μονάδες που απαιτούν ελάχιστη προ-επεξεργασία των απορριμμάτων (μονάδες τύπου mass-fired),
- Μονάδες όπου χρησιμοποιούνται απορριμματογενή καύσιμα (Refuse Derived Fuelή Solid Recovered Fuel).

Οι μονάδες τύπου μαζικής καύσης αποτελούν τη πλειοψηφία των εγκατεστημένων μονάδων. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ότι τα απορρίμματα εισάγονται χωρίς καμία επεξεργασία στο θάλαμο καύσης, με αποτέλεσμα η λειτουργία της όλης μονάδας να απλουστεύεται. Βέβαια, το συγκεκριμένο γεγονός εγκυμονεί κινδύνους για τη λειτουργία της μονάδας (π.χ. εισαγωγή ογκωδών αντικειμένων ή/και επικίνδυνων αποβλήτων), που αντιμετωπίζονται με την αυστηρή επίβλεψη των εισαγομένων αστικών απορριμμάτων και με τη δυνατότητα χειροκίνητης διακοπής της εισαγωγής τους όποτε αυτό θεωρηθεί αναγκαίο από τον επιβλέποντα.

Το δεύτερο είδος μονάδων αποτέφρωσης χρησιμοποιεί ως υλικό τροφοδοσία το λεγόμενο RDF, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί ένα μίγμα συγκεκριμένων κλασμάτων των αστικών απορριμμάτων που προκύπτει μετά από διαχωρισμό και μπορεί να περιλαμβάνει χαρτί, υφάσματα, δέρματα, ελαστικά κ.α. Στόχος είναι το τελικό μίγμα να έχει την υψηλότερη δυνατή θερμογόνο δύναμη.



Εικ. 10 Μονάδα αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων στη Γερμανία [8].



Εικ. 11 Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [9].

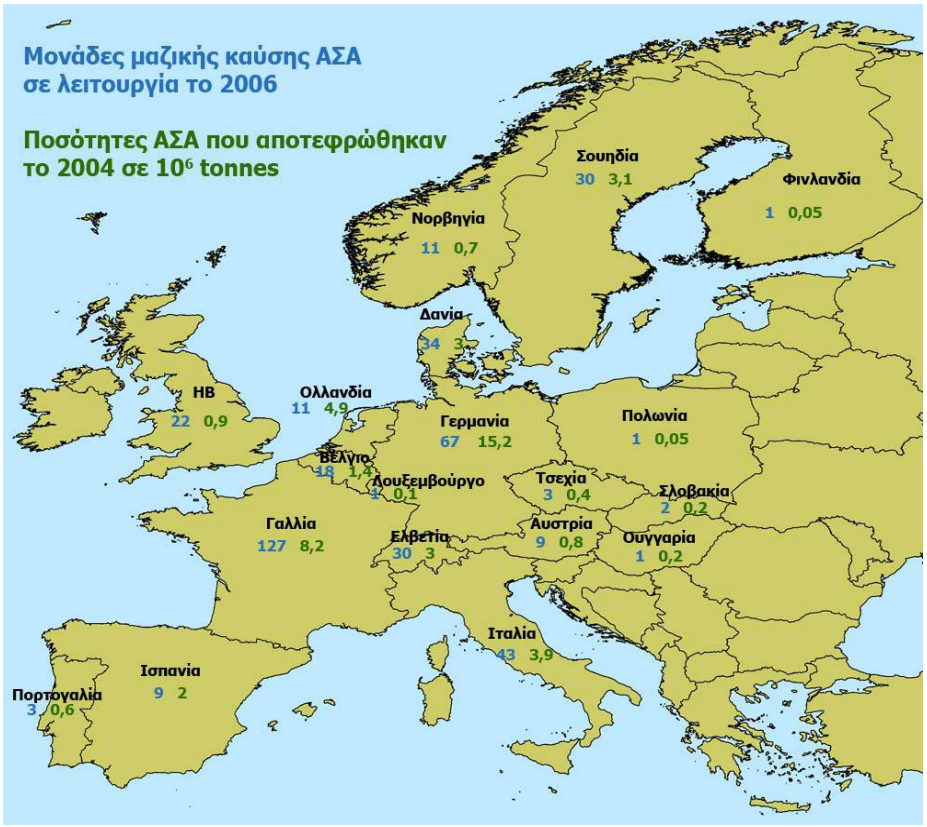
Μια εγκατάσταση αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα :

- Χώρος υποδοχής και προσωρινής αποθήκευσης εισερχομένων απορριμμάτων για ομαλοποίηση της τροφοδοσίας.
- Σύστημα τροφοδοσίας (γερανός, ταινία) προσαρμοσμένο στο ρυθμό λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Εστία αποτέφρωσης με σύστημα εσχαρών ή με σύστημα περιστροφικού κλιβάνου ή ρευστοποιημένης κλίνης. Ειδικός καυστήρας με βοηθητικό καύσιμο κάνει την αρχική ανάφλεξη και εξασφαλίζει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία των απαερίων σε περιπτώσεις που απαιτείται.
- Λέβητας, ο οποίος χρησιμοποιεί τα θερμά απαέρια για παραγωγή ατμού.
- Σύστημα απομάκρυνσης υπολειμμάτων, τα οποία παράγονται από την αποτέφρωση. Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί το 3-8% του αρχικού βάρους των απορριμμάτων και η τέφρα πυθμένα το 15-28% (Bilitewski, 2008). Τα υπολείμματα δημιουργούνται κυρίως στην εσχάρα, απ' όπου με ειδικό σύστημα απάγονται και μεταφέρονται για ψύξη, και στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων, απ' όπου συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα.
- Σύστημα ελέγχου εκπομπών για έλεγχο σωματιδίων,HCl, HF, SO_2, διοξινών και βαρέων μετάλλων.

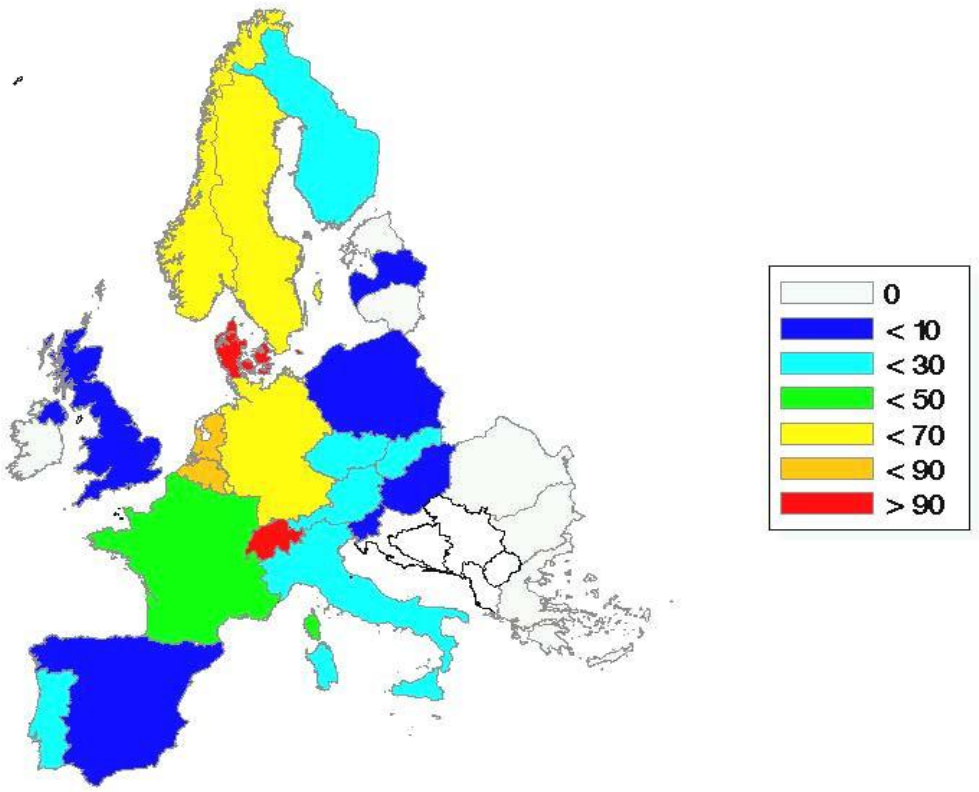
Από τις μονάδες αποτέφρωσης και ανάλογα με την ποιότητα και το είδος των απορριμμάτων παράγονται εκτός από τα συνήθη προϊόντα της αποτέφρωσης (ατμός,CO_2, CO, SO_2, NOx, σωματίδια) και μια σειρά άλλων ενώσεων όπως HCl, HF, διοξίνες, φουράνια,PAHs (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες), βαρέα μέταλλα κτλ. Για τον έλεγχο των εκπομπών έχουν θεσπιστεί αυστηρά όρια (Οδηγία 2007/76/ΕΚ και ΚΥΑ 22912/1117/6-6-2005), για την επίτευξη των οποίων απαιτείται η χρήση προηγμένων συστημάτων ελέγχου.

Για τον λόγο αυτό, τα απαέρια της παραγωγικής διαδικασίας υφίστανται στην απαιτούμενη επεξεργασία με συστήματα χημικού καθαρισμού καυσαερίων όπως ηλεκτροστατικά φίλτρα, πλυντρίδες, σακκόφιλτρα, ενεργό άνθρακα, μη καταλυτική αναγωγή αζωτοξειδίων, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία (ΚΥΑ 22912/2005) [8].

Η αποτέφρωση αστικών απορριμμάτων είναι η συνηθέστερη επιλογή στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, σε ποσοστό 97%, με 422 μονάδες αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων, σε σύνολο 435 μονάδων θερμικής επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων (έτος αναφοράς 2006).Οι χώρες με τις περισσότερες μονάδες αποτέφρωσης είναι η Γαλλία (127), η Γερμανία (67) και η Ιταλία (43).



Εικ. 12Χάρτης με τις μονάδες αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων στην Ευρώπη το 2006 και οι συνολικές ποσότητες που αποτεφρώθηκαν το 2004 [8].



Εικ. 13 Ποσοστό (%) αποτέφρωσης απορριμμάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση [8].

2.2.2.2 Πυρόλυση

Ως πυρόλυση ορίζεται η αποδόμηση των οργανικών ουσιών των αστικών απορριμμάτων, απουσία οξυγόνου (ή με ελάχιστες ποσότητες). Τα προϊόντα της πυρόλυσης είναι στερεά, υγρά ή αέρια και η σύσταση τους εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας πυρόλυσης, όπως τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής των απορριμμάτων στο πυρολυτικό θάλαμο.

Η πυρόλυση αποτελεί μια σχετικά νέα θερμική διεργασία, η οποία αν και αναπτύχθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, και μόλις τις τελευταίες δεκαετίες άρχισε να εφαρμόζεται στην επεξεργασία αστικών απορριμμάτων. Γενικά, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων, τουλάχιστον στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητας της. Παρόλα αυτά, χώρες όπως η Ιαπωνία διαθέτουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών αποβλήτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά εδώ και πολλά χρόνια, γεγονός το οποίο πιθανότητα οφείλεται στις διαφορές των χαρακτηριστικών των απορριμμάτων τους, όπως το ποσοστό του οργανικού κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμη τους, σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών.

Η πυρόλυση εκπροσωπεί την θερμική αποσύνθεση των οργανικών συστατικών των απορριμμάτων, απουσία οξυγόνου (ή ελάχιστων ποσοτήτων οξυγόνου) και άλλων παραγόντων πρόκλησης αεριοποίησης, όπως CO_2, ατμού κ.α. Τα απορρίμματα βρίσκονται μέσα σε ατσάλινους αγωγούς και δεν έρχονται σε άμεση επαφή με φλόγα, καθιστώντας εφικτή την παραγωγή αερίων, χωρίς την άμεση καύση αυτών. Οι αρχικές αντιδράσεις της όλης διαδικασίας είναι ενδόθερμες, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι για την πραγματοποίησή τους απαιτείται η παροχή ενέργειας, είτε εξωτερικά, είτε εσωτερικά από την ελεγχόμενη καύση των προς την επεξεργασία απορριμμάτων.

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη πυρόλυση των αστικών απορριμμάτων κυμαίνεται από 100 έως 900^{o}C, ενώ οι συνολικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα επηρεάζονται άμεσα από αυτή. Με την πυρόλυση των στερεών απορριμμάτων σχηματίζονται τα εξής προϊόντα:

- αέρια: κυρίως υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα κ.α. ανάλογα με τη σύσταση των απορριμμάτων
- υγρά: ελαιώδες κλάσμα με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες, που περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη), καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες
- στερεά: σχεδόν καθαρός άνθρακας (κωκ) και αδρανή υλικά (γυαλί, μέταλλα) που υπάρχουν στα απορρίμματα.

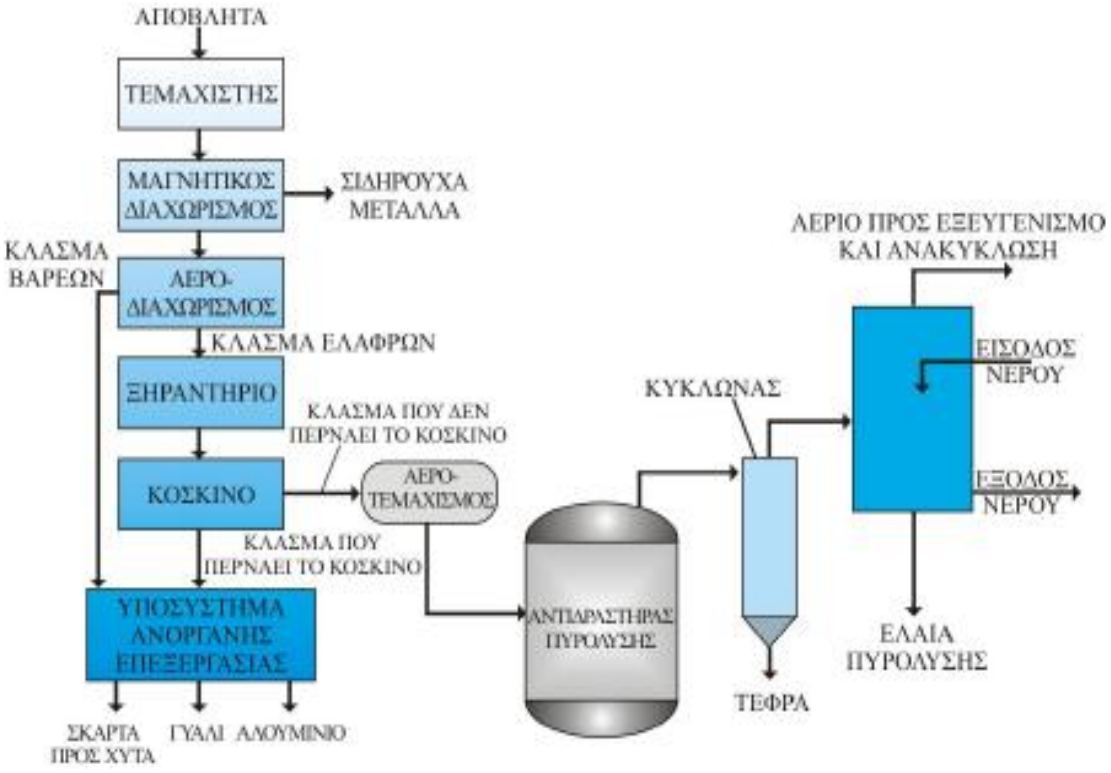
Με περαιτέρω επεξεργασία τα υγρά προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνθετικό καύσιμο, καθώς το ενεργειακό περιεχόμενο τους εκτιμάται γύρω στα 1.6

MJ/kg. Το ενεργειακό περιεχόμενο των παραγόμενων απαερίων κυμαίνεται μεταξύ 12.500 και 46.500kJ/Nm^3. Επιπλέον, τα παραγόμενα στερεά μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω για την ανάκτηση υλικών.

