



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ & ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΛΑΦΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΙΟ-ΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ
ΑΠΟ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαχρήστου Σταματίνα

ΤΦ2216

Επιβλέπων

Αναπλ. Καθηγητής Δημήτριος Καλδέρης

ΧΑΝΙΑ 2021

ABSTRACT

One of the major issues nowadays, mainly for the developed societies, is the management of the Municipality Solid Waste, and more specifically the biowaste which is produced in vast larger quantities than any other type of solid waste. It is critical to give more alternatives to the current management of biodegradable waste in order to make these techniques preferred by people and companies.

The key technologies for solid waste treatment are covered in this thesis. The existing methods of sorting and processing are being analyzed and special emphasis is placed on the importance of saving space and resources in the disposal of solid waste considering the current treatment methods.

After addressing the fundamental concepts, the methodology and the results of the present technologies, hydrothermal carbonization is presented which is a relatively new biowaste treatment method and seems to be very promising with a variety of applications from biofuel to soil treating techniques emphasizing on its low environmental impact.

Keywords: municipal solid waste, waste treatment, hydrothermal carbonization

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Σκοπός πτυχιακής εργασίας	6
1.2 Διαχείριση και επεξεργασία στερεών αποβλήτων	7
1.2.1 Στερεά απόβλητα	7
1.2.2 Αποκομιδή και μεταφορά	9
1.2.3 Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ)	11
1.2.4 Τρόποι διαλογής ΑΣΑ	12
Διαλογή στη πηγή	12
Μηχανική διαλογή	14
1.2.5 Μέθοδοι επεξεργασίας	19
Ανακύκλωση	19
Κομποστοποίηση	21
Θερμική επεξεργασία	26
Τελική εναπόθεση σε ΧΥΤΑ	39
1.3 Βιοδιασπάσιμα (οργανικά) απόβλητα και η έννοια της κυκλικής οικονομίας	41
1.3.1 Τρόποι επεξεργασίας και διαχείρισης οργανικών αποβλήτων (βιομάζας)	42
1.3.2 Κυκλική οικονομία και βιο-οικονομία	43
2. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	48
2.1 Εφαρμογή της μεθόδου	48
2.2 Υποκρίσιμο και υπερκρίσιμο νερό	49
2.3 Πλεονεκτήματα υδροθερμικής επεξεργασίας	56
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	59
3.1 Συνθήκες υδροθερμικής επεξεργασίας	59
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	61
4.1 Πίνακες αποτελεσμάτων	61
4.2 Ανάλυση δεδομένων	61
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	68
Βιβλιογραφία	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1 - Βαλλιστικός Διαχωριστής [11]</i>	17
<i>Εικόνα 2 – Ηλεκτρομαγνητικός διαχωριστής [6]</i>	18
<i>Εικόνα 3 - Διαχωριστής με ρεύματα Eddy [6]</i>	18
<i>Εικόνα 4 - Σύστημα αναδύομενων σωρών [18]</i>	24
<i>Εικόνα 5 - Σύστημα αεριζόμενων στατικών σωρών με απορρόφηση αέρα [19]</i>	25
<i>Εικόνα 6 - Σχηματική αναπαράσταση των βασικών τύπων κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης (a&c: κάθετοι αντιδραστήρες, b&d: οριζόντιοι αντιδραστήρες) [17]</i>	26
<i>Εικόνα 7 - Μονάδα λειτουργίας με καύσιμο από επεξεργασία στερεών απορριμμάτων RDF (refuse derived fuel). [22]</i>	30
<i>Εικόνα 8 - Διάγραμμα ροής της διεργασίας της πυρόλυσης [20]</i>	37
<i>Εικόνα 9 - Διάγραμμα Ροής Διεργασίας Αεριοποίησης [20]</i>	39
<i>Εικόνα 10 - Απεικόνιση αναπαράσταση γραμμικής οικονομίας και κυκλικής οικονομίας [24]</i>	45
<i>Εικόνα 11 - Υποκρίσιμο και υπερκρίσιμο νερό [27]</i>	50
<i>Εικόνα 12 - Διάγραμμα φάσεων πίεσης-θερμοκρασίας του διοξειδίου του άνθρακα [27]</i>	54
<i>Εικόνα 13 - Διάγραμμα φάσεων πυκνότητας-πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα [27]</i>	55
<i>Εικόνα 15 - Αντιδραστήρες Swagelok που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων [27]</i>	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1 - Κρίσιμες ιδιότητες των διαφόρων διαλυτών [27]</i>	52
<i>Πίνακας 2 - Σύγκριση των αερίων, υπερκρίσιμων υγρών και υγρών [27]</i>	52
<i>Πίνακας 3 - Δείγματα βιομάζας που χρησιμοποιήθηκαν</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>Πίνακας 4 – Αποτελέσματα μετρήσεων στους 150 °C</i>	61
<i>Πίνακας 5 - Αποτελέσματα μετρήσεων στους 150 °C</i>	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<i>Διάγραμμα 1. Διάγραμμα pH – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	64
<i>Διάγραμμα 2. Διάγραμμα Αγωγιμότητας – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	64
<i>Διάγραμμα 3. Διάγραμμα Ποσοστού άνθρακα (C%) – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	65
<i>Διάγραμμα 4. Διάγραμμα Ποσοστού υδρογόνου (H%) – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	65
<i>Διάγραμμα 5. Διάγραμμα Ποσοστού αζώτου (N%) – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	66
<i>Διάγραμμα 6. Διάγραμμα Ποσοστού τέφρας (Τέφρα%) – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	66
<i>Διάγραμμα 7. Διάγραμμα Ποσοστού οξυγόνου (O%) – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	67
<i>Διάγραμμα 8. Διάγραμμα Απόδοσης– Χρόνου στους 150°C και στους 200°C</i>	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός πτυχιακής εργασίας

Η ανάγκη ανάπτυξης τεχνολογιών παραγωγής εναλλακτικών μορφών καυσίμων θεωρείται κρίσιμης σημασίας, καθώς τα ήδη περιορισμένα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων αναμένεται να συρρικνωθούν σημαντικά μέχρι το 2050, ως συνέπεια του υπερπληθυσμού και της αυξητικής τάση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Σημαντικό βήμα προς την εξομάλυνση του ενεργειακού αυτού προβλήματος είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών παραγωγής εναλλακτικών μορφών καυσίμων.

Ένα άλλο θέμα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα είναι η ωφέλιμη διαχείριση στερεών και συγκεκριμένα οργανικών αποβλήτων, καθώς απορρίπτονται σε μεγάλες ποσότητες, ενώ εξαιτίας της φύσης τους μπορούν να αποτελέσουν σημαντική πηγή ενέργειας. Το η ενεργειακή εκμετάλλευση των στερεών οργανικών αποβλήτων αποτελεί κίνητρο για τη συνεχή αναζήτηση μεθόδων και τεχνολογιών με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων αυτών. Συγκεκριμένα αστικά απόβλητα όπως υπολείμματα καφέ τα οποία εναποθέτονται σε μεγάλες ποσότητες μπορούν να παρέχουν την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας καθώς και να χρησιμοποιηθούν ως χρήσιμο υλικό σε γεωπονικές εφαρμογές, οικιακές και βιομηχανικές.

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η παραγωγή υλικών πρόσθετης αξίας από στερεά αστικά απόβλητα όπως τα υπολείμματα καφέ. Πραγματοποιήθηκε ξήρανση και έπειτα επεξεργασία τους σε θερμοκρασίες 150°C και 200°C , σε κλειστούς αντιδραστήρες παρουσία υγρασίας. Η μέθοδος επεξεργασίας αυτή ονομάζεται υδροθερμική πυρόλυση και μετατρέπει το δείγμα μας (αρχική βιομάζα) σε βιο-εξανθράκωμα (biochar). Το αυξημένο υποσοστό άνθρακα και οι χαρακτηριστικές χημικές ομάδες στην επιφάνεια του, καθιστούν το τελικό υλικό κατάλληλο για πολλές διαφορετικές εφαρμογές (προσροφητικό μέσο ρύπων, υλικό υποστήριξης σε καταλυτικές διεργασίες) μεταξύ των οποίων και σαν εδαφοβελτιωτικό. Τα αποτελέσματα αυτά προκύπτουν μετά από χρόνο παραμονής 2-24 ωρών σε φούρνους και μπορούμε να αλλάξουμε τις ιδιότητες καθώς και την ποιοτική και ποσοτική σύσταση του βιο-εξανθρακώματος μεταβάλλοντας το είδος της αρχικής βιομάζας, το ποσοστό υγρασίας της, τη θερμοκρασία και τον χρόνο

επεξεργασίας. Η μέθοδος αυτή διακρίνεται για την αποτελεσματικότητα και την απλό απαιτούμενο εξοπλισμό της -απαιτείται μόνο ο αντιδραστήρας και μια πηγή θέρμανσης όπως ένας συμβατικός φούρνος ξήρανσης. Με αφορμή τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, το κόστος επεξεργασίας σε σχέση με τη συμβατική πυρόλυση μειώνεται δραστικά, ενώ παράλληλα δεν υπάρχει η ανάγκη της διαδικασίας ξήρανσης της βιομάζας (απαραίτητη προϋπόθεση στη συμβατική πυρόλυση).

1.2 Διαχείριση και επεξεργασία στερεών αποβλήτων

1.2.1 Στερεά απόβλητα

Απόβλητο είναι κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει. Παρατηρούνται τρεις κατηγορίες αποβλήτων, στις οποίες τα απόβλητα κατατάσσονται ανάλογα με τη φυσική τους κατάσταση. Διακρίνονται σε στερεά, υγρά και αέρια. Τα στερεά απόβλητα είναι τα στερεά ή ημιστερεά υλικά, τα οποία υπό κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα, σε περίπτωση που το κόστος απόρριψής τους είναι μικρότερο από το κόστος διατήρησής τους.

Στην κατηγορία των στερεών αποβλήτων ανήκουν τα

1. αστικά απορρίμματα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού κ.λπ.)
2. τα βιομηχανικά απορρίμματα (π.χ. τα κενά συσκευασίας, τα άδεια βαρέλια, χαρτοκιβώτια, πλαστικά περιτυλίγματα),
3. Στερεά ή υδαρή (με αξιόλογο ποσοστό αιωρούμενων ουσιών) απόβλητα που δεν μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά (ορισμένα βιομηχανικά, τοξικά ή αδρανή και απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας).
4. απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων,
5. πετρελαιοειδή, (προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ναυπηγεία, κ.λπ.).
6. απόβλητα κτηνοτροφικών και γεωργικών εκμεταλλεύσεων,
7. απόβλητα των ορυχείων και των μεταλλείων,
8. απόβλητα εκσκαφών (από ξηρά και θάλασσα),

9. ιλύς από την επεξεργασία αστικών λυμάτων και τη βιομηχανία,
10. νοσοκομειακά απορρίμματα,
11. ελαστικά
12. σκραπ [1]

Η τεχνολογική προσέγγιση στη διαχείριση στερεών αποβλήτων άρχισε να αναπτύσσεται στο δεύτερο μέρος του 19ου αιώνα. Η σημαντική ανάπτυξη στις πρακτικές επεξεργασίας και διάθεσης στερεών αποβλήτων χαρακτηρίστηκε από την κατασκευή του πρώτου αποτεφρωτή απορριμμάτων στην Αγγλία το 1874. Στις αρχές του 20ου αιώνα, το 15 τοις εκατό των μεγάλων αμερικανικών πόλεων αποτέφρωναν στερεά απόβλητα. Ακόμη και τότε, ωστόσο, οι περισσότερες από τις μεγαλύτερες πόλεις εξακολουθούσαν να χρησιμοποιούν πρωτόγονες μεθόδους απόρριψης, όπως η ανοιχτή απόρριψη στη γη ή στο νερό. Μέχρι τα μέσα του αιώνα, ωστόσο, είχε γίνει φανερό ότι η ανοιχτή απόρριψη και η ακατάλληλη αποτέφρωση στερεών αποβλήτων προκαλούσαν προβλήματα ρύπανσης και έθεταν σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία. Ως αποτέλεσμα, αναπτύχθηκαν χώροι υγειονομικής ταφής για να αντικαταστήσουν την πρακτική της ανοιχτής απόρριψης και να μειώσουν την εξάρτηση από την αποτέφρωση απορριμμάτων. Οι ΧΥΤΑ σχεδιάστηκαν και λειτουργούσαν με τρόπο που ελαχιστοποιεί τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Οι νέοι αποτεφρωτές απορριμμάτων σχεδιάστηκαν για την ανάκτηση θερμικής ενέργειας από τα απόβλητα και εφοδιάστηκαν με εκτεταμένες συσκευές ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για να ικανοποιούν αυστηρά πρότυπα ποιότητας του αέρα. Οι σύγχρονες μονάδες διαχείρισης στερεών αποβλήτων στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες δίνουν έμφαση στην πρακτική της ανακύκλωσης και της μείωσης των αποβλήτων στην πηγή και όχι στην αποτέφρωση και τη διάθεση της γης. [2] [3]

Σύμφωνα με τα δεδομένα του 2010, για 28 ευρωπαϊκές χώρες, περίπου το 60 % των παραγόμενων αποβλήτων αποτελούνταν από ορυκτά λύματα και χόμα, κυρίως από δραστηριότητες κατασκευής και κατεδάφισης και ορυχεία. Για τα απόβλητα μετάλλου, χαρτιού και χαρτονιού, ξύλου, χημικών και ιατρικών υλικών καθώς και για τα ζωικά και φυτικά απόβλητα, κάθε τύπος αποβλήτων κυμαινόταν από 2 % έως 4 % του συνόλου.

Περίπου το 10% των συνολικών αποβλήτων που παράγονται στην Ευρώπη αποτελείται από τα λεγόμενα «αστικά απόβλητα» —απόβλητα που παράγονται από νοικοκυριά και,

σε μικρότερο βαθμό, από μικρές επιχειρήσεις και από δημόσια κτήρια, όπως σχολεία και νοσοκομεία. Η ποσότητα και σύνθεση των απορριμμάτων για κάθε χώρα εξαρτάται από τις οικονομικές δραστηριότητες, τις βιομηχανικές δραστηριότητες, το μορφωτικό και βιοτικό επίπεδο των πολιτών, την ύπαρξη δράσεων επεξεργασίας των απορριμμάτων π.χ. ανακύκλωσης, κομποστοποίησης, αποτέφρωσης κ.α., την ισχύουσα νομοθεσία καθώς και τις κλιματολογικές συνθήκες.

Σταδιακά στην ΕΕ εντοπίζεται μια αυξανόμενη ποσότητα αποβλήτων ανακυκλώνεται και μια μειούμενη ποσότητα στέλνεται σε χωματερές. Για τα αστικά απόβλητα, το ποσοστό των ανακυκλωμένων ή λιπασματοποιημένων αποβλήτων στις 28 χώρες της ΕΕ αυξήθηκε από 31 % το 2004 σε 41 % το 2012, έως 46% το 2017. Παρόλη την πρόοδο, εξακολουθούν να υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των χωρών. Για παράδειγμα, η Γερμανία, η Σουηδία και η Ελβετία στέλνουν λιγότερο από το 2 % των αστικών τους αποβλήτων σε χωματερές, ενώ η Κροατία, η Λετονία και η Μάλτα περισσότερο από το 90 %. Οι περισσότερες χώρες με χαμηλά ποσοστά απόρριψης σε χωματερές έχουν υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης και αποτέφρωσης, και τα δύο πάνω από το 30 % των συνολικών αστικών αποβλήτων τους. [4]

1.2.2 Αποκομιδή και μεταφορά

Η διαχείριση και επεξεργασία των αποβλήτων θεωρητικά ξεκινάει από τη στιγμή που ο κάθε ένας από εμάς αποφασίζει να «πετάξει ένα σκουπίδι» καθώς επίσης και με τον τρόπο τον οποίο θα επιλέξει να το αποχωριστεί. Είναι σημαντικό λοιπόν να συμμετέχουμε στη διαδικασία διαλογής των απορριμμάτων σε αρχικό στάδιο. Πολλές κοινότητες πραγματοποιούν πλέον προγράμματα ανακύκλωσης και διαχωρισμού από την πηγή, στα οποία οι ιδιοκτήτες σπιτιού και οι επιχειρήσεις διαχωρίζουν τα ανακυκλώσιμα υλικά από τα σκουπίδια και τα τοποθετούν σε ξεχωριστά δοχεία για συλλογή. Επιπλέον, ορισμένες κοινότητες έχουν κέντρα αποβίβασης όπου οι κάτοικοι μπορούν να φέρουν ανακυκλώσιμα.

Εν ακολουθία, μεγάλης σημασίας είναι η διαδικασία περισυλλογής με σκοπό τη σωστή επεξεργασία των στερεών αποβλήτων. Η σωστή συλλογή στερεών αποβλήτων είναι σημαντική για την προστασία της δημόσιας υγείας, της ασφάλειας και της ποιότητας του

περιβάλλοντος. Για να μπορέσουμε να επεξεργαστούμε σωστά όλα τα απορρίμματα ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη εκμετάλλευσή ομαδοποιούνται.

Ορισμένοι τύποι αποβλήτων που προκαλούν άμεσο κίνδυνο σε εκτεθειμένα άτομα ή το φυσικό περιβάλλον ταξινομούνται ως επικίνδυνα.

Όλα τα μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα από μια κοινότητα για τα οποία απαιτείτε συλλογή και μεταφορά σε χώρο επεξεργασίας ή διάθεσης ονομάζονται απορρίμματα ή αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ). Τα σκουπίδια αυτά είναι ως επί το πλείστον αποσυνθέσιμα απόβλητα τροφίμων είτε ξηρό υλικό όπως γυαλί, χαρτί, ύφασμα ή ξύλο. Στην κατηγορία των αστικών αποβλήτων συναντούμε επίσης ογκώδη αντικείμενα όπως παλιά ψυγεία, καναπέδες ή μεγάλα κούτσουρα δέντρων.

Τα απόβλητα (ή συντρίμια) κατασκευών και κατεδαφίσεων αποτελούν σημαντικό συστατικό των συνολικών ποσοτήτων στερεών αποβλήτων, καθώς όμως είναι αδρανή και μη επικίνδυνα, συνήθως απορρίπτονται σε δημοτικούς χώρους υγειονομικής ταφής.

Ένας άλλος τύπος στερεών αποβλήτων και ίσως ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες, είναι τα ηλεκτρονικά απόβλητα, τα οποία περιλαμβάνουν εξοπλισμό υπολογιστών, τηλεοράσεις, τηλέφωνα και μια ποικιλία άλλων ηλεκτρονικών συσκευών. Ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και το κάδμιο είναι μεταξύ των υλικών που προκαλούν ανησυχία κατά την εναπόθεσή τους και κατατάσσονται στα επικίνδυνα και προς ειδικό χειρισμό αποβλήτων. [5] [6]

Η διαδικασία συλλογής αποτελεί έντονο είδος εργασίας, που αντιπροσωπεύει περίπου τα τρία τέταρτα του συνολικού κόστους διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Δημόσιοι υπάλληλοι ανατίθενται συχνά στο έργο, αλλά μερικές φορές είναι πιο οικονομικό για τις ιδιωτικές εταιρείες να κάνουν τη δουλειά βάσει σύμβασης με τον δήμο ή οι ιδιώτες συλλέκτες να πληρώνονται από μεμονωμένους ιδιοκτήτες κατοικιών. Ένας οδηγός και ένας ή δύο φορτωτές εξυπηρετούν κάθε όχημα συλλογής. Η φόρτωση μπορεί να γίνει από μπροστά, πίσω ή στο πλάι του οχήματος. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής συλλογής πραγματοποιείται συμπύκνωση με σκοπό τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων στο φορτηγό σε λιγότερο από το ήμισυ του χαλαρού όγκου του, για την κάλυψη μεγαλύτερης έκτασης διαδρομών και τη συλλογή περισσότερων σκουπιδιών. Το έργο της επιλογής μιας

βέλτιστης διαδρομής συλλογής είναι ένα σύνθετο πρόβλημα, ειδικά για μεγάλες και πυκνοκατοικημένες πόλεις. Μια βέλτιστη διαδρομή είναι αυτή όπου γίνεται πιο αποτελεσματική και παραγωγική χρήση εργατικού δυναμικού και εξοπλισμού. Η επιλογή μιας τέτοιας διαδρομής απαιτεί την εφαρμογή αναλύσεων υπολογιστή που υπολογίζουν όλες τις πολλές μεταβλητές σχεδιασμού σε ένα μεγάλο και πολύπλοκο δίκτυο. Οι μεταβλητές περιλαμβάνουν τη συχνότητα συλλογής, την απόσταση μεταφοράς, τον τύπο υπηρεσίας και το κλίμα. Η αποκομιδή απορριμμάτων σε αγροτικές περιοχές μπορεί να δημιουργήσει ιδιαίτερο πρόβλημα, καθώς οι πυκνότητες πληθυσμού είναι χαμηλές, οδηγώντας σε υψηλό κόστος ανά μονάδα. Η συλλογή απορριμμάτων γίνεται συνήθως τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα λόγω της ταχείας αποσύνθεσης των απορριμμάτων τροφίμων. [7]

1.2.3 Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ)

Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ), καλούνται οι σταθμοί όπου τα απορρίμματα μεταφορτώνονται σε ειδικά οχήματα κατάλληλα για κίνηση σε μεγάλες αποστάσεις. Οι σταθμοί αυτοί πρέπει να χωροθετούνται σε κεντροβαρικά σημεία ως προς τις πηγές δημιουργίας των απορριμμάτων, ώστε τα απορριμματοφόρα οχήματα μετά την συμπλήρωση του φορτίου τους να διανύουν την ελάχιστη δυνατή απόσταση μέχρι τον ΣΜΑ, όπου ξεφορτώνουν και επιστρέφουν και πάλι στο έργο της αποκομιδής.

Κατασκευάζονται σε περιπτώσεις που η αύξηση του πληθυσμού των πόλεων έχει ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση των δρομολογίων των απορριμματοφόρων και την αύξηση του συνολικού κόστους αποκομιδής

Στη συνέχεια, τα οχήματα από τον ΣΜΑ μεταφέρουν τα απορρίμματα σε μονάδες επεξεργασίας ή/και τελικής διάθεσης, έχοντας πολλαπλάσιο ωφέλιμο φορτίο από εκείνο των απορριμματοφόρων. Εάν ο τελικός προορισμός των απορριμμάτων δεν είναι κοντά στην κοινότητα στην οποία παράγονται, ένας ή περισσότεροι σταθμοί μεταφοράς μπορεί να είναι απαραίτητοι.

Οι σταθμοί μεταφόρτωσης ταξινομούνται ως εξής:

A) Ως προς τη δυναμικότητα υποδοχής και μεταφόρτωσης

- από 60-150 τόν/ημ (μικρής δυναμικότητας ΣΜΑ)

- από 150-500 τόν/ημ (μέσης δυναμικότητας ΣΜΑ)
- από 500-3000 τόν/ημ (υψηλής δυναμικότητας ΣΜΑ)

B) Ως προς τη μέθοδο συμπίεσης

- χωρίς συμπίεση
- με χρήση διατάξεων χαμηλής συμπίεσης (συμπίεση 1:3 περίπου)
- με χρήση διατάξεων υψηλής συμπίεσης συμπίεση >1:3)

Γ) Ως προς τις πάγιες εγκαταστάσεις

- σταθερός (οι διεργασίες συσκευασίας διενεργούνται σε πάγιες κτιριακές υποδομές)
- κινητός (οι διεργασίες συσκευασίας λαμβάνουν χώρα σε φορτηγό όχημα ή συνδυασμό οχημάτων που φέρει κατάλληλο εξοπλισμό χωρίς μεσολάβηση πάγιων εγκαταστάσεων συμπίεσης) [8]

1.2.4 Τρόποι διαλογής ΑΣΑ

Το βασικότερο στάδιο πριν την αξιοποίηση των κλασμάτων των ΑΣΑ είναι ο διαχωρισμός, η ταξινόμηση και η προ επεξεργασία των υλικών. Διαχωρισμός απορριμμάτων σημαίνει διαχωρισμός των αποβλήτων σε ξηρά και υγρά. Τα ξηρά απόβλητα περιλαμβάνουν χαρτί/χαρτόνι (συμπεριλαμβανομένων των χαρτόκουτων), γυαλί (διαυγές, χρωματισμένο - εκτός από λαμπτήρες και τζάμια), πλαστικά, υφάσματα, ξύλο, δέρμα, καουτσούκ (λάστιχα), μέταλλα. Ο όρος υγρά απόβλητα συνήθως αναφέρεται σε οργανικά απόβλητα τα οποία και έχουν μεγάλο βάρος λόγω της υγρασίας που εμπεριέχεται σε αυτά. [6]

Η διαδικασία του διαχωρισμού γίνεται με δύο τρόπους:

Διαλογή στη πηγή

Με τον όρο «Διαλογή στην Πηγή» περιγράφεται η διαδικασία της ανακύκλωσης με την οποία επιτυγχάνεται ανάκτηση χρήσιμων υλικών πριν αυτά αναμειχθούν με την υπόλοιπη μάζα των απορριμμάτων. Σημαντική προϋπόθεση για επιτυχημένη ΔσΠ είναι η συμμετοχή των ανθρώπων, είτε ως πολιτών, είτε ως επαγγελματιών ή βιομηχανιών. Με την πολύ σημαντική αυτή συμβολή μειώνεται η ποσότητα των απορριμμάτων που

οδηγούνται προς ταφή, γεγονός μεγάλης σημασίας, καθώς με τη μείωση των απορριμμάτων που οδηγούνται σε υγειονομική ταφή επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση της ρύπανσης στο έδαφος, στον ατμοσφαιρικό αέρα και στον υδροφόρο ορίζοντα του χώρου ταφής. Έτσι η διάρκεια ζωής της χωματερής παρατείνεται. Βελτιστοποιείται η περαιτέρω επεξεργασία των κλασμάτων, λόγω της καθαρότητας της σύνθεσής τους σε κάθε τροφοδοσία στις μονάδες ανακύκλωσης. Κατά συνέπεια μειώνεται το κόστος της διαδικασίας συλλογής και μεταφοράς των ΑΣΑ. [9]

Τα κύρια στοιχεία της διαλογής στην πηγή είναι:

Κέντρα συλλογής (Πράσινα σημεία)

Εγκαταστάσεις υποδοχής ΑΣΑ που μεταφέρονται εκεί από τους κατοίκους με παροχή κάποιου κινήτρου

Συλλογή πόρτα - πόρτα

Εφαρμόζεται κυρίως για το χαρτί και το κόστος εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής των κατοίκων

Συλλογή σε συγκεντρωτικούς κάδους

Είναι το πιο συνηθισμένο σύστημα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας κοινός κάδος για όλα τα ανακυκλώσιμα υλικά ή ξεχωριστός κάδος για κάθε είδος

Οι κυριότεροι παράμετροι σχεδιασμού ενός συστήματος διαλογής στην πηγή είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Τα Χαρακτηριστικά των Οικιακών Απορριμμάτων

Ποσότητα, σύνθεση, ομοιογένεια, μεταβλητότητα των ιδιοτήτων τους σε συνάρτηση με το χώρο και το χρόνο παραμονής στους κάδους.