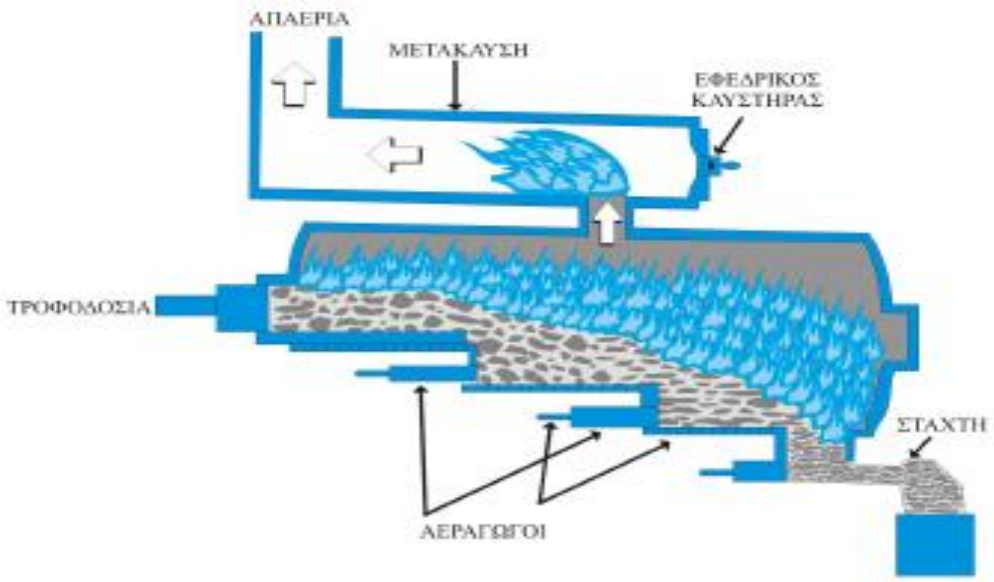
Αν η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου 500^{o}C), τότε στα απαέρια υπάρχουν και αρωματικές ενώσεις και φαινόλες. Για το λόγο, τις περισσότερες φορές η πυρόλυση συνδυάζεται με τη διεργασία της αποτέφρωσης των παραγόμενων απαερίων σε υψηλές θερμοκρασίες. Η αναλογία των προαναφερόμενων προϊόντων εξαρτάται σημαντικά από τις κάτωθι παραμέτρους:

- τη σύσταση του αποβλήτου
- τις συνθήκες θέρμανσης
- τη θερμοκρασία πυρόλυσης
- το χρόνο αντίδρασης

Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει αισθητά το στερεό υπόλειμμα, ελαττώνει το υγρό κλάσμα και αυξάνει τα αέρια προϊόντα. Για την εφαρμογή της διεργασίας της πυρόλυσης απαιτείται προεπεξεργασία των απορριμμάτων (απομάκρυνση γυαλιών, μετάλλων) έτσι ώστε στο θάλαμο πυρόλυσης να οδηγείται μόνο το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων. Η πυρόλυση συνήθως λαμβάνει χώρα σε κοινούς αποτεφρωτές, όπου απλά αναπτύσσονται χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την αποτέφρωση, διαθέτοντας όμως τις ίδιες δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας και παράλληλα παραγωγής καυσίμων (αερίων και υγρών).



Εικ. 14 Διάγραμμα ροής της διεργασίας της πυρόλυσης [8].

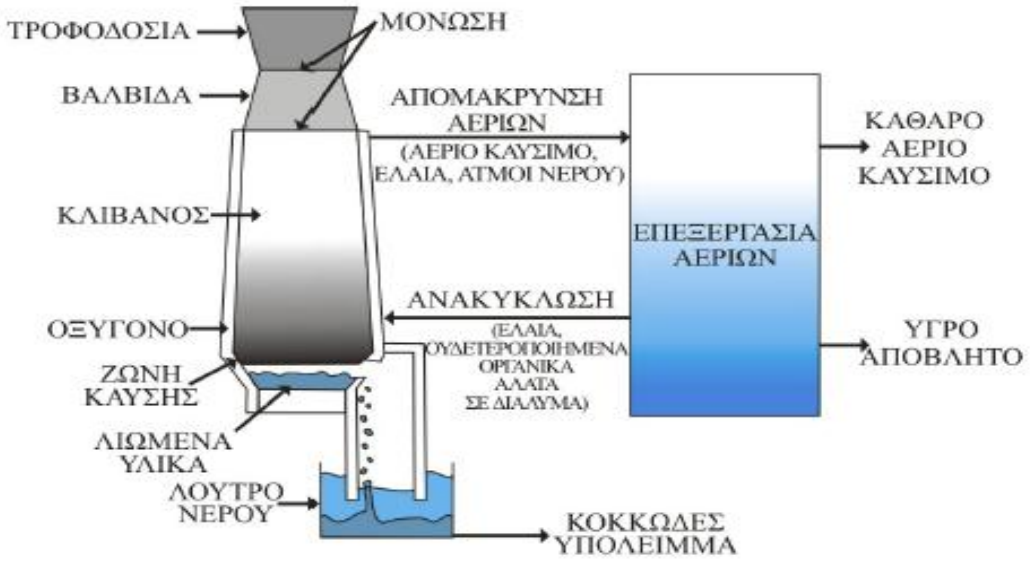


Εικ. 15 Πυρολυτικός αντιδραστήρας με ελεγχόμενη παροχή οξυγόνου [8].

2.2.2.3 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση αποτελεί μια μη ευρέως διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων. Αν και εφαρμόζεται για αρκετές δεκαετίες στη χημική βιομηχανία, η μέθοδος αυτή παρουσίασε αρκετές δυσκολίες λόγω του χαμηλού θερμικού περιεχομένου των απορριμμάτων και των μεταβολών της σύνθεσής τους. Για το λόγο αυτό, η χρήση της αεριοποίησης επικεντρώνεται στην επεξεργασία απορριμματογενών καυσίμων, που έχουν μεγάλο θερμικό περιεχόμενο και σταθερές ιδιότητες.

Η αεριοποίηση περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καύσιμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσής τους σε υψηλές θερμοκρασίες, 400-1500 ºC [Alibardi and Cossu, 2006]. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της διεργασίας της αεριοποίησης.



Εικ. 16 Διάγραμμα ροής της διεργασίας της αεριοποίησης [9].

2.2.2 ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η κομποστοποίηση είναι μία μέθοδος διαχείρισης στερεών απορριμμάτων, όπου το οργανικό (ζυμώσιμο) κλάσμα αποικοδομείται βιολογικά υπό ελεγχόμενες συνθήκες με αποτέλεσμα τη σταδιακή μετατροπή του σε ένα υλικό βιολογικά σταθερό (κόμποστ), το οποίο μπορεί να χρησιμεύσει σαν εδαφοβελτιωτικό. Οι βιολογικές διαδικασίες πραγματοποιούνται από ποικίλους οργανισμούς και μικροοργανισμούς που επεξεργάζονται τα τμήματα των απορριμμάτων που δεν είναι αποικοδομήσιμα από τους απλούς οργανισμούς.

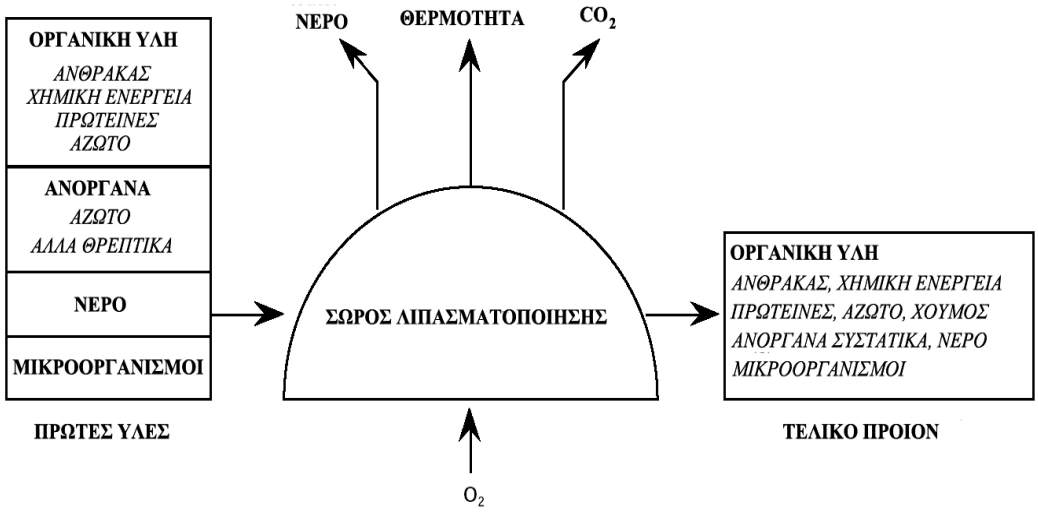
Με τον όρο «μικροοργανισμοί» δεν καθορίζουμε κάποια συγκεκριμένη ομάδα έμβιων όντων, αλλά περιγράφουμε ένα ορισμένο τύπο οργανισμών, που περιλαμβάνει εκτός από τους μονοκύτταρους και πολυκύτταρους οργανισμούς, που αποτελούνται κυρίως από ένα είδος κυττάρων χωρίς διαφοροποίηση. Διερευνώντας τη χημική και μικροσκοπική οργάνωσή τους από μια ευρύτερη σκοπιά, διαπιστώνεται ότι όλοι οι μικροοργανισμοί έχουν κοινή χημική σύνθεση με πιο χαρακτηριστική την παρουσία διαφόρων ειδών μεγαλομορίων (π.χ. πολυσακχαρίτες), κοινή φυσική δομή αφού κοινή δομική μονάδα όλων είναι το κύτταρο και επιτελούν ορισμένες κοινές χημικές αντιδράσεις, γνωστές με το όνομα μεταβολική δραστηριότητα. Κύριες ομάδες μικροοργανισμών που δρουν στην κομποστοποίηση είναι τα βακτήρια, οι μύκητες, οι προζύμες και οι ακτινομύκητες.

Υπάρχουν πολλές διαφορές στο μεταβολισμό των διαφόρων μικροοργανισμών. Παρ' όλα αυτά είναι όλοι σε θέση να συνθέσουν τη ζώσα ύλη από τα υλικά που παίρνουν από το εξωτερικό περιβάλλον τους και διέπονται από τις ίδιες βιολογικές αρχές. Για να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί, πρέπει να πάρουν από το περιβάλλον τους τις ουσίες που απαιτούνται για τη σύνθεση των κυτταρικών τους συστατικών και την παραγωγή ενέργειας. Αυτές οι ουσίες αποτελούν τα θρεπτικά συστατικά και είναι τόσο ανόργανες όσο και οργανικές. Οι βασικές ανάγκες ανάπτυξης των

μικροοργανισμών προκύπτουν από τη χημική σύνθεση των κυττάρων, που είναι λίγο έως πολύ σταθερή στον έμβιο κόσμο. Το 80-90% του ολικού κυτταρικού βάρους είναι νερό. Συνεπώς, το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο στη διατροφή των μικροοργανισμών. Εκτός από το υδρογόνο και το οξυγόνο, τα βασικά ανόργανα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί είναι: άνθρακας, άζωτο, φώσφορος και θείο (σε μειωμένες ποσότητες). Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν το 95% του ξηρού βάρους του κυττάρου. Το υπόλοιπο 5% αποτελείται από τα στοιχεία: κάλιο, μαγνήσιο, ασβέστιο, σίδηρο, νάτριο και χλώριο κατά κύριο λόγο, όπως επίσης από ψευδάργυρο, μαγγάνιο, μολυβδαίνιο, σελήνιο, κοβάλτιο και βολφράμιο κατά δεύτερο. Τα στοιχεία αυτά μπορούν επίσης να βρίσκονται με τη μορφή ανόργανων αλάτων.

Τα οργανικά θρεπτικά συστατικά, που απαιτούνται από τους μικροοργανισμούς, είναι ενώσεις απαραίτητες για τη σύνθεση του οργανικού υλικού του κυττάρου, που δε μπορεί να σχηματισθεί από άλλες πηγές άνθρακα. Οι τρεις μεγάλες κατηγορίες οργανικών θρεπτικών συστατικών είναι τα αμινοξέα (amino acids), οι πουρίνες (purines) και οι πυρημιδίνες (pyrimidines), και οι βιταμίνες (vitamins). Το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων συνήθως περιέχει επαρκείς ποσότητες θρεπτικών συστατικών για να υποστηρίξουν τη βιολογική διαδικασία μετατροπής. Διαφορετικά πρέπει να γίνεται κατάλληλος εμπλουτισμός.

Η βιολογική αποικοδόμηση των απορριμμάτων, στην καλύτερη περίπτωση, οδηγεί στην παραγωγή διαφόρων αερίων, όπως άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα, καθώς και σε νερό και χούμο [23]. Ο χούμος είναι μια σκουρόχρωμη οργανική ουσία, η οποία προκύπτει από την αποικοδόμηση οργανικών και ανόργανων ουσιών. Αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο του εδάφους, ενώ παράλληλα αυξάνει τη γονιμότητα του.



Ο άνθρακας, η χημική ενέργεια, οι πρωτείνες και το νερό είναι σε μικρότερη ποσότητα στο τελικό προϊόν από ότι στις πρώτες ύλες. Το τελικό προϊόν περιέχει περισσότερο χούμο, ενώ ο όγκος (του τελικού προϊόντος) είναι μικρότερος από το 50% του όγκου των πρώτων υλών.

Εικ. 17 Προϊόντα κομποστοποίησης [2].

Η μέθοδος τις κομποστοποίησης έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, γεγονός που την καθιστά αναντικατάστατη μέθοδο επεξεργασίας στα πλαίσια της διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων. Έχει το μικρότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Έχει μεγάλη κοινωνική αποδοχή, με συνέπεια να μπορούν να ολοκληρωθούν πιο εύκολα οι σχετικές επενδύσεις. Έχει μικρό κόστος κατασκευής. Δεν παράγει τοξικά αέρια ή καρκινογόνες ουσίες, όπως άλλες μέθοδοι επεξεργασίας, ενώ οι όποιες εκπομπές αντιμετωπίζονται πιο εύκολα. Παράγουν μικρές ποσότητες μη επιθυμητών αδρανών στερεών υπολειμμάτων που μπορούν όμως να να ταφούν σε Χ.Υ.Τ.Υ. Η συνολική διαχείριση με κομποστοποίηση έχει καλύτερες επιδόσεις σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές και την ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με άλλες μεθόδους διαχείρισης. Ευνοείται και ενθαρρύνεται η μείωση και ανακύκλωση όλων των βασικών υλικών, μεταξύ των οποίων και των πλαστικών και του χαρτιού, που άλλες τεχνολογίες δεν θέλουν να ανακυκλωθούν για να είναι πιο αποδοτικές [5].

Τα κυριότερα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα που σχετίζονται με την κομποστοποίηση αφορούν στις αέριες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων των οσμών, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, την πιθανή ρύπανση των υδάτων από τα στραγγίσματα της διεργασίας, τη ρύπανση του εδάφους κατά την χρήση του κομπόστ, τη διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών και την κατανάλωση ενέργειας [23].

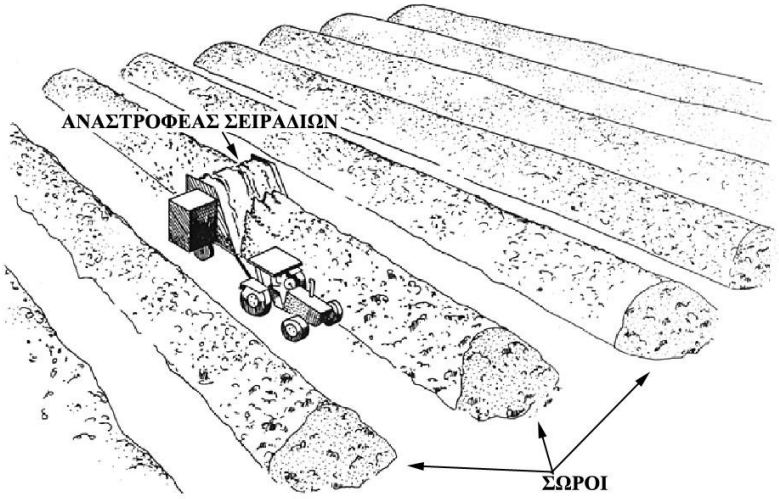
Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν διάφορα συστήματα κομποστοποίησης που διαφέρουν ως προς τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνουν τον έλεγχο του αερισμού, της υγρασίας και της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Ο βαθμός του ελέγχου που απαιτείται κατά την ενεργή φάση της κομποστοποίησης εξαρτάται από το μέγεθος και την τοποθεσία της εγκατάστασης, το είδος των προς επεξεργασία υλικών και τις χρήσεις για τις οποίες προορίζεται το κομπόστ [1]. Το σύστημα που χρησιμοποιείται για τη βιοσταθεροποίηση μπορεί να είναι υψηλού κόστους και τεχνολογίας (συνήθως επιτρέπει καλύτερο έλεγχο, περιορισμό των οσμών και μείωση του απαιτούμενου χρόνου) ή χαμηλού κόστους και τεχνολογίας (συνήθως απαιτείται περισσότερος χώρος και χρόνος και εκλύονται περισσότερες οσμές). Πρέπει να σημειωθεί ότι και τα απλά, χαμηλού κόστους συστήματα μπορούν να ικανοποιήσουν τις βασικές απαιτήσεις της κομποστοποίησης και να παράγουν υψηλής ποιότητας κομπόστ (ανάλογα με το υπόστρωμα). Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξασφαλίζεται η υγιεινοποίηση (καταστροφή παθογόνων μικροργανισμών) και η σταθεροποίηση της οργανικής ύλης (αποδόμηση των εύκολα βιοδιασπάσιμων ενώσεων και μετατροπή τους σε μερικώς χουμοποιημένα υλικά).

ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (βιοαντιδραστήρες)	ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (σειράδια)
- Κάθετοι αντιδραστήρες • συνεχούς ροής • ασυνεχούς ροής - Οριζόντιοι αντιδραστήρες • στατικοί • με κίνηση του υλικού	- Αναδευόμενοι σωροί - Στατικοί σωροί • με απορρόφηση αέρα • με εμφύσηση αέρα • με μεταβαλλόμενο αερισμό • (απορρόφηση και εμφύσηση) • με εμφύσηση ή/και απορρόφηση αέρα σε συνδυασμό με έλεγχο θερμοκρασίας

Πίνακας 2 Συστήματα κομποστοποίησης [1].

2.2.2.1 Μέθοδος Αναδευόμενων Σωρών

Απαιτεί τη χρήση μεγάλου μήκους σωρών του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων. Οι σωροί αυτοί είναι συνήθως τριγωνικής διατομής με λόγο πλάτος (βάσης)/ύψος τουλάχιστον 2. Ο λόγος απαίτησης του σχήματος αυτού είναι από τη μια πλευρά η ύπαρξη ενός επαρκούς μεγέθους σωρού ώστε να υπάρχει παραγωγή αρκετής θερμότητας η οποία να διατηρείται στο εσωτερικό του και από την άλλη ο σωρός να είναι αρκετά μικρός ώστε το οξυγόνο να μπορεί να διαχέεται ελεύθερα στο εσωτερικό του. Οι σωροί τοποθετούνται σε σταθερό έδαφος ώστε να μπορούν να αναδεύονται περιοδικά. Ο αερισμός του σωρού γίνεται στατικά, δηλαδή με την περιοδική ανάδευση του σωρού. Ένας τυπικός σχηματισμός είναι τα σειράδια (ελεύθερα ή σε κανάλια) μήκους μέχρι 100m και πλάτους μέχρι 5m. Τα συστήματα αυτά είναι ανοικτά και λειτουργούν συνήθως κάτω από υπόστεγο, το οποίο τα προστατεύει από δυσμενείς καιρικές συνθήκες όπως βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις.

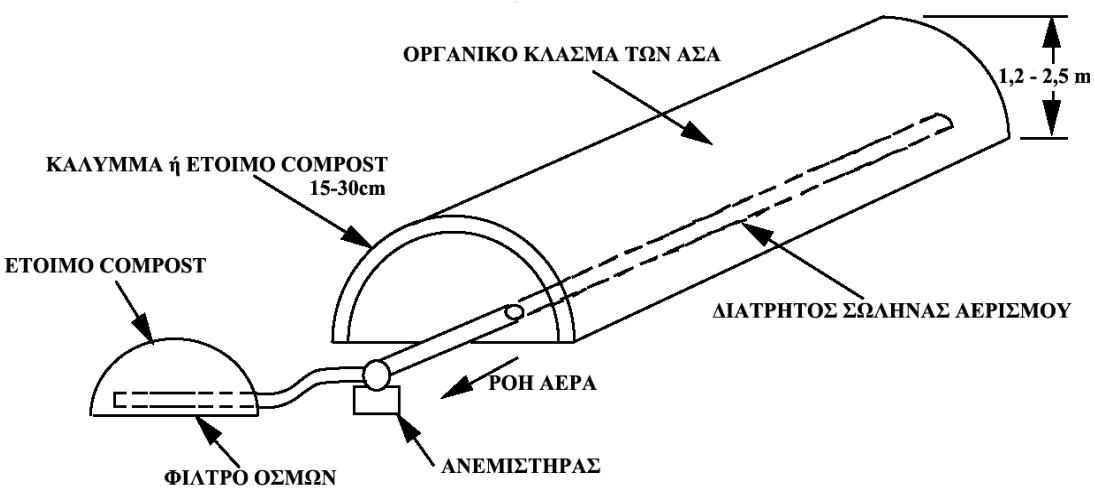


Εικ. 18 Αναστροφέας σειραδίων κομποστοποίησης [2].

2.2.2.2 Μέθοδος Αεριζόμενων Σωρών

Η μέθοδος αυτή απαιτεί ομοίως την τοποθέτηση των υλικών προς κομποστοποίηση σε σωρούς. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως οι σωροί αερίζονται μηχανικά και τα συστήματα αυτά ονομάζονται και δυναμικά. Οι σωροί τοποθετούνται πάνω σε ένα δίκτυο αεριστήρων οι οποίοι παρέχουν τον απαραίτητο αέρα για τη κομποστοποίηση. Ο αέρας είτε παρέχεται με θετική πίεση (τροφοδοσία αέρα στο σωρό) είτε με αρνητική πίεση (αναρρόφηση αέρα από το σωρό).

Μέσω σωστού προγραμματισμού της συχνότητας και της ποσότητας του αερισμού μπορεί να ελεγχθεί και η θερμοκρασία που αναπτύσσει ο σωρός, ενώ τα απαέρια μπορούν εύκολα να καθαριστούν από οσμές. Επειδή όμως οι σωροί δεν αναδεύονται, υπάρχει το ενδεχόμενο η εξωτερική επιφάνεια του σωρού να μην αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία (55^oC) για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Για το λόγο αυτό, τοποθετείται ένα κάλυμμα από έτοιμο κόμποστ το οποίο δρα ως θερμομονωτικό. Οι απαιτήσεις χώρου για τη μέθοδο αυτή είναι αρκετά μικρότερες από τη μέθοδο των αναδευόμενων σωρών. Η περίοδος ωρίμανσης διαρκεί από έξι έως δώδεκα (6-12) εβδομάδες.

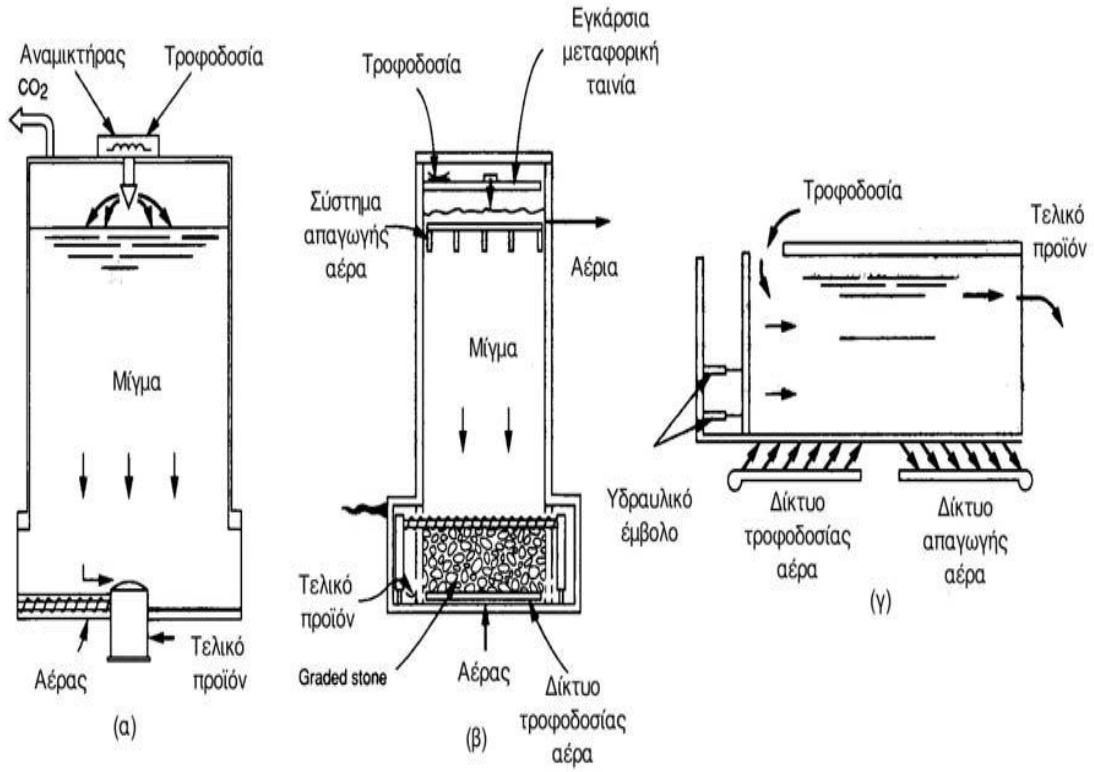


Εικ. 19 Μέθοδος αεριζόμενων σωρών [2].

2.2.2.3 Μέθοδος Βιοαντιδραστήρων (Κλειστά Συστήματα)

Στα συστήματα αυτά το προς κομποστοποίηση μίγμα των αστικών απορριμμάτων τοποθετείται μέσα σε βιοαντιδραστήρα όπου και βιοαποικοδομείται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού, υγρασίας και συνεχούς ανάδευσης. Οι αντιδραστήρες μπορούν να περιλαμβάνουν περισσότερα του ενός διαμερίσματα (π.χ. πολυώροφα σιλό), να περιστρέφονται ή να περιλαμβάνουν μηχανισμούς περιστροφής και ανάδευσης των υλικών και μπορούν να τοποθετηθούν ακόμα και μέσα σε κτίρια. Συνήθως, είναι συστήματα συνεχούς ροής αλλά έχουν παρουσιαστεί και συστήματα batch. Σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι η διαδικασία λαμβάνει χώρα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ώστε να επιταχύνεται η

κομποστοποίηση. Η μέθοδος αυτή αν και πιο πολύπλοκη από τις μεθόδους των σωρών παράγει ελάχιστες οσμές και ελάχιστα ή καθόλου στραγγίσματα. Επίσης, η παροχή αέρα μπορεί να ελεγχθεί πλήρως, αφού με τη χρήση αισθητήρων οξυγόνου ο αέρας μπορεί να κατευθυνθεί ακριβώς στην περιοχή που παρουσιάζεται έλλειμμα οξυγόνου. Ο χρόνος ωρίμανσης ποικίλει από μία έως τέσσερις εβδομάδες. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τρεις τυπικές διατάξεις κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης



Εικ. 20Διατάξεις κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης: α) κατακόρυφος κυλινδρικός πύργος, β) κατακόρυφος ορθογωνικός πύργος γ) οριζόντιο σύστημα τύπου τούνελ [2].



Εικ. 21 Κομποστοποίηση με τη μέθοδο των αναδευόμενων σωρών [2].



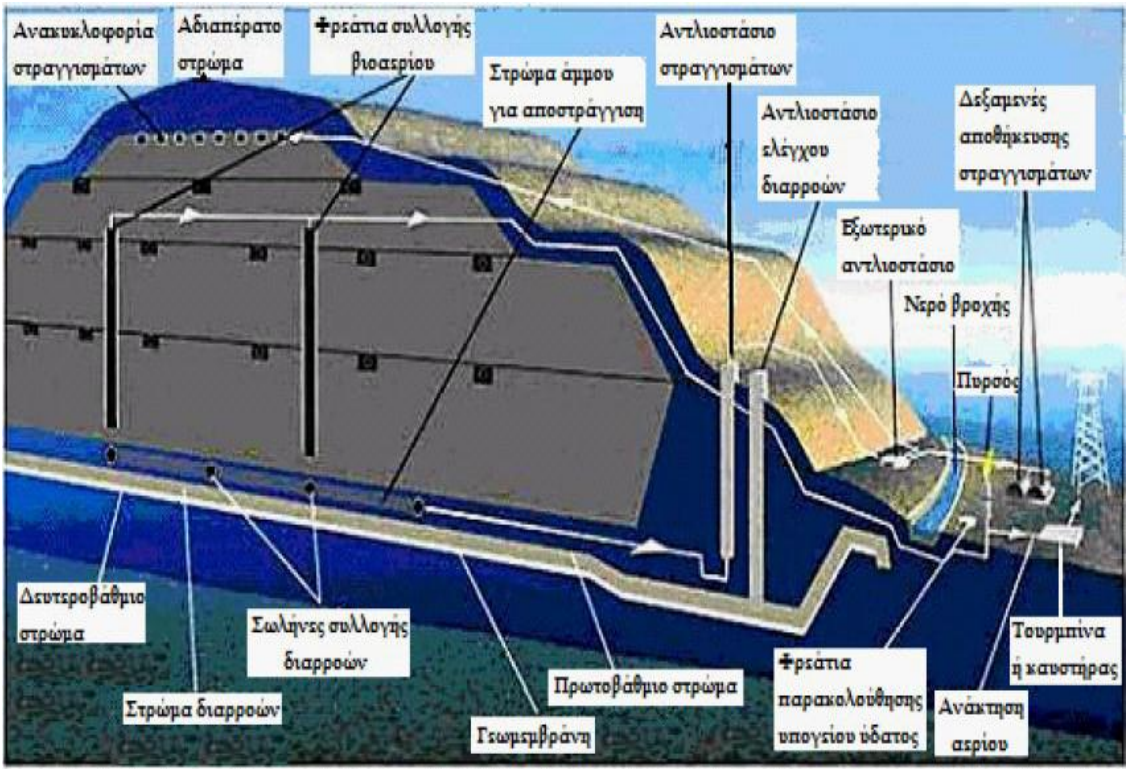
Εικ. 22Εγκατάσταση κομποστοποίησης για ανάδευση των σωρών [2].

2.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ

Η υγειονομική ταφή είναι η διαδικασία της ελεγχόμενης και οργανωμένης διάθεσης των απορριμμάτων στο έδαφος, στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Η μέθοδος της υγειονομικής ταφής δεν πρέπει να συγχέεται με τις χωματερές όπου δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή και η απόρριψη των απορριμμάτων είναι ανεξέλεγκτη.

Η υγειονομική ταφή είναι συνήθως η οικονομικότερη μέθοδος διάθεσης, όταν βρίσκεται εύκολα κατάλληλος χώρος. Απαιτεί σχετικά μικρότερο κεφάλαιο επενδύσεων για έργα υποδομής και μηχανολογικό εξοπλισμό, ενώ παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία και επιτρέπει αποκατάσταση του χώρου μετά την εξάντλησή του. Πρόκειται για πλήρη μέθοδο, σε αντιδιαστολή με την καύση και λιπασματοποίηση που χρειάζονται πρόσθετη επεξεργασία των καταλοίπων. Ο έλεγχος της καλής λειτουργίας του χώρου υγειονομικής ταφής από τις δημοτικέ αρχές και το κοινό γίνεται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία. Η υγειονομική ταφή είναι εξαιρετικά λειτουργική μέθοδος καθώς η λειτουργία του χώρου της δεν επηρεάζεται από τις έντονες εποχιακές διακυμάνσεις της ποσότητας και της σύστασης των απορριμμάτων. Αυξημένες ποσότητες απορριμμάτων μπορεί να τις δεχθεί με μια απλή προσθήκη ενός ακόμη μηχανήματος.

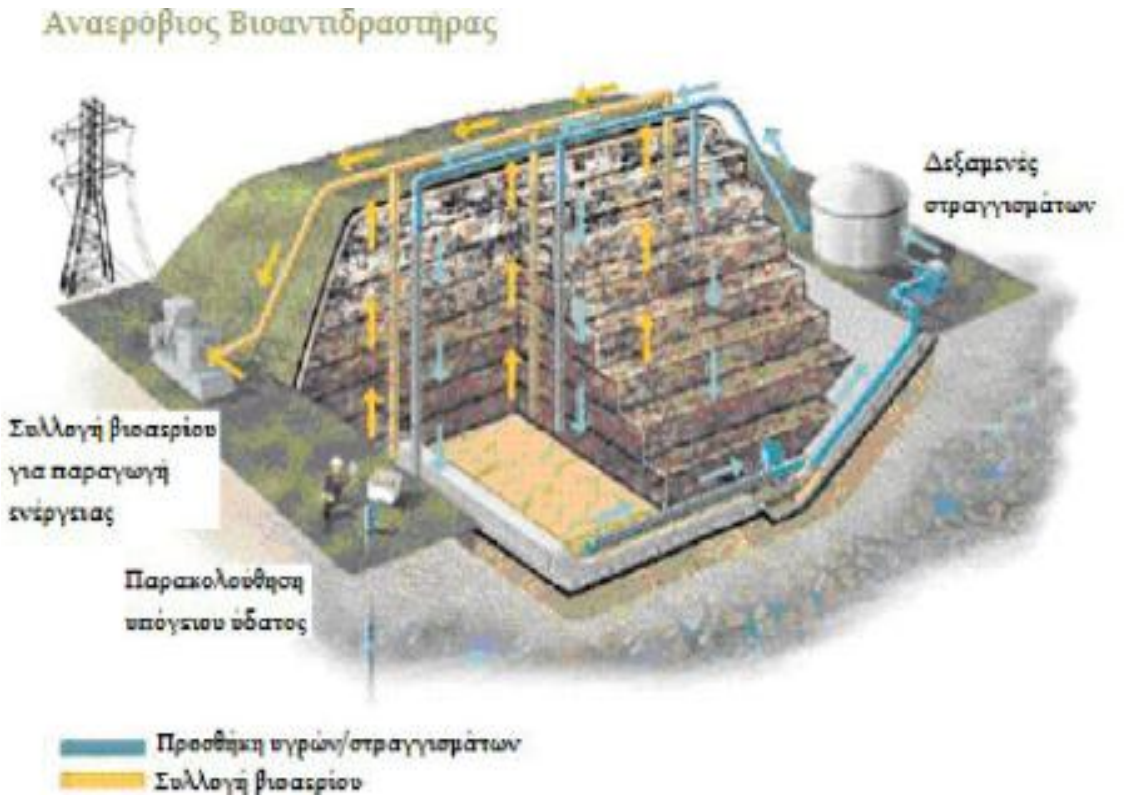
Στα μειονεκτήματά της μεθόδου συγκαταλέγονται η δυσκολία εξεύρεσης χώρου στις πυκνοκατοικημένες περιοχές (σε απόσταση που είναι δυνατή η μεταφορά τους), οι μεγάλες αντιδράσεις και διαμαρτυρίες από τους κατοίκους των γειτονικών περιοχών και η ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων από τα διασταλλάζοντα υγρά, όπως και ανάγκες περιοδικής συντήρησης του χώρου, ειδικής κατασκευής των κτισμάτων και λήψης μέτρων για το παραγόμενο μεθάνιο.