- ✓ Τα Χαρακτηριστικά του Εφαρμοζόμενου Συστήματος

Πυκνότητα και συχνότητα συλλογής, κόστος μεταφοράς και διατήρησης των κάδων.

- ✓ Το Ποσοστό Συμμετοχής

Χαρακτηριστικά των κατοίκων και της περιοχής. Έρευνες έχουν δείξει ότι τα κοινωνικά χαρακτηριστικά των κατοίκων (μορφωτικό επίπεδο, οικονομική κατάσταση κλπ) και άλλα χαρακτηριστικά της περιοχής (τύπος κατοικίας κλπ) επηρεάζουν σημαντικά το ποσοστό συμμετοχής που γενικά είναι κάτω από 50%. [6]

Μηχανική διαλογή

Σκοπός του Μηχανικού Διαχωρισμού είναι ο επιμερισμός με μηχανικά μέσα των υλικών από μίγμα των σύμμικτων απορριμμάτων σε διάφορα συστατικά ή ομοιογενείς κατηγορίες συστατικών, τα οποία μπορούν έτσι να επιστρέψουν ως δευτερογενείς πρώτες ύλες στον παραγωγικό και οικονομικό κύκλο. Οι διεργασίες που περιλαμβάνει μία τυπική μονάδα μηχανικού διαχωρισμού διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: [10]

Υποβιβασμός του μεγέθους

Με χρήση διαφόρων τύπων μύλων, είτε σε ολόκληρη τη ροή μάζας των αστικών στερεών αποβλήτων, είτε σε ροές μάζας επιμέρους συστατικών επιτυγχάνεται η ελάττωση του όγκου, το σχίσμο των σακουλών και η αποκατάσταση της ομοιομορφίας. Μέσω της συμπύκνωση των κλασμάτων έχουμε μείωση των δαπανών αποθήκευσης, χειρισμού και μεταφοράς. Επίσης υλικά τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους π.χ. μπουκάλι-καπάκι ή ξύλο-ύφασμα απελευθερώνονται με σκοπό τον καλύτερο διαχωρισμό και τη σωστή διοχέτευσή τους σε μονάδες επεξεργασίας.

Διαδεδομένες συσκευές κατεργασίας:

Σφυρόμυλοι (Hammer mills): Επιτυγχάνουμε μείωση του μεγέθους με τη βοήθεια σφυριών που ταλαντεύονται. Με αυτή τη μέθοδο όμως υλικά όπως το γυαλί και τα αδρανή αντικείμενα κονιορτοποιούνται πράγμα το οποίο τα καθιστά δύσκολα προς επεξεργασία.

Περιστροφικοί κόπτες (Shredders): Μαχαίρια ή δίσκοι που περιστρέφονται με χαμηλή ταχύτητα και υψηλή ροπή. Η διατμητική τους δράση σχίζει ή τέμνει τα περισσότερα υλικά.

Θραυστήρες κυλίνδρου (rotating drum): το υλικό ανυψώνεται καθώς προσκολλάται στα τοιχώματα του τυμπάνου και έπειτα πέφτει στο κέντρο, λόγω της βαρύτητας, έτσι

αναδεύονται και ομογενοποιούνται τα απόβλητα. Τα κοφτερά αντικείμενα που υπάρχουν στα απόβλητα, όπως γυαλί και μέταλλα συνεισφέρουν στη μείωση του μεγέθους των πιο μαλακών υλικών, όπως το χαρτί και τα βιοδιασπάσιμα, χωρίς όμως τα ίδια να κονιορτοποιούνται.

Σφαιρόμυλοι (Ball Mill): Περιστρεφόμενα τύμπανα φέρουν βαριές σφαίρες για να τεμαχίσουν ή να κονιορτοποιήσουν τα απόβλητα.

Περιστρεφόμενα τύμπανα υγρής φάσης με κόπτες (wet rotating drum with knives): Μετά τη προσθήκη νερού, τα απόβλητα δημιουργούν μεγάλα συσσωματώματα, τα οποία θρύβονται από τους κόπτες κατά την περιστροφή του τυμπάνου. [6]

Διαχωρισμός

Βασίζεται στις διαφορές μεγέθους που υπάρχουν ανάμεσα στα συστατικά αλλά και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους. Ιδιαίτερα των μαγνητικών, για την ανάκτηση των σιδηρούχων μετάλλων, καθώς και του ειδικού βάρους για ταξινόμηση σε βαρέα και ελαφρά κλάσματα. Με την εισαγωγή της μάζας των αστικών στερεών αποβλήτων στους διαχωριστές έχουμε τη διαφοροποίηση των απορριμμάτων σε δύο ρεύματα, όπου στο ένα εμπεριέχετε το προς ανάκτηση υλικό σε υψηλή συγκέντρωση και το άλλο ρεύμα καταλήγει απαλλαγμένο από την παρουσία του.

Διαδεδομένες συσκευές διαχωρισμού:

- **Κόσκινα (δονούμενα, περιστροφικά, κόσκινα Mogensen)**

Ο διαχωρισμός με κόσκινα έχει υψηλή απόδοση όταν τα υλικά που πρόκειται να διαχωριστούν έχουν μεγάλη διαφορά στο μέγεθος.

- **Τράπεζες διαχωρισμού και βαλλιστικοί διαχωριστές**

Τα απορρίμματα διαστρώνονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια μιας διάτρητης τράπεζας, τοποθετημένης με κλίση ως προς την οριζόντια. Η επιφάνεια της τράπεζας δονείται συνεχώς, εκτελώντας κυκλική προς τα ανωτέρω κατακόρυφη κίνηση (τινακτική), που έχει σαν αποτέλεσμα τη διαφορετική μετακίνηση των υλικών ανάλογα με το σχήμα τους και τις ιδιότητές του. Ο βαλλιστικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται για τρεις διακριτούς διαχωρισμούς: εύκαμπτα υλικά, άκαμπτα υλικά και για τη διαλογή ενός συγκεκριμένου

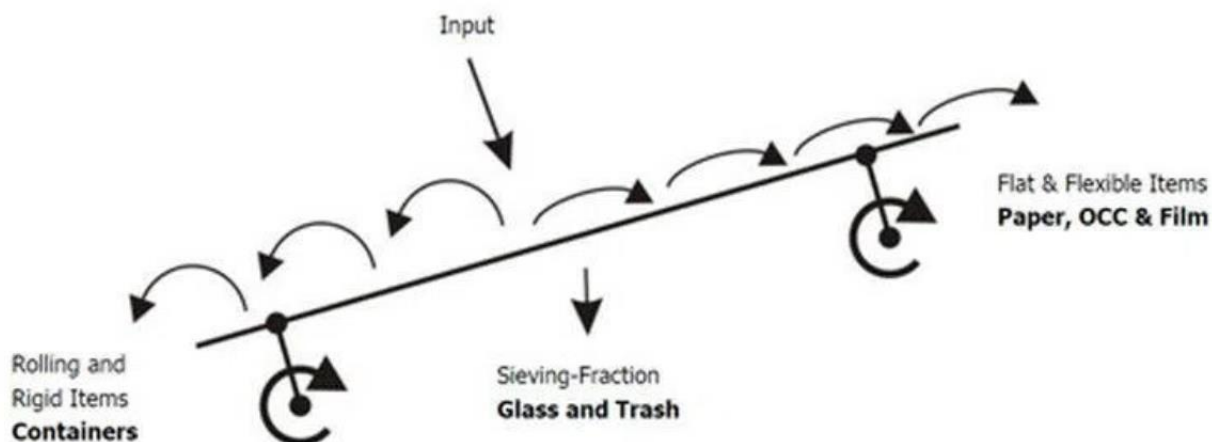
μεγέθους κλάσματος υλικού. Παρόμοια με μια συμβατική οθόνη δίσκου, τα τρισδιάστατα και άκαμπτα αντικείμενα, όπως τα δοχεία, θα πέσουν πίσω και τα επίπεδα και εύκαμπτα αντικείμενα, όπως χαρτί και πλαστική μεμβράνη, θα ανέβουν στο πάνω μπροστινό τμήμα του μηχανήματος. Τέλος, τα βαλλιστικά διαχωριστικά είναι εφοδιασμένα με αντικαταστάσιμες πλάκες διαλογής που χρησιμοποιούνται για τη διαλογή υλικού συγκεκριμένου μεγέθους όπως καθορίζεται από την εφαρμογή. [11]

- Άκαμπτα αντικείμενα

Τα σκληρά, άκαμπτα στερεά (π.χ. φιάλες πλαστικού, σκληρό πλαστικό, αδρανή, γυαλί, αλουμίνιο, μέταλλα, ξύλα κλπ.) μετά την πρόσπτωσή τους στη δονούμενη επιφάνεια αναπηδούν εκ νέου, τείνοντας να οδηγηθούν στην χαμηλότερη πλευρά, όπου και συλλέγονται στην κατηγορία των άκαμπτων. Τα υλικά αυτά, μεταφέρονται μέσω ταινιοδρόμου προς διάταξη διαχωρισμού μη μαγνητιζόμενων μετάλλων (κυρίως αλουμινίου). Μετά την ανάκτηση των μετάλλων, τα υπολειπόμενα απορρίμματα απορρίπτονται ως άχρηστα.

- Εύκαμπτα υλικά

Τα ελαφρά, επίπεδα και εύκαμπτα υλικά αντίθετα, λόγω και τη αυξημένης πρόσφυσής τους με την «τινασσόμενη» διάτρητη τράπεζα, μεταφέρονται σταδιακά προς τα ανάντι, όπου εξέρχονται από την υψηλότερη ακμή της κεκλιμένης τράπεζας. Αποτελούνται κυρίως από χαρτί και πλαστικό, κατάλληλα για τη τροφοδοσία της γραμμής παραγωγής RDF (Refuse Derived Fuel). Τα εύκαμπτα ελαφρά υλικά (RDF) που διαχωρίζονται στο βαλλιστικό διαχωριστή υφίστανται στη συνέχεια ελάττωση του μεγέθους τους με τη διέλευσή τους από κατάλληλους τεμαχιστές (ένα ανά βαλλιστικό διαχωριστή). Το τεμαχισμένο RDF συλλέγεται σε ενιαίο ταινιόδρομο και οδηγείται στο χώρο συμπίεσης, προς τελική δεματοποίηση και εμπορευματοποίησή του. [12]



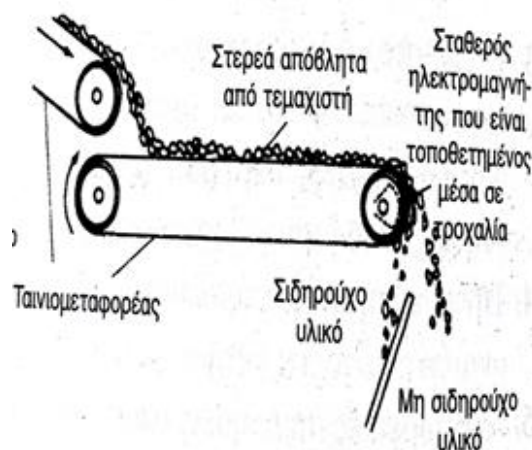
Εικόνα 1 - Βαλλιστικός Διαχωριστής [11]

- **Αεροδιαχωριστές:**

Οι αεροδιαχωριστές λειτουργούν με την ίδια διαδικασία και αποτελεσματικότητα των βαλλιστικών διαχωριστών. Η διαφορά τους είναι στον στόχο διαλογής διαφορετικού μεγέθους και βάρους κλάσματος υλικού. Επιτυγχάνεται ανάκτηση υλικών χαμηλής πυκνότητας όπως χαρτί και πλαστικό.

- **Ηλεκτρομαγνητικοί διαχωριστές:**

Επιτυγχάνεται διαχωρισμός σιδηρούχων από μη σιδηρούχα υλικά σε ποσοστά 80-98%. Εξαρτάται από το είδος του μαγνήτη (ισχύς μαγνητικού πεδίου), το πλάτος του ταινιομεταφορέα (ιμάντα) τροφοδοσίας. Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ που τροφοδοτούμε (μέγεθος υλικών, υφιστάμενη καθαρότητα και άλλα)

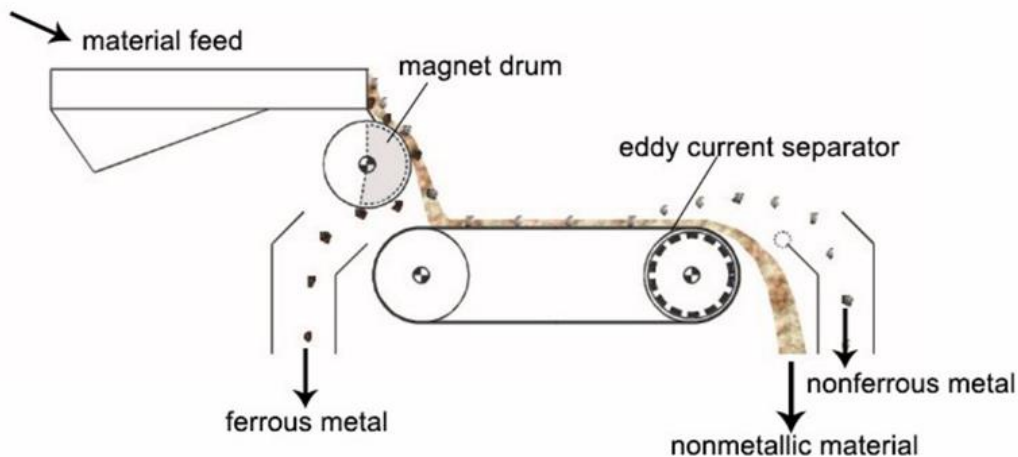


- Διαχωριστές με ρεύματα Eddy (διαχωρισμός αλουμινίου):

Εικόνα 2 – Ηλεκτρομαγνητικός διαχωριστής [6]

Διαχωρίζει αγώγιμα (Al, Cu) από μη αγώγιμα υλικά. Η αρχή διαχωρισμού βασίζεται στο νόμο του Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

Συγκεκριμένα: Όταν ένα μαγνητικό πεδίο περνά μέσω ενός αγώγιμου υλικού, τότε το πεδίο επάγει σε αυτό ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί ένα δευτερογενές μαγνητικό πεδίο το οποίο αντιτίθεται στο αρχικό μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα την άπωση του αγώγιμου υλικού.



Εικόνα 3 - Διαχωριστής με ρεύματα Eddy [6]

- Οπτικοί διαχωριστές:

Βασίζονται στις χημικές ιδιότητες του κάθε ρεύματος αστικών αποβλήτων. Μπορούν να διαχωρίσουν γυαλί ανάλογα με το χρώμα του, χαρτί ανάλογα με την υφή του (π.χ. από χαρτόνι) και πλαστικό ανάλογα με δομή του.

- Διαχωριστές με επίπλευση αφρού:

Λειτουργεί με βάση τις αρχές της πυκνότητας καθώς και τις ιδιότητες του νερού τα ελαφριά σε πυκνότητα απορρίμματα καθώς και τα υδρόφοβα παραμένουν στην επιφάνεια

δεξαμενών ενώ τα πιο βαριά αλλά και τα υδρόφοβα βυθίζονται. Έπειτα πραγματοποιείται διαχωρισμός. [6]

1.2.5 Μέθοδοι επεξεργασίας

Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση αποτελεί μια βασική έννοια της σύγχρονης διαχείρισης των αποβλήτων. Είναι η διαδικασία με την οποία επαναχρησιμοποιούνται διάφορα υλικά τα οποία στη μορφή που βρίσκονται δεν αποτελούν πλέον χρήσιμο αγαθό για τον άνθρωπο. Στη διαδικασία αυτή συνήθως τα απορρίμματα μετατρέπονται σε πρώτες ύλες από τις οποίες παράγονται νέα προϊόντα. Τα υλικά που ανακτώνται ονομάζονται και δευτερογενείς πρώτες ύλες. Για το λόγο αυτό μια διεργασία ανακύκλωσης μπορεί να χαρακτηριστεί και ως διαδικασία παραγωγής νέων υλικών. Η ανακύκλωση συμβάλει ενεργά στη μείωση του όγκου των απορριμμάτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. [6]

Ανακυκλώσιμα υλικά:

Χαρτί

Η ανακύκλωση χαρτιού είναι η διαδικασία ανάκτησης χαρτιού που έχει ήδη δημιουργηθεί ή χρησιμοποιηθεί για να το μετατρέψει σε νέα προϊόντα χαρτιού. Το χαρτί των απορριμμάτων χωρίζεται σε κατηγορίες (ποιότητες), ανάλογα με την ποιότητα των ινών και το βαθμό των ξένων προσμίξεων. Γενικά θεωρείται ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι ίνες τόσο καθαρότερο και καλύτερης ποιότητας είναι το χαρτί και κατά συνέπεια υψηλότερη η τιμή αγοράς του. Με την ανακύκλωση υποβαθμίζονται οι ίνες του χαρτιού (π.χ. η ανάμειξη και επεξεργασία του με νερό θραύει και μικραίνει τις ίνες). Κατά συνέπεια δεν μπορεί να ανακυκλώνεται απεριόριστα, λόγω της φθοράς που οι ίνες αυτές υφίστανται. [13]

Γυαλί

Μια μέθοδος επαναχρησιμοποίησης, είναι η συλλογή των φιαλών που είναι σε άριστη κατάσταση και οι οποίες οδηγούνται στις αντίστοιχες βιομηχανίες, καθαρίζονται, αποστειρώνονται και επαναχρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία.

Ο δεύτερος τρόπος αφορά τα μπουκάλια που δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και τα υπόλοιπα γυάλινα αντικείμενα ή συσκευασίες (βάζα, σκεύη κ.λπ.). Όλα τα παραπάνω συγκεντρώνονται στους μπλε κάδους ή σε ειδικούς κώδωνες χωριστής συλλογής και μεταφέρονται σε κέντρα συγκέντρωσης όπου γίνεται μηχανικός διαχωρισμός του γυαλιού και προετοιμασία για την ανακύκλωση. Το γυαλί υποδιαιρείται σε τρεις κατηγορίες λευκό, πράσινο και καφέ. Κατά τη συλλογή, θραύεται για να μειωθεί ο όγκος του και δημιουργείται το υαλόθραυσμα. Το τελικό προϊόν της ανακύκλωσης γυαλιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή υαλοβάμβακα, fiberglass, σημάτων για τους δρόμους κλπ. Το υαλόθραυσμα μικτού χρώματος χρησιμοποιείται στα πυρότουβλα, τα τούβλα, το τσιμέντο και την άσφαλτο. Η διαδικασία ανακύκλωσης του γυαλιού οδηγεί σε εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων πρώτων υλών αλλά και ενέργειας καθώς η ενέργεια που απαιτείται για την τήξη του ανακυκλώσιμου γυαλιού είναι πολύ λιγότερη από αυτήν που απαιτείται για την δημιουργία γυαλιού από νέα ακατέργαστα υλικά. [14]

Μη-σιδηρούχα/Σιδηρούχα μέταλλα

Τα παραληφθέντα μέταλλα αρχικά υποβάλλονται σε διαλογή, όπου διαχωρίζονται ανά είδος. Στη συνέχεια, μεταφέρονται σε κατάλληλα χυτήρια, καθαρίζονται, τήκονται και παράγεται πρωτογενές μέταλλο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξ αρχής. Τα μέταλλα τα οποία προέρχονται από ανακύκλωση απαιτούν σημαντικά λιγότερη ενέργεια για να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, σε σχέση με εκείνα που προέρχονται από εξόρυξη πρώτων υλών. Ενδεικτικά για αλουμίνιο, το οποίο δεν χάνει τις ιδιότητες του όσες φορές και αν ανακυκλωθεί, απαιτείται κατά 95% λιγότερη ενέργεια. [14]

Πλαστικά

Τα πλαστικά είναι προβληματικά για ανακύκλωση καθώς υπάρχουν πολλοί τύποι πλαστικού με διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες πράγμα που καθιστά τον διαχωρισμό τους εξαιρετικά δύσκολο. Η επαναθέρμανση με σκοπό την επεξεργασία υποβαθμίζει τη ποιότητα τους και τέλος η ανάγκη σε ποσότητα του προς επεξεργασία

πλαστικού είναι αρκετά μεγάλη γεγονός που καθιστά τη διαδικασία οικονομικά ασύμφορη. [14]

Μπαταρίες

Οι μπαταρίες οχημάτων ή οικιακής χρήσης είναι σημαντικό να ανακυκλώνονται καθώς περιέχουν βαρέα μέταλλα τα οποία είναι τοξικά όπως υδράργυρος, μόλυβδος, νικέλιο και κάδμιο.

Ογκώδη «λευκά» αντικείμενα

Ως ογκώδη «λευκά» απόβλητα που συνήθως ανακτώνται εννοούμε πλυντήρια, κουζίνες, ψυγεία, θερμοσίφωνες κ.α. Η ανακύκλωση «λευκών» ογκωδών αποβλήτων είναι σημαντική για την ανάκτηση σιδηροκραμάτων, όπως π.χ. ο χάλυβας και την επαναχρησιμοποίηση του στη βιομηχανία.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την αποδοτικότητα της ανακύκλωσης είναι ο ρυθμός συλλογής των απορριμμάτων, το ποσοστό του βάρους ενός ρεύματος αποβλήτων που διαχωρίζεται και οδηγείται για ανακύκλωση και ο ρυθμός συμμετοχής, δηλαδή το ποσοστό των νοικοκυριών/επιχειρήσεων που διαχωρίζουν και συμμετέχουν σε προγράμματα ανακύκλωσης. Μεγάλης σημασίας είναι και ο ρυθμός ανακύκλωσης, δηλαδή το ποσοστό των διαχωρισμένων κλασμάτων που οδηγούνται σε συγκεκριμένες βιομηχανίες προς ανακύκλωση καθώς και ο ρυθμός εκτροπής, το συνολικό βάρος των κλασμάτων ΑΣΑ που δεν οδηγήθηκαν σε ΧΥΤΑ και δεν αποτεφρώθηκαν.

Κομποστοποίηση

Είναι η διαδικασία της αποσύνθεσης και της φυσικής ανακύκλωσης των στερεών απορριμμάτων, που καταλήγει στη δημιουργία μιας μάζας που μοιάζει με χώμα. Το οργανικό (ζυμώσιμο) κλάσμα ανοικοδομείται βιολογικά υπό ελεγχόμενες συνθήκες με αποτέλεσμα τη σταδιακή μετατροπή του σε ένα πλούσιο, σκούρο, θριφτό και άοσμο υλικό βιολογικά σταθερό (κόμποστ). Οι κυριότερες κατηγορίες ΑΣΑ που χρησιμοποιούνται στην κομποστοποίηση είναι: Απορρίμματα κήπων, αστικά απορρίμματα του οργανικού κλάσματος που προέρχονται από Διαλογή στην Πηγή (ΔσΠ), αστικά απορρίμματα

προερχόμενα από μονάδα μηχανικού διαχωρισμού (ΜΔ), αστικά απορρίμματα με συνδιάθεση ύλους προερχομένης από βιολογικό καθαρισμό, διατροφικά υπολείμματα, κτηνοτροφικά και αγροτικά υπολείμματα και δασοκομικά και δασικά υπολείμματα. Η διαδικασία της κομποστοποίησης διαχωρίζεται σύμφωνα με τις συνθήκες καλλιέργειας σε αερόβια ή αναερόβια, καθιστώντας την αερόβια ως την πιο συνήθη και σε και μεσόφιλη ή θερμοφιλη, όπου κατά την μεσόφιλη η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι από 5°C έως 45°C, ενώ στην θερμοφιλη η είναι από 45 °C έως 75 °C. [6]

Απαραίτητα στοιχεία για μια πετυχημένη κομποστοποίηση είναι:

- Σωστό μίγμα υλικών (σε σωστές αναλογίες)

Τα βακτήρια, οι μύκητες και άλλα μικρόβια είναι οι 'εργάτες' της κομποστοποίησης. Με τη βοήθεια και άλλων μεγαλύτερων οργανισμών κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης παράγουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), θερμότητα και νερό καθώς αποικοδομούν τα οργανικά υλικά του σωρού. Για την αποτελεσματική κομποστοποίηση χρειάζεται σωστό μίγμα υλικών (σε σωστές αναλογίες). Τα φρέσκα "πράσινα" υλικά είναι πλούσια σε άζωτο και τα ξερά "καφέ" υλικά είναι πλούσια σε άνθρακα. Και τα δύο στοιχεία (C, N) χρειάζονται για να γίνει η κομποστοποίηση. Η σωστή πρόσμιξη τους επιτρέπει στα μικρόβια να κάνουν σωστά τη δουλειά τους και να κρατούν το σωρό σας άοσμο. Ο γενικός κανόνας για να διατηρείται σωστή η αναλογία αυτών των υλικών είναι: 1 μέρος πράσινα υλικά προς 3 μέρη καφέ. Τα καφέ υλικά, όπως τα φύλλα, τα άχυρα, το πριονίδι, έχουν πολύ άνθρακα και πολύ λίγο άζωτο και αργούν αρκετά να αποσυντεθούν. Τα πράσινα υλικά, όπως το γκαζόν, τα χόρτα, τα απορρίμματα της κουζίνας και η κοπριά, έχουν πολύ άζωτο και σχετικά λίγο άνθρακα, και αποικοδομούνται γρήγορα.