Εικ. 8 ΧΥΤΑ [12].

Τα διασταλλάζοντα (ή στραγγίσματα) είναι υγρά που σχηματίζονται αφενός από την εφαρμογή πίεσης στη διάστρωση των απορριμμάτων, αφετέρου από τη διέλευση νερού διαμέσου αυτών, το οποίο κατά την πορεία του ρυπαίνεται από ποικίλες οργανικές και ανόργανες ενώσεις (κατείσδυση). Η κίνηση των στραγγισμάτων προς τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες ή προς επιφανειακά νερά δημιουργεί σοβαρό πρόβλημα, όχι μόνον μόλυνσης αλλά και ρύπανσης αυτών από τυχούσες τοξικές ουσίες που πιθανώς περιέχονται.

Αρχικά διαλύονται στο νερό που κατεισδύει στα απορρίμματα ευδιάλυτα άλατα και οργανικές ενώσεις. Οι οργανικές ενώσεις προσδίδουν ένα σκούρο καφέ χρώμα στα στραγγίσματα. Κάποιες έχουν σχετικά μικρή διαλυτότητα, όμως με τη δράση των ενζύμων βιοδιασπώνται σε πιο ευδιάλυτες. Πολλές αντιδράσεις μπορούν να προχωρήσουν περαιτέρω δίδοντας αέρια προϊόντα (CH_4, CO_2). Ένας ΧΥΤΑ λειτουργεί σαν αναερόβιος αντιδραστήρας στον οποίο μπορεί να δημιουργηθεί αναγωγικό περιβάλλον.



Εικ. 9 Αναερόβιος αντιδραστήρας [12].

2.3 ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΑ ΧΥΤΑ

Οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην παραγωγή στραγγισμάτων είναι οι βροχοπτώσεις, η ύπαρξη υπογείων νερών, η πιθανή συνδιάθεση ιλύος, η ενδεχόμενη επανακυκλοφόρηση στραγγισμάτων, ο συντελεστής κατείσδυσης της τελικής χωματοκάλυψης, το περιεχόμενο των απορριμμάτων σε υγρασία, το είδος της τελικής χωματοκάλυψης, η ενδεχόμενη τοποθέτηση στεγανωτικού στρώματος, η κλίση του εδάφους και άλλα τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Επειδή τα στραγγίσματα είναι ιδιαίτερα επιβαρημένα σε οργανικό υλικό, η είσοδός τους σε έναν φυσικό αποδέκτη μπορεί να θέσει σε κίνδυνο όλη την πανίδα του, εξαιτίας της κατανάλωσης O_2 από τα βακτήρια. Ως εκ τούτου η μέτρηση της απαίτησης σε O_2 (BOD/COD) είναι απαραίτητη, γιατί μπορεί να δώσει το δυναμικό της χημικής ρύπανσης.

Τα σημαντικότερα ρυπαντικά συστατικά των στραγγισμάτων είναι :

- Ανόργανα κατιόντα όπως : Ασβέστιο(Ca^{++}), Μαγνήσιο (Mg^{++}), Νάτριο (Na^{++}), Κάλιο (K^{+}), Αμμώνιο (NH_4^{+}), Σίδηρος (Fe^{++}), Μαγγάνιο (Mn^{++}) και ανιόντα όπως : χλωριόντα (CL^{-}), θειϊκά (SO_4^{--}) και όξινα ανθρακικά (HCO_3^{-}).
- Βαρέα μέταλλα όπως : Κάδμιο(Cd), Ψευδάργυρος(Zn), Μόλυβδος(Pb), Χαλκός(Cu), Νικέλιο(Ni) και Κοβάλτιο(Co).
- Οργανικές ενώσεις εκφρασμένες ως BOD, CODκαι TOC.
- Οργανικές ενώσεις που περιέχονται σε μικρές συγκεντρώσεις (συνήθως μικρότερες από 1 mg/l), όπως οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, φαινόλες και χλωριωμένες αλειφατικές ενώσεις.

- Πληθώρα άλλων συστατικών, όπως Βόριο (B), Υδράργυρος (Hg), Θείο (S), Αρσενικό (As) και διάφορα ελαιώδη συστατικά.

Όσον αφορά στη διαχείριση στραγγισμάτων, πρέπει να δίνεται έμφαση στις ενέργειες που γίνονται για τη μείωση της παραγωγής και για τη συλλογή τους, όπως επίσης και στις ενέργειες που γίνονται για τον καθαρισμό τους και την τελική τους διάθεση. Για τη μείωση της παραγωγής πρέπει να ανοίγονται περιφερειακά κανάλια απαγωγής των ομβρίων υδάτων, ώστε να ελαχιστοποιείται η παροχή νερού στον όγκο των απορριμμάτων, καθώς και η καλή καθημερινή χωματοκάλυψη με το ενδεικνυόμενο υλικό. Για τη συλλογή τους χρησιμοποιούνται σωλήνες αποστράγγισης, οι οποίοι τοποθετούνται είτε σε ακτινική διάταξη είτε σε διάταξη σπονδυλικής στήλης. Οι σωλήνες αποστράγγισης οδηγούνται σε κεντρικά φρεάτια και από εκεί τα συλλεχθέντα υγρά οδηγούνται σε μονάδα καθαρισμού ή ανακυκλώνονται πίσω στον όγκο των απορριμμάτων.

Για την επεξεργασία και τον καθαρισμό των στραγγισμάτων μπορούν να εφαρμοσθούν οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και για την επεξεργασία όλων των υγρών αποβλήτων, όπως οι βιολογικές μέθοδοι, οι χημικές μέθοδοι, η επεξεργασία με μεμβράνες και η θερμική επεξεργασία.

Η βιολογική επεξεργασία των στραγγισμάτων είναι η πιο ευρεία διαδεδομένη μέθοδος. Η αποδόμηση των οργανικών ενώσεων επιτυγχάνεται με την βοήθεια διαφόρων μικροοργανισμών. Η διάσπαση των οργανικών ουσιών μπορεί να γίνει με την παροχή οξυγόνου (αερόβια διαδικασία) ή χωρίς οξυγόνο (αναερόβια διαδικασία). Προτιμότερο είναι να διατηρηθεί η όξινη ζύμωση των στραγγισμάτων ώστε η επεξεργασία των στραγγισμάτων να περιοριστεί στη φάση της μεθανογένεσης. Ως επί το πλείστον εφαρμόζεται η μέθοδος της ενεργού ιλύος ή των βιοφίλτρων. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επεξεργασίας των στραγγισμάτων μαζί με τα λύματα. Πάντοτε βέβαια με την προϋπόθεση ότι δεν περιέχονται μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών. Σε αρκετές χώρες, τα στραγγίσματα πριν διατεθούν στο βιολογικό καθαρισμό των λυμάτων πρέπει να υποστούν μια προεπεξεργασία.

Ο συνδυασμός χημικής-φυσικής και βιολογικής επεξεργασίας στραγγισμάτων αποτελείται από την εγκατάσταση μιας μονάδας βιολογικής επεξεργασίας και από μια μονάδα χημικής-φυσικής επεξεργασίας. Η χημική-φυσική επεξεργασία αποτελείται από τη μονάδα προσρόφησης με ενεργό άνθρακα, τις μονάδες επίπλευσης/καθίζησης με άλατα σιδήρου και πολυμερή, τη μονάδα εξουδετέρωσης με ασβέστη και τη δεξαμενή καθίζησης. Η χημική επεξεργασία κρίνεται απαραίτητη όταν ο λόγος COD/BOD των στραγγισμάτων είναι μεγάλος (>2,5). Επειδή όμως η χημική επεξεργασία είναι σχετικά ακριβότερη από τη βιολογική, η χημική επεξεργασία εφαρμόζεται όσο απαιτείται για την αποτοξικοποίηση των στραγγισμάτων και έπειτα ακολουθείται βιολογική επεξεργασία.

Η προσρόφηση σε φίλτρα ενεργού άνθρακα αποτελεί συνήθως μέρος της επεξεργασίας των στραγγισμάτων, Την οικονομικότητα της μονάδας μπορεί να εξασφαλίσει η αναγέννηση του ενεργού άνθρακα. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ενεργού άνθρακα μειώνουν τόσο το COD όσο και τις οργανικές αλογονούχες ενώσεις. Σε περίπτωση που δεν μπορούν να αναγεννηθούν τα φίλτρα ενεργού άνθρακα τότε πρέπει να διατεθούν με την μέθοδο της Υγειονομικής Ταφής ή να καούν στις μονάδες καύσης. Αλλά και κατά την αναγέννησή τους τουλάχιστον το 20% του ενεργού άνθρακα χάνεται [11].

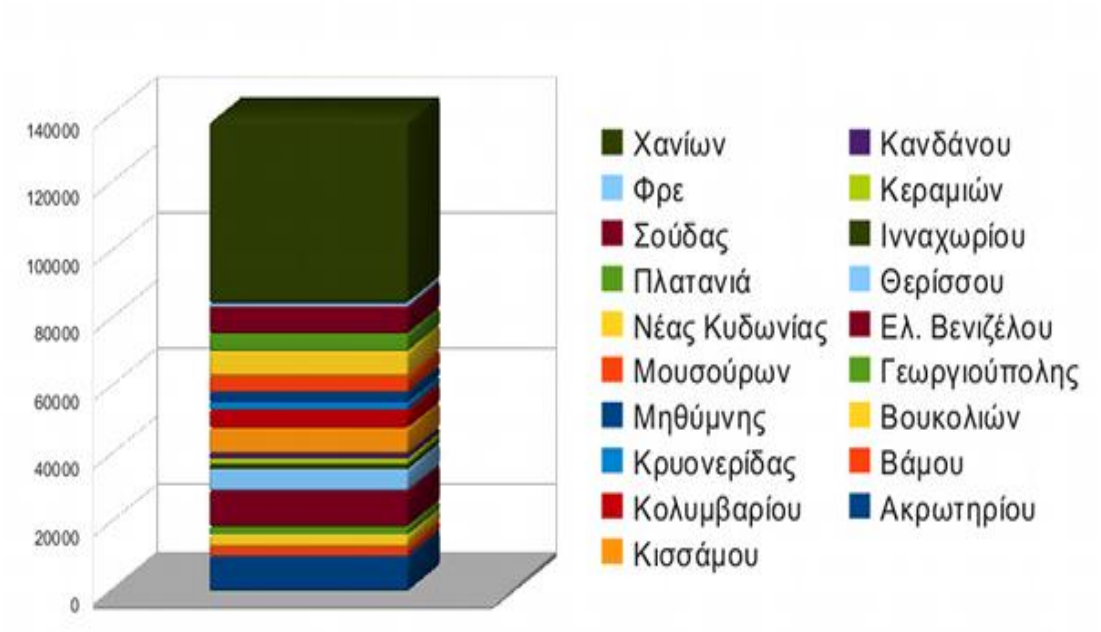
Η προεπεξεργασία και επαναφορά των στραγγισμάτων είναι μια απλή και διαδεδομένη μέθοδος. Τα στραγγίσματα υφίστανται μια προεπεξεργασία, με βιοφίλτρα συνήθως, απομακρύνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και στη συνέχεια τα στραγγίσματα επανέρχονται στην επιφάνεια του χώρου διάθεσης. Η μέθοδος αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς εξασφαλίζει την επιτάχυνση της βιοαποδόμησης στα απορρίμματα και αύξηση της παραγωγής βιοαερίου, την εξισορρόπηση των διακυμάνσεων των χημικών και βιολογικών συγκεντρώσεων των στραγγισμάτων, τη μείωση του όγκου των προς επεξεργασία στραγγισμάτων και κυρίως το χαμηλό κόστος.

Η κροκίδωση αποτελεί μέρος των μονάδων βιολογικού καθαρισμού με ενεργό άνθρακα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται θειικό οξύ και χλωριούχος σίδηρος. Άλλες μέθοδοι επεξεργασίας στραγγισμάτων είναι η ξήρανση, ο καθαρισμός με αντίστροφη όσμωση και η καύση που είναι μια μέθοδος αρκετά δαπανηρή και συνηθίζεται μόνο όταν υπάρχει μονάδα καύσης στην περιοχή.

2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΧΑΝΙΩΝ

Οι πλήρως στεγανοποιημένοι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Κορακιάς καταλαμβάνουν 150.000 m^2, με ολική χωρητικότητα 1.100.000 m^3 και περιλαμβάνουν συλλεκτήριους αγωγούς στραγγισμάτων, διαμορφωμένο πυθμένα, περιμετρική τάφρο διαχείρισης ομβρίων. Ο Χώρος Υγειονομικής Ταφής εξυπηρετεί συνολικό πληθυσμό 138.280 κατοίκων[3].

Στο χώρο υπάρχει «Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης», καθώς και ΧΥΤΥ που υλοποιήθηκε από την Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων με ανάδοχο την εταιρεία ENVITECAE και χρηματοδοτήθηκε από το Ταμείο Συνοχής με προϋπολογισμό 23 εκατομμύρια ευρώ. Η εγκατάσταση εκτείνεται σε έκταση 235 στρεμμάτων με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 2,3MW.



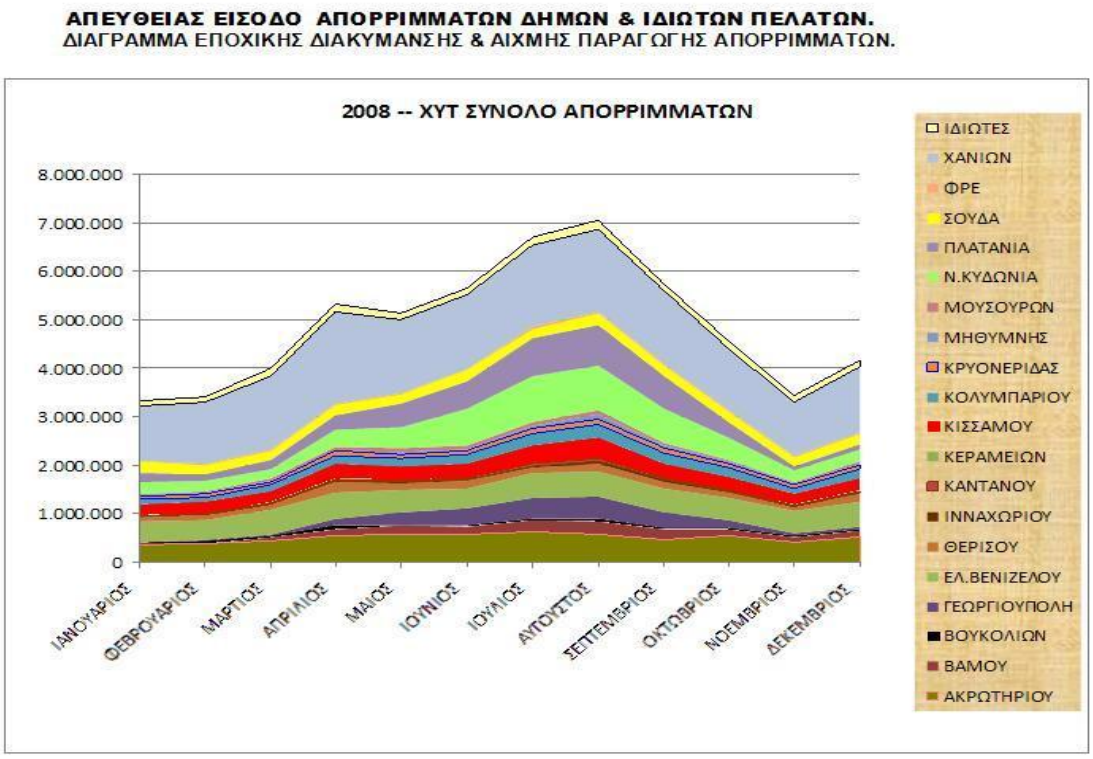
Εικ. 23 Πληθυσμιακή κάλυψη Χ.Υ.Τ. [3]

Σύμφωνα με τα καταγεγραμμένα στοιχεία του ΕΜΑΚ και ΧΥΤ το 2006 εισήλθαν στις εγκαταστάσεις της ΔΕΔΙΣΑ 83.493 τόνοι εκ των οποίων οι 68.810 τόνοι οδηγήθηκαν στον ΧΥΤΥ, 9.079 τόνοι οδηγήθηκαν στην υποδοχή της μηχανικής διαλογής και 5.604 τόνοι ανακυκλώσιμων από το πρόγραμμα διαλογής στην πηγή διαχωρίστηκαν στα επί μέρους υλικά, χαρτί και χαρτόνι, φιλμ πλαστικό, νάϋλον, PET και PE, τετραπάκ, σιδηρούχα και αλουμίνιο.

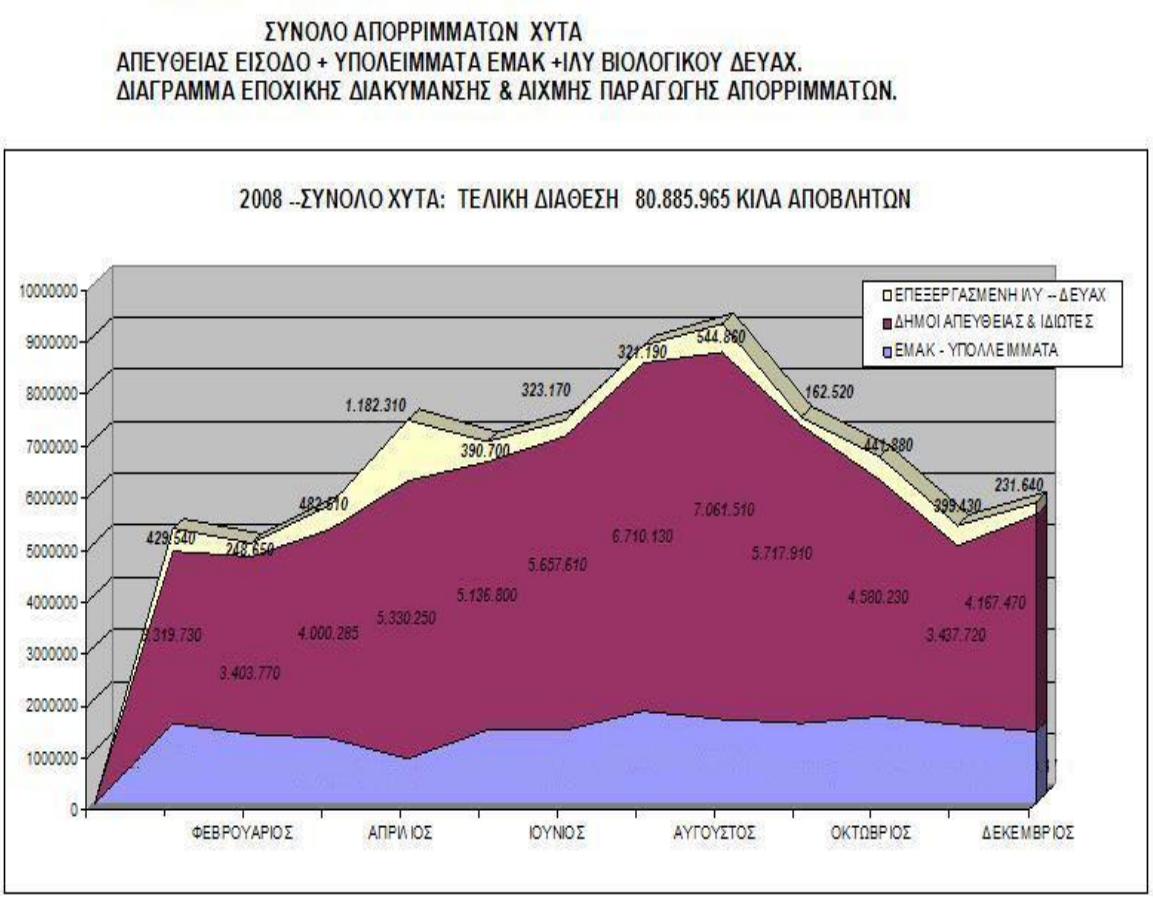


Εικ. 24Αεροφωτογραφία του ΕΜΑΚ και των ΧΥΤ [3].

Το πρόγραμμα διαλογής στην πηγή διαθέτει εγκατεστημένους 1.500 περίπου κάδους των 1100 Lt και επεκτείνεται συνεχώς σε νέους δήμους ενώ παράλληλα πυκνώνει ώστε να ανταποκρίνεται στην συμμετοχή των πολιτών, υποστηρίζεται δε από ενέργειες ενημέρωσης ευαισθητοποίησης με έμφαση στα σχολεία. Τα ξένα υλικά στους μπλε κάδους είναι της τάξης του 5% και τα ανακυκλώσιμα είναι ιδιαίτερα καθαρά, αποδεικνύοντας την ευαισθησία των Χανιωτών, στην οποία ίσως συνέτεινε η προσβλητική διεθνοποίηση του Κουρουπητού.



Εικ. 25Διάγραμμα εποχικής διακύμανσης και αιχμής παραγωγής απορριμμάτων [3].



Εικ. 26 Συνολική Διάθεση Χ.Υ.Τ.Α [3].

Η υγειονομική ταφή με την παράλληλη εκτροπή των ανακυκλουμένων και των ζυμώσιμων υλικών αποτελεί μια άριστη περιβαλλοντικά λύση για την τελική διάθεση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων.

Στην μία εκ των δύο δεξαμενών ταχείας κομποστοποίησης του Εργοστασίου, το ζυμώσιμο και οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών απορριμμάτων, μετά τον μηχανικό διαχωρισμό του και αφού έχει αναμιχθεί με τεμαχισμένα κλαδοκάθαρα μετατρέπεται σε εδαφοβελτιωτικό με μία περίπλοκη βιοχημική επεξεργασία, σε αερόβιες συνθήκες και ελεγχόμενη υγρασία. Ακολουθεί το ραφινάρισμα σε κόσκινα flip-flop και διάταξη συνδυασμένου αεροδυναμικού και βαλλιστικού διαχωρισμού, ενώ συνεχίζει η ωρίμανσή του σε σειράδια. Τα στραγγίσματα της επεξεργασίας οδηγούνται στον βιολογικό καθαρισμό του ΧΥΤ όπου αποδομούνται με τεχνολογία αντιδραστήρων ενεργού ιλύος διαλείποντος έργου και τεχνητό υδροβιότοπο. Η ποιότητα του παραγόμενου κομπόστ παρουσιάζει αρκετά καλά χαρακτηριστικά. Μακροσκοπικά δεν εντοπίζονται οι ξένες ύλες, τα τεμαχίδια γυαλιού είναι <1,4mm, έχει καλή υφή και δεν έχει δυσάρεστη οσμή. Σε σχέση με τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του είναι πλούσιο σε οργανική ουσία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα για κομπόστ απορριμμάτων, έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε N και η σχέση C/N είναι χαμηλή. Τα βαρέα μέταλλα είναι εντός των ορίων της ΕΕ.



Εικ. 27Δεξαμενή κομποστοποίησης [3].



Εικ. 28 Σειράδια κομπόστα για ωρίμανση [3].

2.4.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ Χ.Υ.Τ.Α. ΔΗΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της μονάδας εξυπηρετεί τον καθαρισμό των παραγόμενων στραγγισμάτων του Χ.Υ.Τ. που οδηγούνται με άντληση από τον πυθμένα του, καθώς και των υγρών που παράγονται από τα διάφορα στάδια της παραγωγής. Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων έχει δυναμικότητα 30 m^3 την ημέρα.



Εικ. 29Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων [3].

Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων βασίζεται στην τεχνολογία των αντιδραστήρων ενεργού ιλύος διαλείποντος έργου όπου επιτυγχάνεται το μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης, ενώ περιλαμβάνει και περαιτέρω επεξεργασία με την χρήση τεχνητού υδροβιοτόπου ακολουθούμενου από φίλτρα ενεργού άνθρακα. Η τελική εκροή προορίζεται για άρδευση της μονάδας, ενώ υπάρχει η δυνατότητα επανακυκλοφορίας στον Χ.Υ.Τ.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ Χανίων για το έτος 2010 παρατίθενται στο Κεφάλαιο 4 – Πειραματικό μέρος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΑ / ΥΠΕΡΚΡΙΣΙΜΑ ΡΕΥΣΤΑ

Υποκρίσιμο ρευστό είναι οποιαδήποτε ουσία σε μία θερμοκρασία και πίεση άνω του κρίσιμου σημείου, όπου διακριτές υγρές και αέριες φάσεις δεν υπάρχουν. Ας φανταστούμε μία καθαρή ουσία σε συνθήκες ισορροπίας υγρής και αέριας κατάστασης. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, για να διατηρηθεί η ισορροπία αυξάνεται και η πίεση. Όσο εξελίσσεται αυτή η διαδικασία ένα υγρό μέρος της ουσία διαλύεται στην αέρια φάση, ενώ ένα αέριο μέρος διαλύεται στην υγρή [15]. Τελικά προκύπτει ένα ρευστό το οποίο δεν είναι αμιγώς αέριο ή υγρό, οι δύο φάσεις έχουν διαλυθεί η μία μέσα στην άλλη. Κοντά στο κρίσιμο σημείο, μικρές αλλαγές στην πίεση ή στην θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλες αλλαγές στην πυκνότητα, επιτρέποντας πολλές ιδιότητες του υπερκρίσιμου ρευστού να βελτιστοποιηθούν ανάλογα με την εφαρμογή.

Σε γενικές γραμμές, τα υπερκρίσιμα ρευστά έχουν ιδιότητες μεταξύ των αέριων και υγρών φάσεων. Στον παρακάτω πίνακα, εμφανίζονται οι κρίσιμες ιδιότητες για μερικά συστατικά, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως ως υπερκρίσιμα ρευστά.

Διαλύτη	Μοριακό Βάρος	Κρίσιμη θερμοκρασία	Κρίσιμη πίεση	Κρίσιμη πυκνότητα
	g/mol	K	MP a (atm)	g/cm³
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO2)	44,01	304,1	7,38 (72,8)	0,469
Νερό (H2O) (σύμφωνα IAPWS)	18,015	647,096	22,064 (217,755)	0,322
Μεθάνιο (CH4)	16,04	190,4	4,60 (45,4)	0,162
Αιθάνιο (C2H6)	30,07	305,3	4,87 (48,1)	0,203
Προπάνιο (C3H8)	44,09	369,8	4,25 (41,9)	0,217
Αιθυλένιο (C2H4)	28,05	282,4	5,04 (49,7)	0,215
Προπυλένιο (C3H6)	42,08	364,9	4,60 (45,4)	0,232
Μεθανόλη (CH3OH)	32,04	512,6	8,09 (79,8)	0,272
Αιθανόλη (C2H5OH)	46,07	513,9	6,14 (60,6)	0,276
Ακετόνη (C3H6O)	58,08	508,1	4,70 (46,4)	0,278

Πίνακας3Κρίσιμες ιδιότητες των διαφόρων διαλυτών (Reid, 1987) [15].

Στον Πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές της πυκνότητας, του ιξώδες και της ικανότητας διάχυσης για τα υγρά, τα αέρια και τα υπερκρίσιμα υγρά.

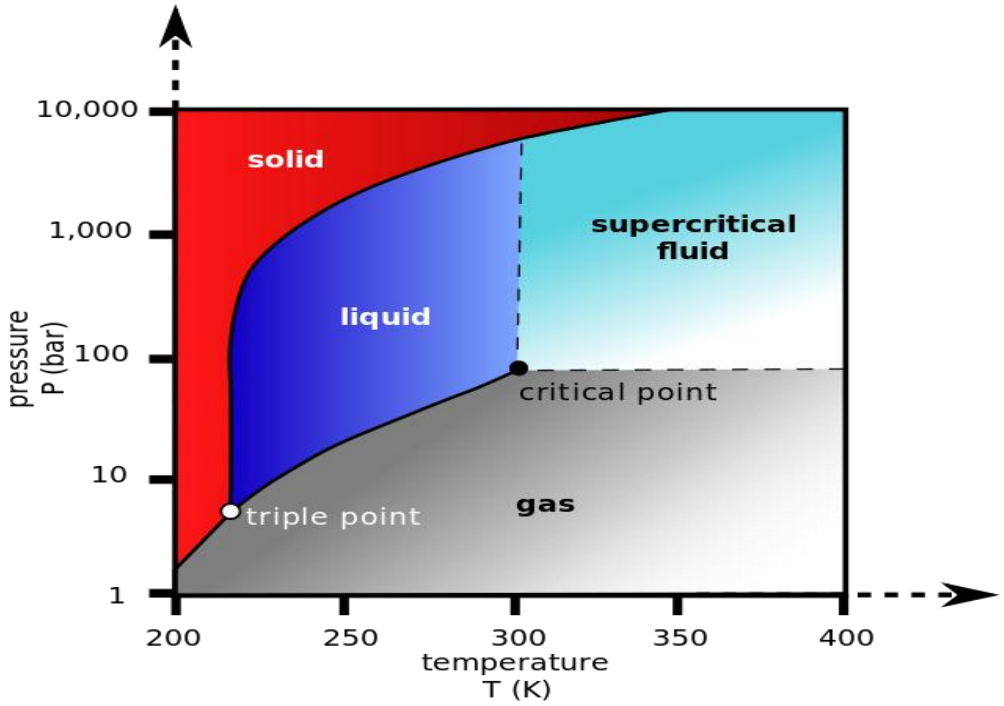
	Πυκνότητα (kg/m^3)	Ιξώδες ($\mu Pa \cdot s$)	Διαχυτότητα (mm^2/s)
Αέρια	1	10	1,0-10
Υπερκρίσιμα Υγρά	100-1000	50-100	0,01-0,1
Υγρά	1000	500-1000	0,001

Πίνακας4 Σύγκριση των αερίων, υπερκρίσιμων υγρών, υγρών [15].