- Σωστό αερισμό:

Η αποσύνθεση γίνεται με οξυγόνο (αερόβια) ή χωρίς οξυγόνο (αναερόβια). Τα μικρόβια που χρησιμοποιούν οξυγόνο είναι προτιμότερα στην οικιακή κομποστοποίηση επειδή αποσυνθέτουν τα οργανικά γρήγορα και αποτελεσματικά. Η αερόβια κομποστοποίηση γίνεται όταν ο σωρός έχει αρκετό οξυγόνο. Κατά τη διαδικασία, τα μικρόβια χρησιμοποιούν το οξυγόνο μέσα στο σωρό και ο αερισμός είναι απαραίτητος. Ο καλύτερος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι με τη χρήση σχετικά ογκωδών υλικών

μέσα στο σωρό. Αυτά τα υλικά, όπως κλαδάκια, πριονίδι και άχυρα, δίνουν στο σωρό μια πορώδη δομή η οποία επιτρέπει στον αέρα να κυκλοφορεί. Ο επαρκής αερισμός των σωρών επιτυγχάνεται με συνεχή ανάδευση ή εισαγωγή αέρα μέσω διάτρητων σωλήνων.

- Σωστή υγρασία

Ο σωρός θα πρέπει να είναι υγρός σαν στυμμένο σφουγγάρι. Αν το μίγμα είναι υπερβολικά υγρό προσθέστε περισσότερα «καφέ» υλικά. Αντιθέτως αν είναι πολύ ξηρό προσθέτουμε λίγο νερό.

- Θερμοκρασία

Κάθε κατηγορία μικροοργανισμών επηρεάζεται διαφορετικά με τη θερμοκρασία. Σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται η άνοδος της θερμοκρασίας πάνω από 60°C, για τη καταστροφή παθογόνων μικροβίων (π.χ. σαλμονέλα) και σπόρων ζιζανίων. Κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης αναπτύσσεται θερμότητα από τη δράση των μικροοργανισμών. Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία στο κέντρο του κάδου τόσο πιο σωστά γίνεται η διαδικασία της κομποστοποίησης.

- Σωστό μέγεθος υλικών

Το μέγεθος των υλικών πρέπει να είναι γενικά μικρό (10-50 mm), όμως αν είναι πολύ μικρό, τότε συμπυκνώνεται και δεν γίνεται επαρκής αερισμός.

- pH

Η πορεία της τιμής του pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι σε μεγάλο βαθμό αυτορρυθμιζόμενη. Πρέπει να παρακολουθείται και σε περίπτωση που βρεθεί πολύ χαμηλή (<4.5), τότε πρέπει να προστίθενται μικρές ποσότητες ασβέστη. [15] [16]

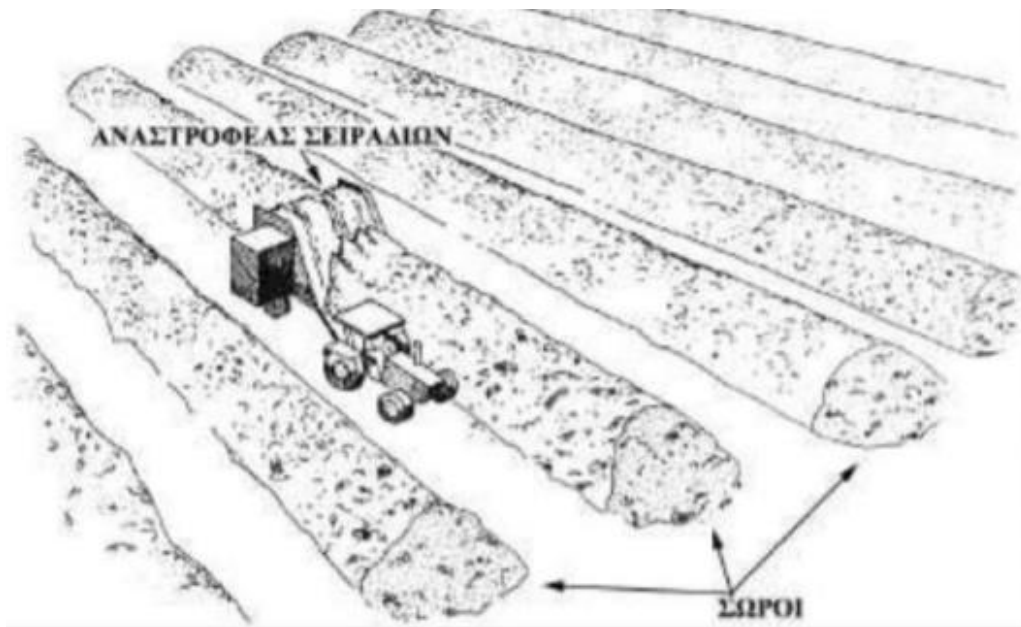
Η κομποστοποίηση διακρίνεται σε διάφορες μεθόδους κατεργασίας των αποβλήτων. Οι κυριότερες είναι:

Μέθοδος Αναδεδυμένων Σωρών

Στη μέθοδο αυτή τα απορρίμματα απλώνονται για μεγάλο μήκος σε σωρούς τριγωνικής διατομής με λόγο (πλάτος βάσης)/ύψος τουλάχιστον 2. Ο σχηματισμός αυτός εξασφαλίζει την ύπαρξη ενός επαρκούς μεγέθους σωρού ώστε να υπάρχει παραγωγή

αρκετής θερμότητας διατηρούμενη στο εσωτερικό του, ενώ παράλληλα το οξυγόνο μπορεί να διαχέεται ελεύθερα κατά μήκος, λόγω του μικρού μεγέθους σωρού. Ο αερισμός του σωρού γίνεται με την περιοδική ανάδευση του σωρού (στατικά).

Ένας τυπικός σχηματισμός είναι τα σειράδια (ελεύθερα ή σε κανάλια). Το μήκος τους κυμαίνεται μέχρι και τα 100m και το πλάτος τους μέχρι τα 5m. Τα συστήματα αυτά είναι ανοικτά και οι σωροί τοποθετούνται σε σταθερό έδαφος ώστε να μπορούν να αναδεύονται περιοδικά. Τα σειράδια τοποθετούνται κάτω από υπόστεγο, ώστε να προστατεύονται από δυσμενείς καιρικές συνθήκες όπως βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. [17]

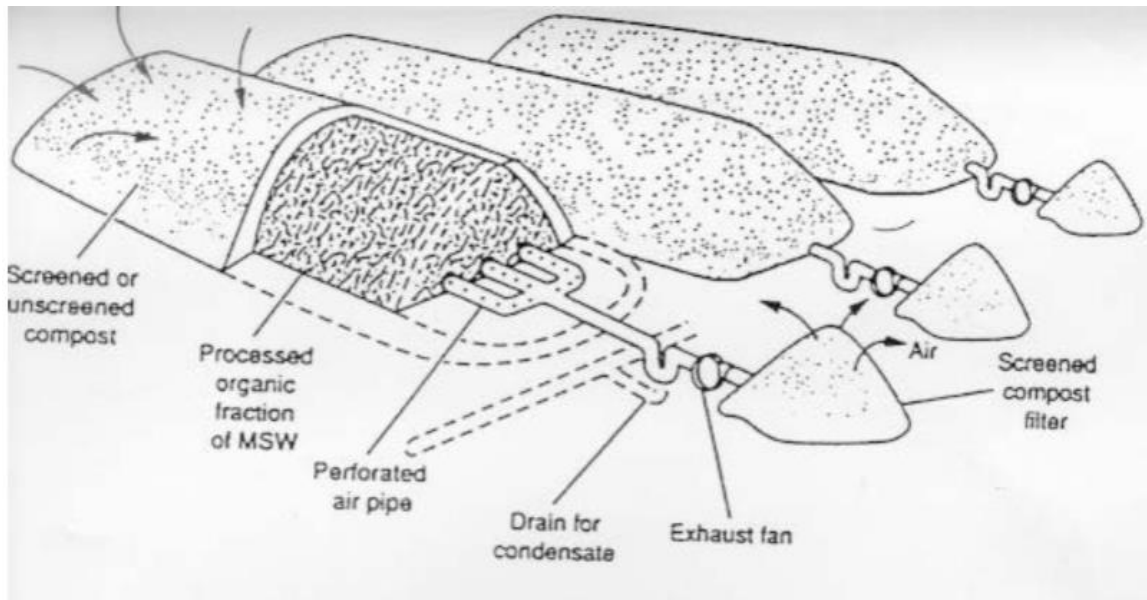


Εικόνα 4 - Σύστημα αναδύμενων σωρών [18]

Μέθοδος Αεριζόμενων Σωρών

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε με σκοπό τη μείωση της απαιτούμενης έκτασης, αλλά και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Ο αερισμός των σωρών πραγματοποιείται ή με αναρρόφηση αέρα ή με εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα διαμέσου των σωρών. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή και ταυτόχρονα σε κάθε σωρό, προκειμένου να διατηρούνται στους σωρούς η απαραίτητη συγκέντρωση

διαλυμένου οξυγόνου και η απαραίτητη θερμοκρασία για την κομποστοποίηση και την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Για τη πραγματοποίηση της μεθόδου αυτής χρησιμοποιείται ένα πλέγμα υπόγειων σωληνώσεων και τοποθετούνται στην επιφάνεια του σωρού. [17]

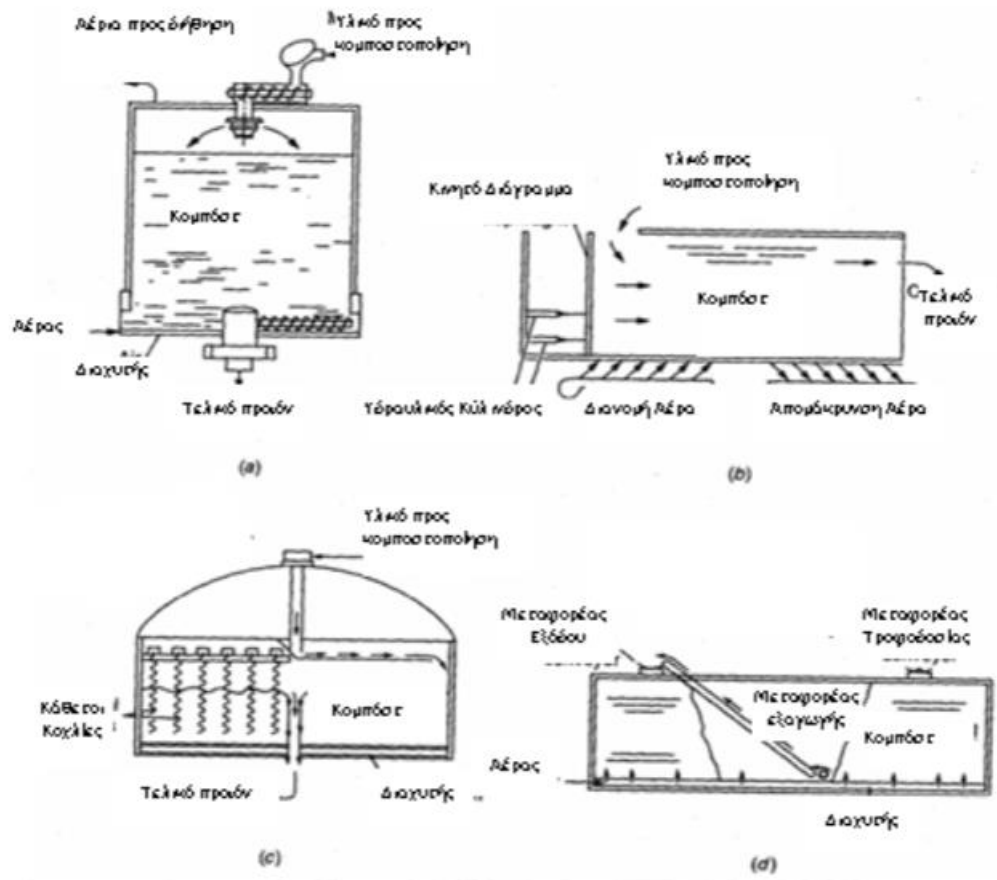


Εικόνα 5 - Σύστημα αεριζόμενων στατικών σωρών με απορρόφηση αέρα [19]

Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης

Με κύριο στόχο τη ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου χώρου αλλά και την βέλτιστη εκμετάλλευση αυτού έχουν αναπτυχθεί διάφορα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης, διαφόρων διαστάσεων, διατάξεων και μορφών. Μπορεί να είναι οριζόντια ή ακόμα και κάθετα. Στα συστήματα αυτά, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, κατακόρυφους, οριζόντιους ή περιστρεφόμενου τυμπάνου, οι οποίοι διαθέτουν μηχανολογικό εξοπλισμό κατάλληλο για την μείωση των οσμών και τον έλεγχο παραμέτρων, όπως η παροχή αέρα, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση οξυγόνου, το pH και η υγρασία. Για την σωστή λειτουργία αλλά και την επίσπευση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται διάφορες παρεμβατικές τεχνικές, όπως η προσθήκη νερού στο υλικό του αντιδραστήρα, με σκοπό την προώθηση της δράσης των μικροοργανισμών και η εισαγωγή θερμού αέρα, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα,

ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κάποια από τα πλεονεκτήματα του κλειστού συστήματος είναι ο καλύτερος έλεγχος των οσμών, η μικρή διάρκεια παραμονής του κομποστοποιήσιμου υλικού στον αντιδραστήρα και τέλος πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η απαίτηση πολύ μικρότερων εκτάσεων για την εγκατάστασή. [17]



Εικόνα 6 - Σχηματική αναπαράσταση των βασικών τύπων κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης (a&c: κάθετοι αντιδραστήρες, b&d: οριζόντιοι αντιδραστήρες) [17]

Θερμική επεξεργασία

Μέσω της θερμικής επεξεργασίας επιτυγχάνεται μετατροπή των στερεών απορριμμάτων σε αέρια, στερεά προϊόντα καθώς επίσης και σε υγρά, με ταυτόχρονη ή επακόλουθη απελευθέρωση θερμικής ενέργειας. Τα συστήματα θερμικής επεξεργασίας μπορούν να διαχωριστούν με βάση τις ανάγκες τους σε οξυγόνο (αέρα) σε καύση (incineration) με παρουσία περίσσειας οξυγόνου, πυρόλυση (pyrolysis) με επεξεργασία απουσίας

οξυγόνου και αεριοποίηση (gasification) όπου πραγματοποιείται εμπλουτισμός των παραγόμενων αερίων με οξυγόνο, ατμό ή υδρογόνο.

Οι στόχοι που καλύπτονται με τη μέθοδο της θερμικής επεξεργασίας είναι η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ και η αδρανοποίησή τους, μετατρέποντάς τα σε υλικά λιγότερο επιβλαβή καθώς και η εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμης τους προς παραγωγή ενέργειας όπως θέρμανση, ηλεκτρικό ρεύμα και καύσιμη ύλη. Μεγάλης βαρύτητας είναι η συμβολή της θερμικής επεξεργασίας στην καταστροφή ειδικών ρευμάτων αποβλήτων, όπως νοσοκομειακά, ραδιενεργά και μπαταρίες και κατά συνέπεια στη δραστική μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Προκειμένου λοιπόν να εξασφαλιστεί η προστασία του περιβάλλοντος από της αέριες εκπομπές η νομοθεσία (2000/76/EK), για την αποτέφρωση των αποβλήτων, περιλαμβάνει την οδηγία την ΚΥΑ 22912/1117/2005 «Μέτρα και Όροι για την Πρόληψη και τον Περιορισμό της Ρύπανσης του Περιβάλλοντος από την Αποτέφρωση των Αποβλήτων», με σκοπό τη θέσπιση προδιαγραφών για τη δημιουργία και σωστή λειτουργία κάθε μονάδας επεξεργασίας. Οι βασικές αρχές λειτουργίας και οι προδιαγραφές, που πρέπει να πληρούνται, είναι κοινές για όλες τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων και είναι οι εξής:

- Σταθερές συνθήκες λειτουργίας.
- Ευχέρεια προσαρμογής σε απότομες αλλαγές της σύστασης και της ποσότητας της τροφοδοσίας.
- Ευελιξία προσαρμογής στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις της σύνθεσης και της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.
- Πλήρης έλεγχος των ρύπων στις εκπομπές.
- Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας.

Τα απορρίμματα που πρόκειται να συλλεχθούν, να μεταφερθούν και να διατεθούν είναι κυρίως:

- Οικιακά απορρίμματα, στάχτες, κατάλοιπα γυαλιών, φύλλα, σκουπίσματα, χαρτιά και άλλα. Τοποθετούνται μέσα σε πλαστικές ή χάρτινες σακούλες ή δοχεία.

- Απορρίμματα από βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις, γραφεία, αυλές και κήπους. Τοποθετούνται σε δοχεία ή σάκους σε ίδιες συνθήκες με τα οικιακά.
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλείς, προϊόντα από τους καθαρισμούς δημοσίων οδών, των δημόσιων πάρκων, προϊόντα από καθαρισμούς νεκροταφείων και βοηθητικών κτιρίων. Συγκεντρώνονται και τοποθετούνται σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Προϊόντα καθαρισμού και κατάλοιπα, αγορών, χώρων δημόσιων εορτών, θέσεων συγκέντρωσης ζώων. Συγκεντρώνονται και τοποθετούνται σε μεγάλα κοντέινερ για την εκκένωσή τους.
- Απορρίμματα από σχολεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία, φυλακές και όλα τα δημόσια κτίρια. Τοποθετούνται σε δοχεία συλλογής σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους.
- Ογκώδη αντικείμενα εγκαταλελειμμένα σε δημόσιους χώρους ή τοποθετημένα σε καθορισμένες θέσεις.

Η σύνθεση και τα χαρακτηριστικά των οικιακών απορριμμάτων επηρεάζονται από πολυάριθμους παράγοντες ξεκινώντας από την πηγή. Τα χαρακτηριστικά ενός πολεοδομικού συγκροτήματος, την πολεοδομική ζώνη (αστική ή βιομηχανική), το κλίμα και την κάθε εποχή. Το καλοκαίρι περιέχονται πολλά φρούτα και φρέσκα λαχανικά ενώ το χειμώνα στάχτες. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο τύπος μίας κατοικίας, το βιοτικό επίπεδο και τα υλικά συσκευασίας των απορριμμάτων.

Τα οικιακά απορρίμματα είναι ουσιωδώς ετερογενή. Μπορεί όμως να ομαδοποιηθούν παρουσιάζοντας κάποια ομοιογένεια. Με βάση την δυνατότητα καύσης τους, τα ΑΣΑ χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

Καύσιμα: χαρτί, πλαστικό, ξύλο, ελαστικά υλικά, δέρμα, υφάσματα και ζυμώσιμες ύλες

Αδρανή: Γυαλί, αλουμίνιο και άλλα μέταλλα, θραύσματα μη καύσιμα και μη ταξινομημένα

Οι βασικότερες ιδιότητες των αποβλήτων που επηρεάζουν την καύση είναι:

1. Η θερμογόνος δύναμη
2. Η περιεκτικότητα σε υγρασία (% κ. β.).

3. Η περιεκτικότητα σε στάχτη (% κ. β.).
4. Οι πτητικές ύλες (% κ. β.). [20]

Αποτέφρωση – καύση των στερεών αποβλήτων

Αποτελεί μια διεργασία η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών (850 – 1500 °C), με παρουσία φλόγας για την οξειδωση των επιμέρους στοιχείων αυτών, την ένωσή τους δηλαδή με το οξυγόνο. Στόχος της εν λόγω διαδικασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση ή/και 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.

Τα προϊόντα της διαδικασίας περιλαμβάνουν αέριες ενώσεις, όπως CO₂, οξείδια του αζώτου, όξινα αέρια, κ.α., οι οποίες πρέπει να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία πριν την έκλυσή τους στην ατμόσφαιρα, καθώς και σχετικά αδρανή στερεά υπολείμματα (τέφρα), τα οποία περιέχουν σημαντικούς ανόργανους ρύπους όπως βαρέα μέταλλα. Στην περίπτωση της έλλειψης οξυγόνου, που οδηγεί σε ατελή καύση και η οποία είναι ανεπιθύμητη, στα παραγόμενα απαέρια συμπεριλαμβάνεται και CO. Για τη διασφάλιση της πλήρους καύσης των ΑΣΑ πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (O₂) στην εστία καύσης.
- Επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης.
- Σωστή αναλογία του μίγματος καύσιμης ύλης – οξυγόνου.
- Συνεχής απομάκρυνση των απαερίων που παράγονται κατά την καύση.
- Συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης.

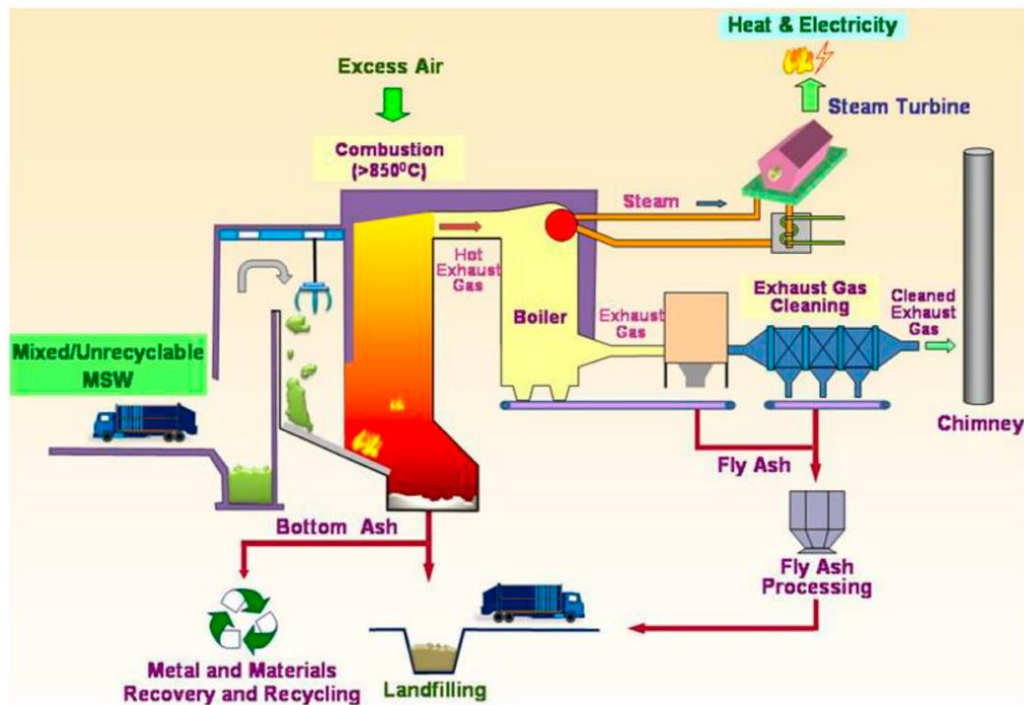
Υπάρχουν δύο τύποι συμβατικών μονάδων αποτέφρωσης:

Οι **μονάδες** τύπου **mass-fired** που δεν απαιτούν προ επεξεργασία των απορριμμάτων.

Αυτή η μέθοδος διαχείρισης απορριμμάτων αποφεύγει το δαπανηρό και δυσάρεστο έργο της διαλογής στα σκουπίδια για άκαυστα υλικά. Όλα τα απόβλητα που παραλαμβάνονται στην εγκατάσταση τεμαχίζονται σε μικρά κομμάτια και τροφοδοτούνται στον

αποτεφρωτήρα. Ο ατμός που παράγεται στο λέβητα του αποτεφρωτήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για τη θέρμανση κοντινών κτιρίων. Η υπολειμματική τέφρα και τα άκαυστα υλικά, που αντιπροσωπεύουν περίπου το 10-20% του αρχικού όγκου των απορριμμάτων, μεταφέρονται σε χώρο υγειονομικής ταφής για διάθεση.

Η αποτέφρωση μαζικής καύσης έχει επίσης αρκετά μειονεκτήματα. Οι διακυμάνσεις του ενεργειακού περιεχομένου των απορριμμάτων είναι τεράστιες στις μονάδες αυτές και εξαρτώνται και από το κλίμα, τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, τη σύσταση των αποβλήτων κ.λπ. Δεδομένου ότι τα απόβλητα δεν είναι ταξινομημένα, συχνά παράγουν περισσότερες ρυπογόνες εκπομπές από τα διαλεγμένα απόβλητα και είναι πιο πιθανό να διαβρώσουν τις σχάρες των καυστήρων και τις καμινάδες. Η υπολειμματική τέφρα και τα άκαυστα υλικά μπορεί να είναι τοξικά και να απαιτούν ειδική επεξεργασία. [21]



Εικόνα 7 - Μονάδα λειτουργίας με καύσιμο από επεξεργασία στερεών απορριμμάτων RDF (refuse derived fuel). [22]

Τα ανακτώμενα υλικά (γυαλί, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο) διαχωρίζονται από τη μάζα των απορριμμάτων μηχανικά και συλλέγονται για επεξεργασία και μελλοντική πώληση ή διάθεση. Το κλάσμα των υπόλοιπων υλικών (χαρτί, πλαστικό, λοιπά καύσιμα)

ονομάζεται Καύσιμο από Σκουπίδια (RDF). Με την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο σε λέβητες παραγωγής ατμού ή ηλεκτρισμού. Όσον αφορά τις μονάδες τύπου RDF-fired, παρουσιάζουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα.