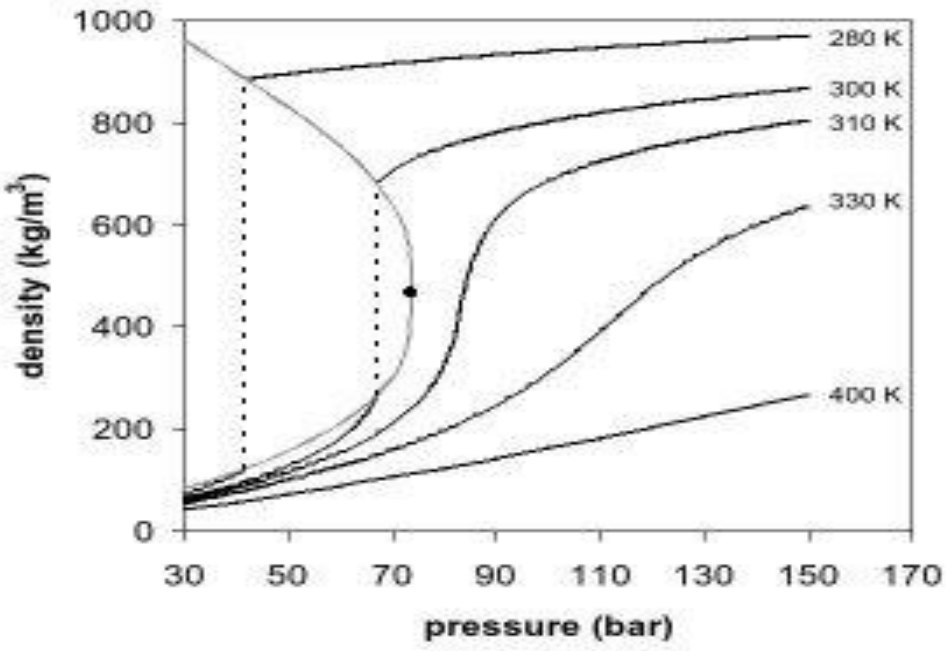
Επιπλέον, δεν υπάρχει επιφανειακή τάση σε ένα υπερκρίσιμο ρευστό, καθώς δεν υπάρχει όριο στην φάση υγρού/αερίου. Με την αλλαγή της πίεσης και της θερμοκρασίας του ρευστού, οι ιδιότητες μπορούν να «συντονιστούν» είτε προς την υγρή ή προς την αέρια μορφή. Μια σημαντική ιδιότητα είναι η διαλυτότητα του υλικού στο υγρό. Η διαλυτότητα σε ένα υπερκρίσιμο ρευστό τείνει να αυξάνει με την πυκνότητα του ρευστού (σε σταθερή θερμοκρασία). Δεδομένου ότι η πυκνότητα αυξάνει με την πίεση, η διαλυτότητα τείνει να αυξάνεται με την πίεση. Η σχέση με την θερμοκρασία είναι λίγο πιο περίπλοκη. Σε σταθερή πυκνότητα, θα αυξηθεί η διαλυτότητα με τη θερμοκρασία. Ωστόσο, κοντά στο κρίσιμο σημείο, η πυκνότητα μπορεί να μειωθεί αισθητά με ελαφρά αύξηση της θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου, κοντά στην κρίσιμη θερμοκρασία, η διαλυτότητα πέφτει συχνά με την αύξηση της θερμοκρασίας, στη συνέχεια αυξάνεται και πάλι.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Εικόνα 30 & 31) απεικονίζονται τα διαγράμματα φάσεων για το διοξείδιο του άνθρακα. Στο διάγραμμα φάσης πίεσης-θερμοκρασίας, η περιοχή ζέσεως διαχωρίζει το αέριο και το υγρό και τελειώνει στο κρίσιμο σημείο, όπου οι φάσεις του αερίου και του υγρού εξαφανίζονται για να γίνει μια ενιαία υπερκρίσιμη φάση. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα φάσεων πυκνότητας-πίεσης για το διοξείδιο του άνθρακα, όπως φαίνεται στη δεύτερη εικόνα. Αρκετά κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία, π.χ. στους 280K, καθώς αυξάνεται η πίεση, το αέριο συμπιέζεται και συμπυκνώνεται σε ένα υγρό πολύ πυκνότερο, με αποτέλεσμα την ασυνέχεια στη γραμμή (κάθετη διακεκομμένη γραμμή). Το σύστημα αποτελείται από δύο φάσεις σε ισορροπία, ένα πυκνό υγρό και ένα αέριο χαμηλής πυκνότητας. Όσο προσεγγίζεται η κρίσιμη θερμοκρασία (300K), η πυκνότητα του αερίου αυξάνεται, ενώ του υγρού μειώνεται. Στο κρίσιμο σημείο (304,1K και 73,8bar (7,38 MPa)) δεν υπάρχει καμιά διαφορά στην πυκνότητα και οι δύο φάσεις έχουν γίνει μία ρευστή φάση. Έτσι, πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία του ένα αέριο δεν μπορεί να υγροποιηθεί με πίεση. Ελαφρώς πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία (310K), στην περιοχή της κρίσιμης πίεσης, η γραμμή είναι σχεδόν κατακόρυφη. Μια μικρή αύξηση της πίεσης μπορεί να προκαλέσει μια μεγάλη αύξηση στην πυκνότητα της υπερκρίσιμης φάσης. Πολλές άλλες φυσικές ιδιότητες παρουσιάζουν επίσης μεγάλες κλίσεις με την πίεση κοντά στο κρίσιμο σημείο, π.χ. ιξώδες, η σχετική διηλεκτρική σταθερά και η διαλυτότητα, τα οποία είναι όλα συνδεόμενα με την πυκνότητα. Σε υψηλές θερμοκρασίες, το υγρό αρχίζει να συμπεριφέρεται σαν αέριο, όπως μπορεί να φανεί στο δεύτερο διάγραμμα που ακολουθεί. Για το διοξείδιο του

άνθρακα σε θερμοκρασία 400K, η πυκνότητα αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την πίεση.



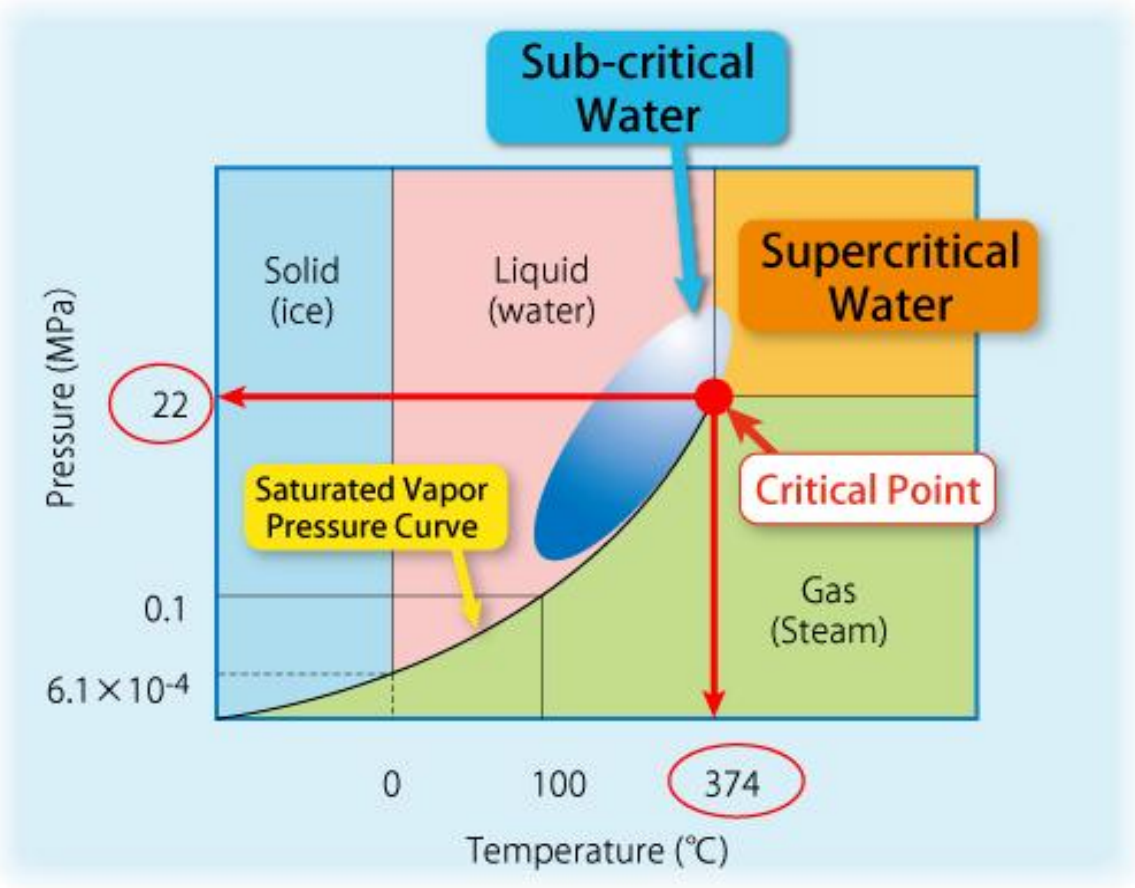
Εικ. 30 Διάγραμμα φάσεων πίεσης-θερμοκρασίας του διοξειδίου του άνθρακα [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Carbon_dioxide_pressure-temperature_phase_diagram.svg].



Εικ. 31 Διάγραμμα φάσεων πυκνότητας-πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Carbon_dioxide_density-pressure_phase_diagram.jpg].

3.1 ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Υποκρίσιμο νερό είναι το νερό υγρής φάσης υπό πίεση σε θερμοκρασίες μεταξύ του σημείου βρασμού, 100ºC (212ºF), και της κρίσιμης θερμοκρασίας του, 374ºC (705ºF). Είναι επίσης γνωστό ως «υπέρθερμο νερό» ή «θερμό νερό υπό πίεση». Το υποκρίσιμο νερό είναι σταθερό, λόγω της υπερπίεσης που ανεβάζει το σημείο βρασμού, ή με θέρμανση σε ένα σφραγισμένο δοχείο, όπου το νερό υγρής φάσης είναι σε ισορροπία με τον ατμό κατά την πίεση των κεκορεσμένων ατμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υποκρίσιμου νερού είναι το νερό που ζεσταίνεται μέσα σε μία χύτρα ταχύτητος.



Εικ.32Υποκρίσιμο και υπερκρίσιμο νερό [16].

Πολλές από τις ιδιότητες του νερού οφείλονται στους πολύ ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου, π.χ. το υψηλό σημείο ζέσεως (100°C) το οποίο θα ήταν αρκετά χαμηλότερο εάν δεν υπήρχαν οι δεσμοί Η. Πάνω από το εύρος της υποκρίσιμης θερμοκρασίας οι δεσμοί σπάνε, αλλάζοντας τις ιδιότητες του νερού περισσότερο από ότι αναμένεται με απλή αύξηση της θερμοκρασίας του μόνο. Το νερό γίνεται λιγότερο πολικό και συμπεριφέρεται περισσότερο σαν ένας οργανικός διαλύτης, όπως η μεθανόλη ή η αιθανόλη. Η διαλυτότητα των οργανικών υλικών και αερίων αυξάνεται κατά αρκετές τάξεις μεγέθους και το ίδιο το νερό μπορεί να δράσει ως

διαλύτης, αντιδραστήριο και καταλύτης σε βιομηχανικές και αναλυτικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της εκχύλισης και διάφορων χημικών αντιδράσεων[16].

Όλα τα υλικά παρουσιάζουν αλλαγές στις ιδιότητές τους με τη θερμοκρασία, αλλά το νερό εμφανίζει τις μεγαλύτερες αλλαγές από ότι θα αναμενόταν από εκτιμήσεις της θερμοκρασίας και μόνο. Το ιξώδες, η επιφανειακή τάση της πτώσης του νερού και η διάχυση αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ο αυτό-ιονισμός του νερού αυξάνεται με την θερμοκρασία. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων H^+ και μείωση του pH (αν και το επίπεδο του υδροξειδίου (OH^-) αυξάνεται κατά το ίδιο ποσό, ώστε το νερό να εξακολουθεί να είναι ουδέτερο). Η ειδική θερμοχωρητικότητα σε σταθερή πίεση αυξάνει επίσης με τη θερμότητα, από 4,187 KJ/kgστους 25ºC σε 8,138 KJ/kgστους 350ºC. Μια άλλη σημαντική επίδραση στην συμπεριφορά του νερού σε υψηλές θερμοκρασίες είναι η μείωση της διηλεκτρικής σταθεράς.

Το νερό είναι ένα πολικό μόριο, όπου διαχωρίζονται τα κέντρα θετικού και αρνητικού φορτίου και τα μόρια μπορούν να ευθυγραμμιστούν με ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το εκτεταμένο δίκτυο του υδρογόνου στο νερό τείνει να αντιτάσσεται σε αυτή την ευθυγράμμιση. Ο βαθμός της ευθυγράμμισης μετράται από τη σχετική διηλεκτρική σταθερά. Το νερό έχει μια υψηλή διηλεκτρική συμπεριφορά, περίπου 80 σε θερμοκρασία δωματίου, επειδή οι μετατοπίσεις πολικότητας ταχέως μεταδίδονται μέσω μετατοπίσεων στον προσανατολισμό των συνδεδεμένων δεσμών υδρογόνου. Αυτό επιτρέπει στο νερό να διαλύει άλατα, καθώς η ελκυστική ηλεκτρική δύναμη μεταξύ των ιόντων μειώνεται περίπου κατά 80 φορές. Η θερμική κίνηση των μορίων διαταράσσει το δίκτυο δεσμών του υδρογόνου καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, έτσι η διηλεκτρική συμπεριφορά μειώνεται με τη θερμοκρασία περίπου στο 7 στη κρίσιμη θερμοκρασία. Στους 205ºC η σχετική διηλεκτρική σταθερά πέφτει στο 33, το ίδιο όπως η μεθανόλη σε θερμοκρασία δωματίου. Έτσι το νερό συμπεριφέρεται σαν ένα μείγμα νερού/μεθανόλης μεταξύ 100ºCκαι 200ºC. Η διακοπή των εκτεταμένων δεσμών υδρογόνου επιτρέπει στα μόρια να κινούνται πιο ελεύθερα και επιπλέον ενέργεια πρέπει να παρέχεται για να σπάσει τους δεσμούς (αυξημένη θερμοχωρητικότητα).

Σε θερμοκρασίες κάτω από 300ºC, το νερό είναι αρκετά ασυμπίεστο, το οποίο σημαίνει ότι η πίεση έχει μικρή επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του νερού, με την προϋπόθεση ότι η πίεση είναι επαρκής για να διατηρήσει το νερό σε υγρή κατάσταση. Η πίεση αυτή δίδεται από την πίεση κορεσμένων ατμών, και μπορεί να ανευρεθεί σε πίνακες ατμού ή να υπολογιστεί. Η πίεση κορεσμένων ατμών στους 121ºC είναι 200 kPa, στους 150ºC είναι 470 kPa, στους 200ºC είναι 1550 kPa. Το κρίσιμο σημείο είναι 21,7 Mpa σε θερμοκρασία 374ºC, πάνω από την οποία το νερό είναι υπερκρίσιμο αντί υπέρθερμο. Πάνω από τους 300ºC, το νερό αρχίζει να συμπεριφέρεται ως ένα σχεδόν κρίσιμο υγρό και οι φυσικές ιδιότητες, όπως η πυκνότητα αρχίζουν να αλλάζουν σημαντικά με μεγαλύτερη πίεση [16].

3.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Η αρκετά μεγάλη ικανότητα διάλυσης οργανικών ενώσεων, καθιστά το υποκρίσιμο νερό ως μία από τις πρώτες επιλογές σε δράσεις που επιθυμείται μία πιο «πράσινη» προσέγγιση. Έτσι χρησιμοποιείται σε διεργασίες καθαρισμού και διαχείρισης αποβλήτων. Το υποκρίσιμο νερό μπορεί να αντικαταστήσει τους κλασικούς οργανικούς διαλύτες σε διάφορες χημικές αντιδράσεις. Με τη χρήση του υποκρίσιμου νερού αποφεύγουμε την τοξική δράση και βιοσυσσώρευση των κλασικών οργανικών διαλυτών, παρέχοντας έτσι μια εναλλακτική λύση, περιβαλλοντικά φιλικότερη, αλλά εξίσου αποτελεσματική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κατά το πειραματικό μέρος, δείγματα στραγγισμάτων του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων Χανίων υποβλήθηκαν σε υδροθερμική επεξεργασία. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε και υπεροξείδιο του υδρογόνου προκειμένου να οξειδώσει τις οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στα στραγγίσματα. Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας ήταν η μείωση του οργανικού φορτίου των στραγγισμάτων και η εξακρίβωση της σημασίας της κάθε παραμέτρου της (θερμοκρασία, χρόνος, συγκέντρωση υπεροξειδίου υδρογόνου).

4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η μείωση του οργανικού φορτίου των στραγγισμάτων πραγματοποιήθηκε σε έξι διαφορετικές συνθήκες στο εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών. Σε κάθε σειρά μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν επτά αντιδραστήρες της εταιρείας Swagelok από ανοξείδωτο χάλυβα (Εικόνα 33), που φορτώθηκαν με 20ml στραγγισμάτων ο καθένας.



Εικ. 33 Αντιδραστήρες Swagelok που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων.

Το δείγμα διασταλλάγματος προήλθε από τα 2 κύτταρα του ΧΥΤΑ Χανίων με τη βοήθεια του προσωπικού της ΔΕΔΙΣΑ Α.Ε. Οι αρχικές αναλυτικές τιμές των ιδιοτήτων του δείγματος παρατίθενται στον Πίνακα 5. Μετά την παραλαβή του, στο δείγμα πραγματοποιήθηκε μέτρηση COD, pH και αγωγιμότητας και κατόπιν φυλάχθηκε στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4^oC, έως τη χρήση του.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές διαφόρων παραμέτρων των στραγγισμάτων από δύο κύτταρα του Χ.Υ.Τ.Α. Χανίων για το έτος 2010. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αποκλίσεις στις συνήθεις τιμές των μετρήσεων λόγω έντονων βροχοπτώσεων την περίοδο αυτή.

Παράμετρος	**Μονάδες**	**Τιμή (κύτταρο Α΄φάσης)**	**Τιμή (κύτταρο Β΄φάσης)**
T	˚C	22	21.3
pH		7.84	8,3
EC	mS cm^{1-}	24.6	32,4
DO	mg/L	4.9	3,4
TSS	mg/L	224,8	447.50
$N\text{-}NO_3$	mg/L	25,7	16.76
$N\text{-}NO_2$	mg/L	39,5	0.50
$N\text{-}NH_4$	mg/L	2718.3	2786.5
$P\text{-}PO_4$	mg/L	39,6	20.3
TKN	mg/L	2422,8	2712,1
TP	mg/L	20,8	24,8
BOD	mg/L	209,4	434,4
COD	mg/L	12770	12460
TOC	mg/L	881,9	698,3
HCO_3^-	mg/L	11813.33	10676.7
SO_4	mg/L	<DL	8,5
Cl^-	mg/L	3059	2079,1
Na	mg/L	1668,2	1644

Πίνακας 5 Παράμετροι στραγγισμάτων Χ.Υ.Τ.Α. Χανίων.