Εντάσσονται ευκολότερα σε δίκτυο ανάκτησης και διανομής ενέργειας γιατί το RDF παρουσιάζει πιο σταθερή, ελεγχόμενη και ποιοτικά καλύτερη θερμογόνο δύναμη (σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα απορρίμματα) καθώς και πολύ μικρότερες διακυμάνσεις στο ενεργειακό περιεχόμενο. Επιπλέον, ο έλεγχος μιας μονάδας RDF fired είναι ευκολότερος και ο χώρος που απαιτείται είναι λιγότερος, σε σχέση με μια μονάδα mass-fired ενώ τέλος η προεπεξεργασία των απορριμμάτων για την παραγωγή RDF δίνει τη δυνατότητα απομάκρυνσης μιας σειράς κατηγοριών αποβλήτων, όπως το PVC, τα μέταλλα κ.α. τα οποία συνεισφέρουν στη δημιουργία επικίνδυνων ρύπων που μεταφέρονται με τα αέρια της μονάδας αποτέφρωσης.

Ωστόσο, οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται λιγότερο και αυτό γιατί προϋποθέτουν και την ύπαρξη μονάδας παραγωγής του RDF.

Η βασική δομή μιας μονάδας καύσης αποβλήτων περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

- Υποδοχή εισερχομένων αποβλήτων

Τα απορρίμματα εισέρχονται στην μονάδα καύσης είτε με απορριμματοφόρα (ΟΤΑ ή ιδιωτικών φορέων αποκομιδής), είτε μέσα σε containers (οδικώς ή σιδηροδρομικώς) προερχόμενα από σταθμούς μεταφόρτωσης, καθώς επίσης και οδικώς από μεμονωμένους μικροπαραγωγούς (βιοτεχνίες, πολίτες) και κατά κανόνα υπόκεινται σε δειγματοληψία για προσδιορισμό της σύστασής τους. Σε αυτό το στάδιο γίνεται πάντα έλεγχος και καταγραφή των εισερχομένων φορτίων, με το σύστημα ζύγισης των στερεών αποβλήτων να είναι πρακτικό και να ελαχιστοποιεί το χρόνο παραμονής των οχημάτων σε αυτό. Για την αποφυγή της οσμής, του θορύβου και των εκπομπών από τα απόβλητα, η περιφραγή του χώρου παράδοσης αποτελεί ιδανικό μέσο προφύλαξης.

- Αποθήκευση αποβλήτων και πρώτων υλών και προ επεξεργασία, όπου είναι απαραίτητο (επί τόπου ή σε άλλες εγκαταστάσεις)

Η καύση των απορριμμάτων πρέπει να είναι διαρκής και αδιάκοπη και το τροφοδοτούμενο υλικό να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιογενές. Λαμβάνοντας υπόψιν τη διακεκομμένη διαδικασία εκφόρτωσης απορριμμάτων και την ανομοιογενή φύση τους, χώροι αποθήκευσης και ομογενοποίησης του προς καύση υλικού είναι απαραίτητοι, ώστε να επιτύχουμε συνεχή καύση, σταθερής ποιότητας και ομοιογένειας υλικού.

➤ Τροφοδοσία αποβλήτων προς επεξεργασία

Τα απόβλητα, από την δεξαμενή, απορρίπτονται μέσω εναέριου γερανού στο φρεάτιο τροφοδοσίας, το οποίο είναι κωνικά διαμορφωμένο σαν χοάνη στο επάνω μέρος και έπειτα, με υδραυλική ράμπα, εισέρχονται στην εστία. Το φρεάτιο έχει πλάτος ίσο με το πλάτος της σχάρας (ή ανάλογα με τον τύπο εστίας καύσης) και ύψος πάνω από ένα μέτρο, ενώ, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, είναι κατασκευασμένο με διπλό υδρόψυκτο κέλυφος, υδρόψυκτες βαλβίδες και επένδυση από πυρίμαχα τούβλα ενώ προβλέπεται η δυνατότητα φραγής του κατά την εκκίνηση/διακοπή μέσω απλών ή διπλών υδραυλικών διαφραγμάτων, τα οποία ρυθμίζουν μια συνεχή ροή απορριμμάτων. Το σύστημα πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στο ρυθμό και την ταχύτητα τροφοδοσίας της εγκατάστασης με βασική προϋπόθεση την ισομερή τροφοδοσία της εστίας καύσης ώστε να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη εισροή αέρα μέσα στην εστία.

➤ Θερμική επεξεργασία αποβλήτων

Διάφορες τεχνολογίες καύσης μπορεί να εφαρμοστούν ανάλογα με το είδος των προς επεξεργασία αποβλήτων, στην περίπτωση των ΑΣΑ όμως, η όλη διαδικασία της καύσης λαμβάνει χώρα σε ειδικές εστίες καύσης, η ωριαία δυναμικότητα των οποίων κυμαίνεται από 8 έως 25 (t/h) και οι πλέον διαδεδομένοι τύποι αυτών είναι οι εστίες κινούμενων εσχάρων, οι εστίες περιστρεφόμενου κλιβάνου και οι εστίες ρευστοποιημένης κλίνης.

Τα απόβλητα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά, τα οποία απομακρύνονται άμεσα και στην πραγματικότητα ένα μικρό μόνο μέρος της καύσης γίνεται πάνω ή κοντά στον κλιβανο. Η ανάφλεξη των στερεών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις καύσης επιτυγχάνεται με χρήση ειδικού καυστήρα, ο οποίος λειτουργεί με βοηθητικό καύσιμο, κάνει την αρχική ανάφλεξη και εξασφαλίζει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία των καυσαερίων σε περιπτώσεις που απαιτείται.

Η θερμοκρασία των αερίων που εκλύονται κατά την αποτέφρωση των αποβλήτων πρέπει να αυξάνεται με ελεγχόμενο και ομοιογενή τρόπο και ακόμη και υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες στους 850°C, για δύο δευτερόλεπτα (περιεκτικότητα σε οξυγόνο τουλάχιστο 6% για την πλήρη καύση των επικίνδυνων αερίων). Εάν συναποτεφρώνονται επικίνδυνα απόβλητα που περιέχουν πάνω από 1% αλογονούχων οργανικών ουσιών, εκφρασμένων σε χλώριο, η θερμοκρασία πρέπει να ανέρχεται τουλάχιστον στους 1.100°C. Βασικές παράμετροι για την σωστή λειτουργία των εστιών καύσης είναι η επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας, ο επαρκής χρόνος καύσης και η επίτευξη συνθηκών στροβιλισμού/ομοιογενούς καύσης των αποβλήτων.

➤ Ανάκτηση ενέργειας και μετατροπή (λέβητας)

Όλες οι σύγχρονες εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων είναι εξοπλισμένες με συστήματα ανάκτησης θερμότητας. Η καύση είναι μία εξώθερμη διεργασία. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που παράγεται (15-40%) μεταφέρεται στα καυσαέρια, μέσω ψύξης των οποίων αυτή ανακτάται και επιπλέον, καθαρίζονται πριν απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα. Στις εγκαταστάσεις καύσης, ο λέβητας επιτελεί δύο αλληλένδετες λειτουργίες, την ψύξη των καυσαερίων και την μεταφορά της θερμότητας από τα καυσαέρια σε άλλο υγρό, συνήθως νερό, το οποίο μετατρέπεται μέσα στον λέβητα σε ατμό. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται η ανάκτηση του ενεργειακού περιεχομένου της καύσιμης ύλης. Η δυνατότητα αξιοποίησης του ατμού παίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομική απόδοση των εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ καθώς είτε διοχετεύεται σε γειτονικές βιομηχανικές μονάδες, είτε χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση αστικών κέντρων. Αν δεν είναι εφικτή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας του ατμού, τότε πρέπει να υγροποιηθεί, ώστε το νερό να μπορεί να ανακυκλωθεί στον ατμολέβητα. Στην περίπτωση αυτή η θερμότητα της υγροποίησης δεν αξιοποιείται, αλλά καταλήγει στο περιβάλλον.

➤ Καθαρισμός/Απομάκρυνση καυσαερίων

Τα υπολείμματα που παράγονται από την αποτέφρωση, αντιστοιχούν στο 20-40% του βάρους των εισερχομένων απορριμμάτων και δημιουργούνται κυρίως στην σχάρα, απ' όπου απάγονται με ειδικό σύστημα και στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων, απ' όπου συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα και μεταφέρονται για ψύξη. Στα

συστήματα καθαρισμού εφαρμόζονται διάφορες, δοκιμασμένες και ασφαλείς τεχνολογίες με σκοπό την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, των οξέων, των οξειδίων του αζώτου, των διοξινών και άλλων που περιέχονται στα καυσαέρια

➤ Παρακολούθηση και έλεγχος των εκπομπών

Με πλήρη καύση παρατηρείται εκπομπή CO₂ και SO₂. Ωστόσο λόγω πρακτικής αδυναμίας επίτευξης πλήρους καύσης σε μικρές ποσότητες στα καυσαέρια εμφανίζονται και προϊόντα ατελούς καύσης όπως μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογονάνθρακες όπου δεν έχουν καεί, πτητικές οργανικές ενώσεις και πολυκυκλικές οργανικές ενώσεις όπως οι διοξίνες (PCDD) και τα φουράνια (PCDF). Ο έλεγχος των οσμών και αερίων, όπως το CO και τα NO_x, καθώς και οργανικών ενώσεων (υδρογονάνθρακες, διοξίνες και φουράνια), μπορεί να επιτευχθεί μέσω της επιλογής κατάλληλου κλιβάνου και λειτουργίας του συστήματος υπό κατάλληλες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία απαερίων μεταξύ 850-900 °C). Περαιτέρω πρόσθετος έλεγχος των NO_x μπορεί να επιτευχθεί με καταλυτική διάσπαση και αναγωγή. Η καταλυτική διάσπαση προϋποθέτει έκθεση των αερίων σε καταλύτη, με αποτέλεσμα την αναγωγή των NO_x σε N₂.

➤ Διαχείριση και επεξεργασία της προερχόμενης από την καύση τέφρας/τέφρας πυθμένα

Η συνολική τέφρα μπορεί να επεξεργαστεί με εκπλύσεις (για την απομάκρυνση υδατοδιαλυτών αλάτων), με χημική επεξεργασία (για την πλήρη αδρανοποίηση ή τη μετατροπή μετάλλων σε διαλυτές μορφές). Σε 2ο στάδιο, οι τρόποι διαχείρισης της τέφρας είναι τρεις. Συν-αποτέφρωση στην ίδια μονάδα καύσης από την οποία προήλθαν, χρήση της σε μικρές ποσότητες σε οικοδομικά υλικά και ασφαλτικά μίγματα, εναπόθεση σε ΧΥΤΑ, μετά από συμπίεση.

Παρά την πληθώρα πλεονεκτημάτων δεν μπορούμε να αμελήσουμε κάποια από τα πιο βασικά μειονεκτήματα της θερμικής επεξεργασίας τα οποία είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, το υψηλό κόστος λειτουργίας, η ανάγκη απασχόλησης εξειδικευμένου προσωπικού και η μη άμεση αξιοποίηση υλικών από τα απόβλητα. Πρόσθετα η δυσκολία αξιοποίησης της παραγόμενης θερμότητας (ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις), η χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της προκαλούμενης

ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οι εκπομπές επικίνδυνων ρύπων μέσω των καυσαερίων κάνουν ακόμη πιο δύσκολο το έργο για τη διαδικασία θερμικής επεξεργασίας.