Τις ημέρες των πειραμάτων, επαρκής ποσότητα δείγματος έβγαινε από το ψυγείο και αφηνόταν να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου. Σε κάθε αντιδραστήρα γινόταν τοποθέτηση ταινίας Τεφλόν στα σπειρώματα (Εικόνα 33), με σκοπό την αποφυγή των διαρροών λόγω των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται εντός του αντιδραστήρα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Μετά την προσθήκη 20 ml διασταλλάγματος και της απαιτούμενης ποσότητας οξειδωτικής ουσίας κατά περίπτωση, οι αντιδραστήρες έκλειναν με το δεύτερο καπάκι. Στον Πίνακα 6 παρατίθενται αναλυτικά οι πειραματικές συνθήκες που επιλέχθηκαν για την επεξεργασία του διασταλλάγματος. Η $1^{η}$ και $2^{η}$ σειρά πειραμάτων – χωρίς τη προσθήκη οξειδωτικής ουσίας – πραγματοποιήθηκαν για να διαπιστωθεί εάν οι υποκρίσιμες συνθήκες από μόνες τους (επί της ουσίας η υψηλή θερμοκρασία, καθώς η υψηλή πίεση έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει ελάχιστα αντίστοιχα πειράματα) μπορούν να επηρεάσουν το οργανικό φορτίο ή τις άλλες μετρήσιμες παραμέτρους στο δείγμα. Επίσης πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα ($6^{η}$ σειρά) με μόνη προσθήκη οξειδωτικής ουσίας χωρίς τη χρήση θερμοκρασίας με σκοπό να συγκριθεί αργότερα με τις σειρές πειραμάτων 3-4-5 στις οποίες γίνεται χρήση τόσο οξειδωτικής ουσίας όσο και υψηλής θερμοκρασίας.

	Time	1η σειρά	2η σειρά	3η σειρά	4η σειρά	5η σειρά	6η σειρά
1	10 min	150°C χωρίς προσθήκη H_2O_2	220°C χωρίς προσθήκη H_2O_2	150°C προσθήκη 0,5 ml H_2O_2	150°C προσθήκη 2 ml H_2O_2	220°C προσθήκη 2 ml H_2O_2	1 δείγμα σε συνθήκες περιβάλλοντος με προσθήκη 2 ml H_2O_2
2	20 min						
3	30 min						
4	45 min						
5	60 min						
6	90 min						
7	120 min						

Πίνακας 6 Πειραματικές συνθήκες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Γινόταν προθέρμανση του φούρνου ξήρανσης στην απαιτούμενη θερμοκρασία. Μόλις αυτή είχε επιτευχθεί, άνοιγε η πόρτα του φούρνου και γινόταν η τοποθέτηση των αντιδραστήρων. Αυτή η στιγμή λαμβανόταν ως χρόνος μηδέν και με το κλείσιμο της πόρτας του φούρνου, ξεκινούσε η χρονομέτρηση έως τους χρόνους παραμονής του Πίνακα 6. Με την ολοκλήρωση του χρόνου παραμονής, άνοιγε η πόρτα και γινόταν αφαίρεση ενός αντιδραστήρα, ο οποίος βυθιζόταν σε παγόλουτρο με σκοπό τη γρήγορη επαναφορά του σε θερμοκρασία δωματίου και τη διακοπή των αντιδράσεων οξείδωσης του οργανικού φορτίου στο δείγμα. Κατόπιν, ο αντιδραστήρας ανοιγόταν προσεκτικά (λόγων πιθανής αυξημένης πίεσης εντός του, ακόμα και μετά την επαναφορά του σε θερμοκρασία δωματίου) και το επεξεργασμένο λύμα τοποθετούνταν σε αεροστεγές γυάλινο φυαλίδιο και μετά στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4^{o}C μέχρι την ανάλυση του.

4.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους ποιότητας του νερού είναι το ποσόν του διαλυμένου σε αυτό οξυγόνοDO (DissolvedOxygen). Η απαίτηση σε οξυγόνο μπορεί να μετρηθεί και εκφράζεται με διάφορους τρόπους. Κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας μετρήθηκε η χημική απαίτηση σε οξυγόνο ή το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (ChemicalOxygenDemand, COD). Το COD είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των αποβλήτων.Το CODπροσδιορίζεται σε mg/l ως τα mg του καταναλισκόμενου οξυγόνου ανά λίτρο δείγματος.

Για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στο δείγμα, χρησιμοποιείται ένα ισχυρά οξειδωτικό αντιδραστήριο : το διχρωμικό κάλιο. Τα οξειδώσιμα οργανικά συστατικά του δείγματος αντιδρούν, ανάγοντας το διχρωμικό ιόν ($Cr_2O_7^{2-}$) σε χρωμικό (Cr^{3+}).

Με την χρήση φασματοφωτόμετρου προσδιορίζεται η ποσότητα του παραγόμενου Cr^{3+}στο διάλυμα μετά την οξείδωση της οργανικής ύλης, φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 620 nm. Στα αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό τουCOD περιέχονται επίσης ιόντα αργύρου και υδραργύρου. Ο άργυρος χρησιμοποιείται ως καταλύτης για την οξείδωση και ο υδράργυρος για τον περιορισμό των παρεμβολών από το χλώριο.

Το pH και η αγωγιμότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων μετρήθηκαν στο εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών με χρήση των ηλεκτροδίων μέτρησης pH και αγωγιμότητας που είναι συνδεδεμένα με φορητό βολτόμετρο Consort C 532.

Τα φωσφορικά και αμμωνιακά ιόντα μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Χημείας της Διαδημοτικής Επιχείρησης Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΔΕΔΙΣΑ) από την κα. Χριστίνα Τσαμουτσόγλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το αρχικόpH του λύματος πριν την επεξεργασία ήταν 8,03. Η αρχική αγωγιμότητα του λύματος ήταν 32,4 mS/cm. Και οι 2 τιμές συμφωνούν με αυτές που έχουν δημοσιευθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Vadillo et al., 1999, Christensen et al., 2001 και άλλες αναφορές εντός αυτής). Η υψηλή τιμή της αγωγιμότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τις υψηλές τιμές των Cl^-, Na^+, K^+και NH_4^+.

Στο Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες 150 και 250°C, χωρίς τη χρήση οξειδωτικού. Όσον αφορά το COD, δεν παρατηρείται καμία σημαντική μεταβολή στη τιμή του σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα, ακόμα και μετά από 2 ώρες επεξεργασίας. Αυτό υποδεικνύει ότι η απλή χρήση υψηλής θερμοκρασίας δεν επηρεάζει το οργανικό φορτίο του δείγματος.

Time	COD(mg/L)	PO_4(mg/L)	NH_4(mg/L)	NH4-N(mg/L)	pH	Αγωγιμότητα
Αποτελέσματα μετρήσεων για τους 150°C χωρίς προσθήκη οξειδωτικού						
45 min	12460	56	5400	4200	για το δείγμα των 30 min : 9,27	για το δείγμα των 30 min : 31,2 mS/cm
120 min	12700	89	5310	4110		
Αποτελέσματα μετρήσεων για τους 220°C χωρίς προσθήκη οξειδωτικού						
10 min	12770	47	5100	3960	για το δείγμα των 30 min : 9,33	για το δείγμα των 30 min : 31,4 mS/cm
45 min	12390	95	5340	4170		
120 min	12370	322	5340	4140		

Πίνακας 7 Αποτελέσματα μετρήσεων για τους 150°Cκαι 220°C χωρίς προσθήκη οξειδωτικού.

Οι τιμές των φωσφορικών και αμμωνιακών ιόντων επίσης δεν παρουσίασαν καμία μεταβολή. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το υποκρίσιμο νερό δεν έχει αποδειχθεί ότι αλληλεπιδρά με αυτά τα ιόντα καθ' οιονδήποτε τρόπο. Το pHμετά την επεξεργασία αυξήθηκε ελαφρώς, ένδειξη ότι η είτε η συγκέντρωση των H^+ έχει αυξηθεί ή ότι η συγκέντρωση των OH^- έχει μειωθεί. Είναι γνωστό ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την σταθερά ιονισμού του νερού K_w(από 10^{-14} στους 25°C σε 51.3 x 10^{-14} στους 100°C – Bandura and Lvov, 2006). Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη συγκέντρωση τόσο για τα ιόντα υδρογόνου όσο και για τα ιόντα υδροξυλίου. Άρα το pHτου νερού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (6.14 στους 100°C - http://www.chemguide.co.uk/physical/acidbaseeqia/kw.html). Η αυξημένη τιμή που παρατηρείται στο λύμα μας μετά το τέλος της επεξεργασίας μπορεί να οφείλεται είτε

στη διάσπαση κάποιων οργανικών ουσιών (χωρίς αντίστοιχη μείωση του COD) και την παραγωγή ιόντων υδροξυλίου που καταναλώνουν τα επιπλέον ιόντα υδρογόνου, είτε στη δυνατότητα του υποκρίσιμου νερού να δρα ως καταλύτης και να επιταχύνει τη παραγωγή κάποιων ουσιών με βασικό χαρακτήρα. Η αγωγιμότητα παραμένει η ίδια μετά την επεξεργασία που σημαίνει ότι συνολικά ο αριθμός των ιόντων στο λύμα παραμένει στην ουσία σταθερός .

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του λύματος στους 150^{o}Cμε προσθήκη 0.5 ml υπεροξειδίου του υδρογόνου (0.5 ml σε 20 ml λύμα = 2.5% v/v). Παρατηρείται μια μείωση του CODτης τάξης του 30%, από 12770 mg/L σε 7960 mg/L, η οποία αποδεικνύει ότι η χρήση του οξειδωτικού μέσου είναι αποτελεσματική. Τα αμμωνιακά και φωσφορικά ιόντα μετρήθηκαν ενδεικτικά στα 30, 60 και 120 λεπτά. Για αυτά οι αλλαγές δεν ήταν σημαντικές και μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η προσθήκη οξειδωτικού δεν επηρέασε τις συγκεντρώσεις αυτών, όπως και στη περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε θέρμανση χωρίς οξειδωτική ουσία. Το pHκαι η αγωγιμότητα επίσης δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες μεταβολές σε σχέση με το ανεπεξέργαστο λύμα.

	Time	COD(mg/L)	NH4(mg/L)	NH_4-N(mg/L)	PO_4-P(mg/L)	$PO4^{3-}$(mg/L)	pH	Αγωγιμότητα
1	10 min	1027 mg/L	-	-	-	-	-	-
2	20 min	1089 mg/L	-	-	-	-	-	-
3	30 min	956 mg/L	156	>1000	27,45	65	8,56	37,2 mS/cm
4	45 min	1028 m g/L	-	-	-	-	-	-
5	60 min	978 mg/L	>3200	3600	7,6	44	-	-
6	90 min	960 mg/L	-	-	-	-	-	-
7	120 min	796 mg/l	>3200	3760	11,44	36,4	9,28	31,6 mS/cm

Πίνακας 8 Αποτελέσματα μετρήσεων για τους 150°C + 0,5 mlH_2O_2

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του λύματος στους 150^{o}C με προσθήκη 2 ml υπεροξειδίου του υδρογόνου (2 ml σε 20 ml λύμα = 10% v/v). Συγκριτικά με τα προηγούμενα αποτελέσματα όπου 0.5 ml H_2O_2 είχαν χρησιμοποιηθεί, η ο ρυθμός μείωσης του οργανικού φορτίου εδώ είναι μεγαλύτερος. Στο χρόνο των 90 λεπτών, το COD μετρήθηκε 5860 mg/L, μια μείωση της τάξης του 50% περίπου σε σχέση με το COD του ανεπεξέργαστου λύματος. Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της αυξημένης δόσης οξειδωτικής ουσίας. Τα φωσφορικά, αμμωνιακά ιόντα, το pH και η αγωγιμότητα παρουσίασαν τιμές παρόμοιες με αυτές των προηγούμενων πειραμάτων. Κατά συνέπεια, ούτε η αύξηση της συγκέντρωσης της οξειδωτικής ουσίας επηρέασε τις παραμέτρους αυτές.

	Time	COD(mg/L)	NH4(mg/L)	NH4-N(mg/L)	PO4-P(mg/L)	$PO4^{3-}$(mg/L)	pH	Αγωγιμότητα
1	10 min	9910 mg/L	-	-	-	-	-	-
2	20 min	9140 mg/L	-	-	-	-	-	-
3	30 min	9970 mg/L	121	>1000	14,1	72	8,97	32,8 mS/cm
4	45 min	8550 m g/L	-	-	-	-	-	-
5	60 min	7540 mg/L	153	>1000	24,15	80	-	-
6	90 min	5860 mg/L	-	-	-	-	-	-
7	120 min	8240 mg/l *	137	>1000	23,85	64,5	8,24	35,7 mS/cm

(* Πιθανό πειραματικό σφάλμα)

Πίνακας 9 Αποτελέσματα μετρήσεων για τους 150°C+ 2mlH_2O_2

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του λύματος στους 220^oC με προσθήκη 2 ml υπεροξειδίου του υδρογόνου. Τα πειράματα σε αυτή τη θερμοκρασία πραγματοποιήθηκαν για να μελετηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στην επεξεργασία του λύματος με την οξειδωτική ουσία παρούσα. Η τελική τιμή του COD στο λύμα ήταν αντίστοιχη με την τιμή που βρέθηκε για την επεξεργασία στους 150^oCκαι την ίδια ποσότητα οξειδωτικής ουσίας. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας δεν αύξησε το ρυθμό οξείδωσης του οργανικού φορτίου του λύματος και ότι πιθανόν η μικρότερη θερμοκρασία να είναι το ίδιο αποτελεσματική - και σίγουρα ενεργειακά πιο επιθυμητή – για την επεξεργασία του λύματος συγκριτικά με την μεγαλύτερη. Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την επεξεργασία του δείγματος χωρίς τη χρήση θερμοκρασίας, μόνο με προσθήκη οξειδωτικού μέσου. Μετά από 6 ώρες χρόνο παραμονής, παρατηρήθηκε μικρή μείωση του οργανικού φορτίου, η οποία οφείλεται στη μερική διάσπαση του H_2O_2 ιόντα υδροξυλίου. Η μείωση όμως ήταν σημαντικά μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε στις προηγούμενες περιπτώσεις όπου είχαμε συνδυασμό υψηλής θερμοκρασίας και χρήση H_2O_2. Είναι γνωστό ότι σε κανονικές συνθήκες, το H_2O_2 διασπάται στο μεγαλύτερο μέρος του σε νερό και οξυγόνο σύμφωνα με την αντίδραση:

$$H_2O_2 \longrightarrow H_2O + ½O_2$$

Αντίθετα, σε υποκρίσιμες συνθήκες διασπάται ως εξής:

$$H_2O_2 \longrightarrow OH^{\cdot} + OH^{\cdot}$$

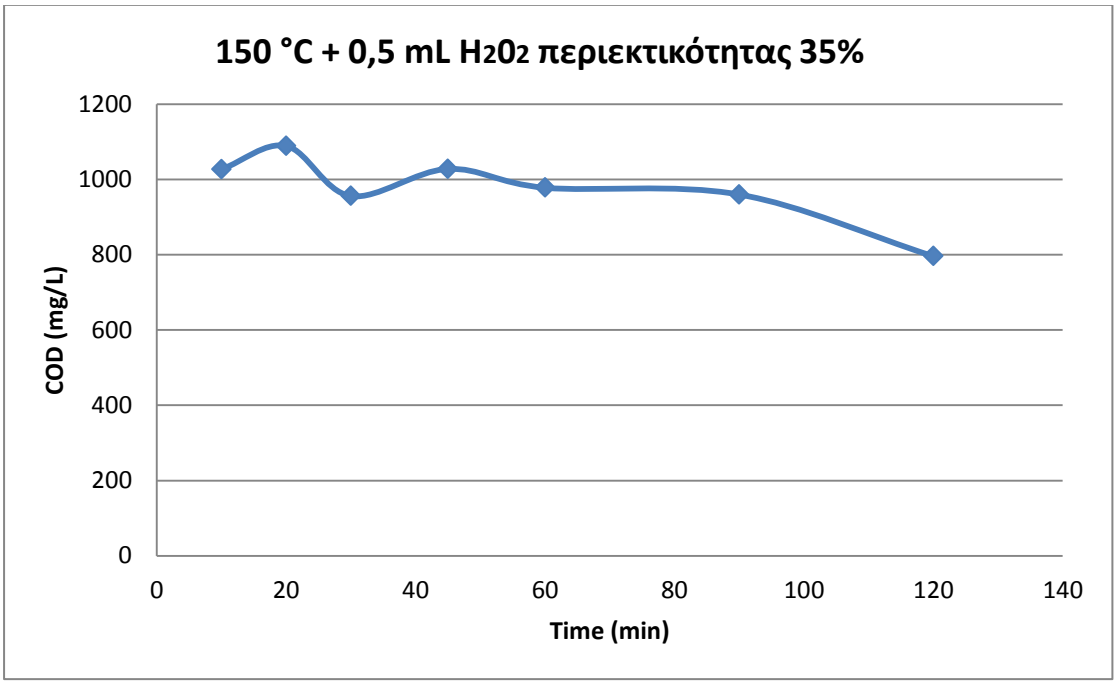
Όπου τα ιόντα υδροξυλίου είναι πολύ δραστικά και αυτά είναι ουσιαστικά που οξειδώνουν τις οργανικές ουσίες στο λύμα.

	Time	COD(mg/L)	NH4(mg/L)	NH4-N(mg/L)	PO4-P(mg/L)	$PO4^{3-}$(mg/L)	pH	Αγωγιμότητα
1	10 min	1067 mg/L	-	-	-	-	-	-
2	20 min	1033 mg/L	-	-	-	-	-	-
3	30 min	825 mg/L	118	>1000	20,85	60	8,28	34,9 mS/cm
4	45 min	1060 m g/L	-	-	-	-	-	-
5	60 min	840 mg/L	>3200	4230	24,3	81	-	-
6	90 min	648 mg/L	-	-	-	-	-	-
7	120 min	651 mg/l *	129	>1000	24,85	74,5	7,74	37,5 mS/cm

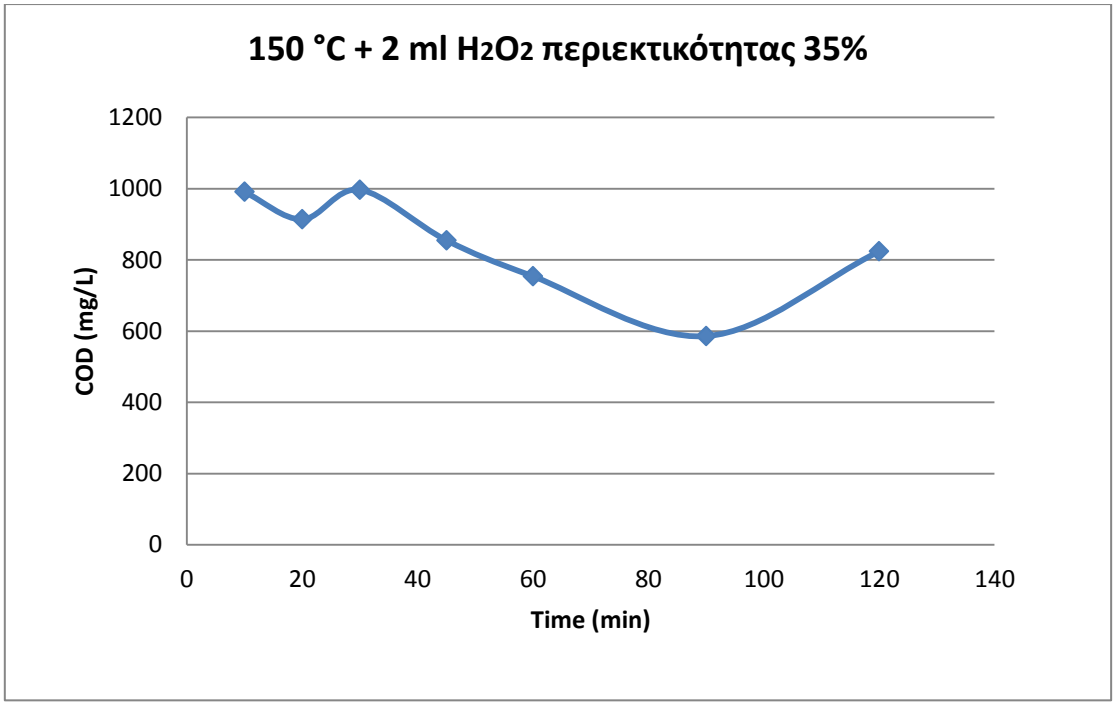
Πίνακας 10 Αποτελέσματα μετρήσεων για τους 220°C+ 2mlH_2O_2

	Time	COD(mg/L)	NH_4(mg/L)	NH_4-N(mg/L)	PO_4-P(mg/L)	PO_4^{3-}(mg/L)
1	-	10026 mg/L	>3200	4380	24,4	102

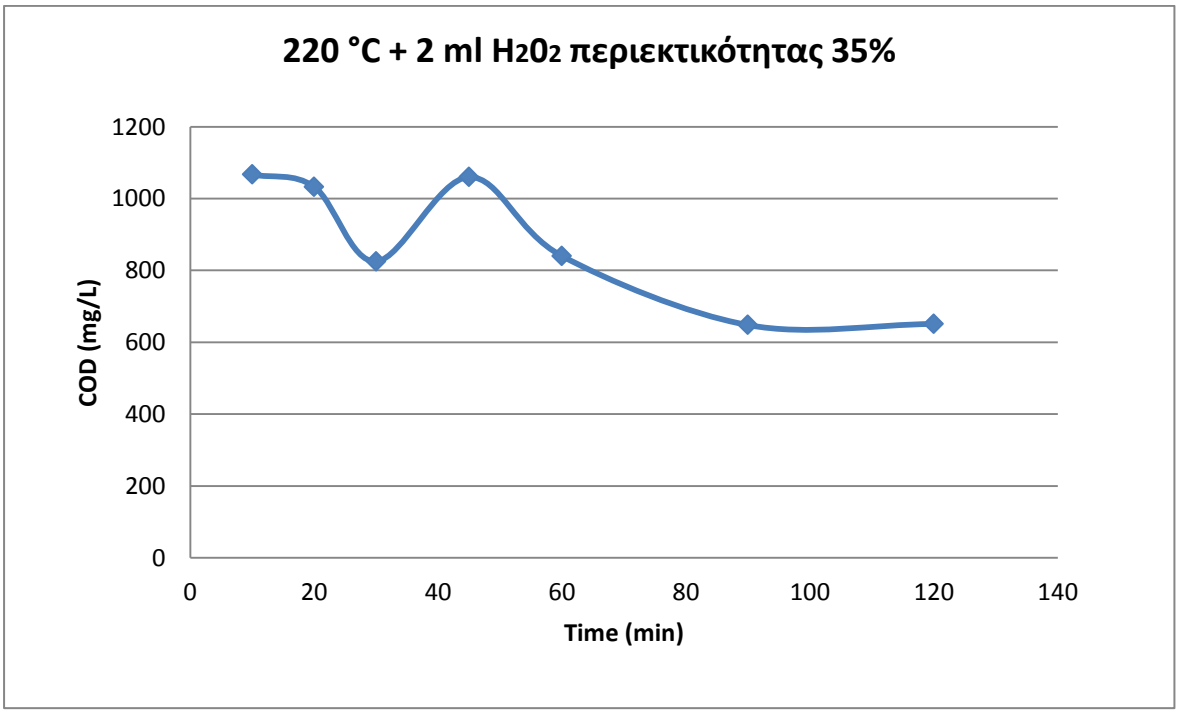
Πίνακας 11Αποτελέσματα μετρήσεων για δείγμα σε συνθήκες περιβάλλοντος + 2ml H_2O_2 περιεκτικότητας 35%



Εικ. 34 Γραφική παράσταση της πτώσης του COD κατά την επεξεργασία στους 150 ºC με χρήση 0,5 mlH_2O_2 περιεκτικότητας 35%.



Εικ. 35 Γραφική παράσταση της πτώσης του COD κατά την επεξεργασία στους 150 ºC με χρήση 2 mlH_2O_2 περιεκτικότητας 35%.



Εικ. 36 Γραφική παράσταση της πτώσης του COD κατά την επεξεργασία στους 220ºC με χρήση 2 mlH_2O_2 περιεκτικότητας 35%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για λόγους οικονομίας, στις θερμοκρασίες 150^{o}C και 250°C πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικά πειράματα διάρκειας 45 και 120 λεπτών χωρίς οξειδωτικό για να διαπιστώσουμε εάν το οργανικό φορτίο του λύματος μπορεί να μειωθεί σε ηπιότερες συνθήκες. Δεν παρατηρήθηκε καμία μείωση του οργανικού φορτίου, όπως επίσης και καμία μεταβολή στις αρχικές τιμές των άλλων παραμέτρων που μετρήθηκαν. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν αυτά της διεθνούς βιβλιογραφίας ότι η πολυπλοκότητα του λύματος επιβάλλει τη χρήση οξειδωτικής ουσίας για τη μείωση του οργανικού φορτίου. (Πίνακας 7). Παράλληλα, εξετάσθηκε η συμπεριφορά του λύματος όταν σε αυτό προστέθηκε H_2O_2 και ο αντιδραστήρας παρέμεινε σε θερμοκρασία δωματίου για 24 ώρες. Παρατηρήθηκε ότι είχαμε μια μείωση 2510 mg/L COD (περίπου 20% επί του αρχικού), ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία πρακτική μεταβολή στις υπόλοιπες παραμέτρους.

Το χρώμα και η οσμή που πιθανώς να περιέχουν τα επεξεργασμένα δείγματα οφείλονται είτε σε υπολειμματικές αρχικές οργανικές και ανόργανες ενώσεις που περιείχαν τα δείγματα των στραγγισμάτων είτε σε δευτερογενώς παραγόμενες ενώσεις κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των δειγμάτων. Παρόλα αυτά, η απομάκρυνσή τους μπορεί να επιτευχθεί με μεθόδους οξείδωσης ή προσρόφησης τους σε ειδικά προσροφητικά υλικά, όπως είναι ο ενεργός άνθρακας κ.α.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Αναθεώρηση Περιφερειακού Σχεδίου Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠΕ.Σ.Δ.Α) Περιφέρεια Αττικής
http://www.patt.gov.gr/main/attachments/3496_PESDA%20ATTIKHS_FINAL.pdf

[2] Γιδαράκος Εύαγγελος, Επικίνδυνα Απόβλητα – Διαχείριση και Επεξεργασία, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη 2006

[3] Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΔΕΔΙΣΑ)
http://dedisa.gr/

[4] Θεοχάρη Χριστίνα, Αραβώσης Κωνσταντίνος, Βαρελίδης Πέτρος, Ηλίας Διαβάτης, Ζιώγας Χαράλαμπος, Ιατρού Σταύρος, Μπούρκα Αθηνά-Αναστασία, Οικονομόπουλος Αλέκος, Παπαγρηγορίου Σπύρος, Παντελάρας Παντελής, Φραντζής Ιωάννης - Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα / Η περίπτωση της Αττικής, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα Νοέμβριος 2006
http://library.tee.gr/digital/m2183.pdf

[5] Κανακόπουλος Δημήτρης (Πρόεδρος Συνδέσμου Επιχειρήσεων Κομποστοποίησης – ΣΕΚ) - Η κομποστοποίηση ως μέθοδος επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων – Διαφάνειες Ημερίδας ΤΕΕ 16/06/2011 Λάρισα
http://library.tee.gr/digital/larlib/ekdiloseis/3688/3688_kanakopoulos

[6] Καρούτσου Ζωή - Ανάπτυξη Δεικτών για τη Διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα. – Πτυχιακή εργασία για το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα 2008
http://estia.hua.gr:8080/dspace/bitstream/123456789/828/1/karoutsou.pdf

[7] Κατάσταση της ύλης – Βικιπαίδεια
http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CF%8D%CE%BB%CE%B7%CF%82

[8] Κατσανεβάκης Ι., Μαλαμάκης Α., Περκουλίδης Γ., Τσατσαρέλης Σ. - Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Θεσσαλονίκη Μάρτιος 2010
http://www.tkmactions.tee.gr/sections/6_Omades_Ergasias/3_Energeias/15.pdf

[9] Λάλας Δ., Γεωργοπούλου Ε., Γιδαράκος Ε., Γκέκας Ρ., Λαζαρίδη Α., Μαυρόπουλος Α., Μοιρασγέντης Σ. και Σελλάς Ν. - Εκτίμηση των γενικευμένων επιπτώσεων και κόστους διαχείρισης στερεών αποβλήτων, Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, Τελική έκθεση, Απρίλιος 2007, Αθήνα
http://www.ita.org.gr/library/Downloads/docs/Final.pdf

[10] Μπακαλίδου Άννα - Το Υπέρθερμο νερό, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημείας, Μάρτιος 2010
http://www.gcex.gr/wp-content/uploads/2012/02/Overheated-water-web.pdf

[11] Παπαϊώαννου Ελένη, Φελεσκούρα Χριστίνα - Σύγχρονες Τεχνολογίες Ανακύκλωσης Απορριμμάτων – Διαχείριση και Ενεργειακή Αξιοποίηση Απορριμμάτων, ΤΕΙ Χαλκίδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών – Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Μάιος 2004
http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/Documentation/ptyxiaki_ergasia_aporrimata.pdf

[12] Ρούσσος Ευστάθιος - Η Διαχείριση των Απορριμμάτων στην Ελλάδα, Πτυχιακή Εργασία – Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Ιούνιος 2009
http://eprints.teikoz.gr/178/1/gewpe55_2009.pdf

[13] Τερζής Ευάγγελος - Διαχείριση Απορριμμάτων, WWF Ελλάς / Αθήνα 2009
http://www.eurobank.gr/Uploads/pdf/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A7%CE%95%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%97%20%CE%91%CE%A0%CE%9F%CE%A1%CE%A1%CE%99%CE%9C%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%A9%CE%9D.pdf

[14] Τσοπανίδης Χρήστος - Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (Χ.Α.Δ.Α.) : Διαδικασίες Αποκατάστασης Χ.Α.Δ.Α. και Εξέλιξη του Προγράμματος Αποκατάστασης στην Ελλάδα – Ημερίδα για την ανταλλαγή πληροφοριών ενημέρωσης για την υγειονομική ταφή αποβλήτων
http://www.bipro.de/waste-events/doc/events08/gr_pres_6.pdf

[15] Υπερκρίσιμο ρευστό – Βικιπαίδεια
http://en.wikipedia.org/wiki/Supercritical_fluid

[16] Υπέρθερμο νερό – Βικιπαίδεια
http://en.wikipedia.org/wiki/Superheated_water

[17] A.A Clifford - Change of Water Properties with Temperature, 04/01/2008
http://www.criticalprocesses.com/Use%20of%20enthalpies%20to%20calculate%20energy%20needed.htm

[18] A.A Clifford - Superheated Water, 04/01/2008
http://www.criticalprocesses.com/Superheated%20water%20-%20More%20details.htm

[19] Abbas, A.A., Jingsong, G., Ping, L.Z., Ya, P.Y., Al-Rekabi, W.S., 2009. Reviewon landfill leachate treatments. American Journal of Applied Sciences 6(4), 672-684.
http://thescipub.com/abstract/10.3844/ajassp.2009.672.684

[20] Bandura A.V., and Lvov S.N., The Ionization Constant of Water over Wide Ranges of Temperature and Density, J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 35, No. 1, 2006
http://www.nist.gov/data/PDFfiles/jpcrd696.pdf

[21] Christensen, T.H., Kjeldsten, P, Bjerge, P.L., Jensen, D.L.,Christensen, J.B., Baun,A.,Albrechtsen, H.J. and Heron, G., (2001). Biogeochemistry of landfill leachate plumes. Appl. Geochem., 16, 7-8, 659-718.
www.scopus.com

[22] Dimitrios Kalderis, Steven B. Hawthorne, Anthony A. Clifford, Evangelos Gidarakos - Interaction of soil, water and TNT during degradation of TNT on contaminated soil using subcritical water, 2007
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408002537

[23] Impact on Health of Emissions from Landfill Sites, Health Protection Agency, July 2011
http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1309969974126

[24] Iñaki Vadillo, Bartolome Andreo, Francisco Carrasco, Groundwater Contamination by Landfill Leachates in a Karstic Aquifer, Water Air and Soil Pollution,162(1-4), 143-169, 2005
www.scopus.com

[25] Martin Chaplin - Explanation of the Physical Anomalies of Water, 2008-01-04, London South Bank University
http://www.lsbu.ac.uk/water/explan5.html

[26] Thomas Dietrich, Gregor Haberie - Έλεγχος Ρύπανσης & Διαχείριση Αποβλήτων, Γερμανία 2002, Ελληνική μεταγλώττιση 2003, Εκδοτικός όμιλος ΙΩΝ, Μετάφραση : Πολυάννα Παπαφράγκου, Επιμέλεια Ελληνικής Έκδοσης : Ανδρόνικος Φιλιός

[27] Vasileia M. Daskalaki, Eleni S. Timotheatou, AlexandrosKatsaounis, DimtriosKalderis - Degradation of Reactive Red 120 using hydrogen peroxide in subcritical water, 2011
http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/degradation-of-reactive-red-120-using-hydrogen-peroxide-in-subcritical-RctrZ3NNyU