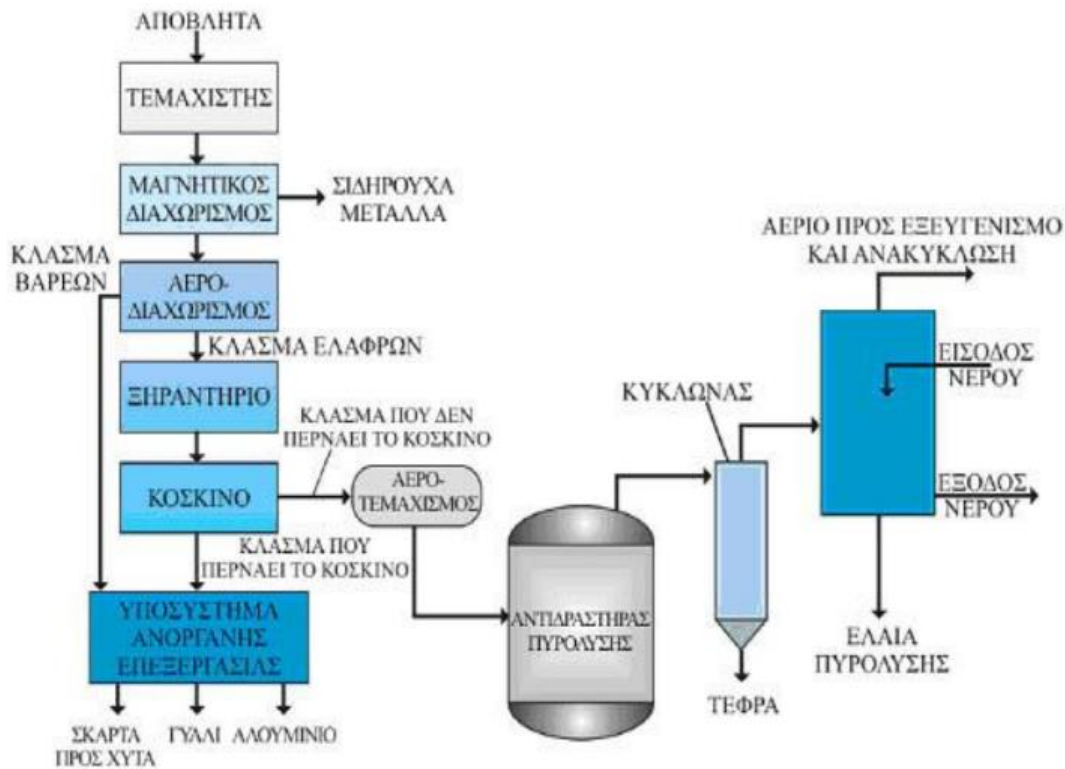
Πυρόλυση

Πυρόλυση είναι η καύση οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου δηλαδή, μια θερμική αποσύνθεση που πραγματοποιείται σε αδρανή ατμόσφαιρα, σε θερμοκρασίες 250-1000 °C ανάλογα με τα επιθυμητά προϊόντα. Η χημική σύνθεση του υλικού αλλάζει κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης. Η διαδικασία αυτή είναι τελική και μη αναστρέψιμη. Η πυρόλυση ως θερμική μέθοδος, βασίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και κατά τη θέρμανσή τους, απουσία οξυγόνου, διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Σαν διεργασία, σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση είναι ισχυρά ενδόθερμη και για τη διεξαγωγή της, απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Συχνά, λόγω της ενδόθερμης φύσης της η πυρόλυση καλείται και «καταστροφική απόσταξη». Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της, αποτελούν η σύσταση των στερεών αποβλήτων, η θερμογόνο δύναμή τους και η περιεχόμενη υγρασία αυτών. Σημαντικός παράγοντας για ορθή εφαρμογή της μεθόδου είναι προ επεξεργασία των στερεών αποβλήτων, ώστε στον θάλαμο να οδηγείται μόνο το οργανικό κλάσμα. Σε αυτό το στάδιο γίνεται απομάκρυνση κλασμάτων γυαλιού και μετάλλων. Κατά την υλοποίηση της μεθόδου γίνεται λήψη προϊόντων τριών διαφορετικών φύσεων: [20]

- a) Ρεύμα αερίων: Τα αέρια αποτελούνται από υδρογόνο (H_2), μεθάνιο (CH_4), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και άλλα αέρια τα οποία διαφέρουν ανάλογα με τα αρχικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που θέτονται υπό επεξεργασία.
- b) Υγρό κλάσμα: Το υγρό κλάσμα των αποβλήτων αποτελείται από ένα ελαιώδες μίγμα, υψηλής πυκνότητας και ιξώδους, το οποίο περιέχει οξικό οξύ, ακετόνη, μεθανόλη και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.
- c) Στερεό υπόλειμμα: Σο στερεό υπόλειμμα αποτελείται από σχεδόν καθαρό άνθρακα που συσσωματώνεται με τα αδρανή συστατικά που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα.

Η κατανομή των προϊόντων μεταξύ αερίων, υγρών και στερεών διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας πυρόλυσης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνεται σημαντικά το ποσοστό των στερεών και σε μικρό βαθμό το ποσοστό των υγρών, ενώ αυξάνεται η παρουσία των αερίων προϊόντων.

Η τεχνική της πυρόλυσης παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας καθώς, η θερμοκρασία διάσπασης είναι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τη θερμοκρασία καύσης και παρουσιάζει επίσης ανάλογη, αρκετά χαμηλή θερμική καταπόνηση της εγκατάστασης. Η ύπαρξη μικρότερης ποσότητας οξυγόνου έχει παράλληλα σαν αποτέλεσμα χαμηλότερες αέριες εκπομπές. Κατά τη πυρόλυση, τα περιεχόμενα μέταλλα στα απορρίμματα δεν οξειδώνονται και επομένως είναι ευκόλως εμπορεύσιμα. Πρόσθετα, αρχικός όγκος των απορριμμάτων μειώνεται περισσότερο από ότι στην καύση. Και τέλος από την καύση του αερίου της πυρόλυσης δεν παράγεται τέφρα και ο καθαρισμός των απαερίων είναι απλούστερος. Τα δύο κύρια προβλήματα της μεθόδου είναι το δύσκολο έργο απομάκρυνσης μετάλλων και γυαλιού, μια διαδικασία που επιφέρει μεγάλη αύξηση των λειτουργικών εξόδων της μονάδας, καθώς προϋποθέτει την επιτυχή εφαρμογή διαλογής στην πηγή ή μηχανικής διαλογής. Έπειτα παρατηρείται δυσκολία στην επίτευξη προδιαγραφών εμπορικού καυσίμου από τα παραγόμενα υγρά προϊόντα, κυρίως λόγω της υψηλής υγρασίας που περιέχουν. Ως μειονέκτημα στη μέθοδο παρουσιάζεται το μεγάλο κόστος καθαρισμού των αερίων και των υγρών αποβλήτων η δυσκολία εφαρμογής της μεθόδου σε ευρεία κλίμακα, καθώς οι περισσότερες μονάδες περιορίζονται ακόμα σε εργαστηριακά επίπεδα. Παρόλα αυτά, η πυρόλυση διερευνάται σε σημαντικό βαθμό διεθνώς και επιδιώκεται η μετατροπή της σε τεχνολογία μεγάλης κλίμακας. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην τεχνολογία της θερμόλυσης η οποία συγκεντρώνει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την αποτέφρωση. [16]



Εικόνα 8 - Διάγραμμα ροής της διεργασίας της πυρόλυσης [20]

Αεριοποίηση (gasification)

Η αεριοποίηση είναι μια διεργασία που μπορεί να μετατρέπει απορρίμματα, απόβλητα και υπολειμματική βιομάζα σε καθαρό αέριο σύνθεσης (syngas). Αποτελεί μια πολύ πιο σύγχρονη μέθοδο επεξεργασίας καθώς τα απορρίμματα δεν χρησιμοποιούνται απλά για καύση αλλά για χημική μετατροπή και εκμετάλλευση της χημικής σύνθεσή τους για παραγωγή αερίου πολλαπλών χρήσεων. Η διαδικασία της αεριοποίησης είναι επακόλουθο βήμα της πυρόλυσης όπου ο υπολειμματικός άνθρακας οξειδώνεται σε θερμοκρασίες άνω των 800 °C. Για την πραγματοποίηση της αεριοποίησης χρησιμοποιείται CO₂, O₂, ατμός ή αέρας ως αέριο καύσιμο για την περαιτέρω μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Κάποιοι τύποι εγκαταστάσεων είναι κάθετης σταθερής κλίνης, οριζόντιας σταθερής κλίνης, ρευστοποιημένης κλίνης, πολλαπλών εστιών και

περιστρεφόμενου κλιβάνου. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι όμως είναι κάθετης κλίσης, οριζόντιας και ρευστοποιημένης κλίσης. [6]

Η μέθοδος λειτουργεί με τροφοδοσία οξυγόνου ή αέρα και σε κάθε περίπτωση η σύσταση του αερίου προϊόντος αλλάζει. Στη περίπτωση τροφοδοσίας αέρα η παρουσία αζώτου στον ατμοσφαιρικό αέρα μειώνει σημαντικά το ενεργειακό περιεχόμενο του παραγόμενου αερίου. Σε αντίθεση με τη τροφοδοσία καθαρού οξυγόνου όπου η θερμογόνος δύναμη του τελικού προϊόντος αυξάνεται δραστικά.

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

Αέριας μορφής: Αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), υδρογόνο (H₂) και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο-CH₄) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο.

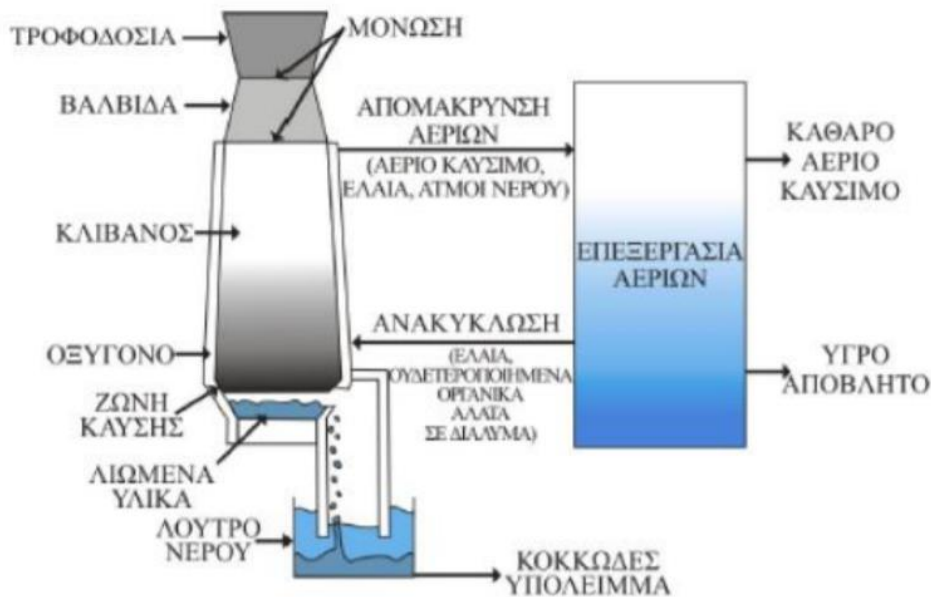
Στέρεης μορφής: Υπόλειμμα άνθρακα και αδρανών υλικών

Υγρής μορφής: Συμπυκνωμένο υπόλειμμα όμοιο με το προϊόν που λαμβάνουμε κατά την πυρόλυση.

Το αέριο προϊόν που ονομάζεται αέριο σύνθεσης (syngas) μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλαπλούς τρόπους για παροχή ενέργειας σε βιομηχανίες μεγάλου εύρους απασχόλησης είτε για ατμοπαραγωγή. Μπορεί επίσης να γίνει χρήση του ως ενεργειακό καύσιμο για διοχέτευση σε δίκτυο πόλεων ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανές εσωτερικής καύσης (η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί και να ξεπεράσει το 40%), απαραίτητη προϋπόθεση είναι πολύ καλός καθαρισμός του αερίου πριν από τη τροφοδοσία του. Κατά την καύση του αερίου για την παραγωγή ατμού συναντάμε υψηλότερες θερμοκρασίες έχοντας ως αποτέλεσμα πολύ βελτιωμένες αποδόσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, γεγονός που συμβαίνει διότι τα αέρια καθαρίζονται πριν από την καύση.

Η σύνθεση και ποιότητα του αρχικού τροφοδοτούμενου καυσίμου καθορίζει και το ποσοστό παρουσίας αλλά και τη σύσταση των ρύπων που παράγει η μέθοδος. Ρύπο που παρατηρούνται είναι πισσώδη υλικά, αλογόνα, βαρέα μέταλλα και αλκαλικές ενώσεις. Σε

αυτή τη μέθοδο όπως και κάθε άλλη σημαντικοί παράμετροι είναι η υγρασία, το μέγεθος και η πυκνότητα για την βέλτιστη και αποτελεσματική λειτουργία της μεθόδου. [20]



Εικόνα 9 - Διάγραμμα Ροής Διεργασίας Αεριοποίησης [20]

Τελική εναπόθεση σε ΧΥΤΑ

Μέσω αυτής της μεθόδου επιτυγχάνεται η σωστή διάθεση των απορριμμάτων στο έδαφος, χωρίς να δημιουργείται ενόχληση ή κίνδυνος στη δημόσια υγεία και ασφάλεια, με τη χρησιμοποίηση των αρχών της μηχανικής για τη συγκέντρωση των απορριμμάτων στη μικρότερη δυνατή έκταση, τη μείωση στο μικρότερο δυνατό όγκο και την κάλυψή τους με ένα στρώμα εδάφους στο τέλος κάθε ημέρας ή σε όσο συχνά διαστήματα κι αν είναι απαραίτητο. Τα παλαιότερα χρόνια η υγειονομική ταφή γινόταν χωρίς κάλυψη των αποβλήτων με αποτέλεσμα την εμφάνιση σημαντικών προβλημάτων ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων. Σήμερα νέες πρακτικές εφαρμόζονται ώστε να μειώσουν τον κίνδυνο έκπλυσης και ρύπανσης των υπογείων νερών αλλά και να βελτιώσουν αισθητικά την εικόνα τέτοιων περιοχών. Οι τρόποι διάθεσης των απορριμμάτων είναι η <<παραδοσιακή διάθεση>> όπου τα απορρίμματα εναποτίθενται σε διαδοχικές στρώσεις 2-3 μέτρων. Μεταξύ των απορριμμάτων στρώνεται χώμα περίπου 30 εκατοστών, χωρίς κάποιο άλλο στάδιο προ-επεξεργασίας. Με τη μέθοδο αυτή όμως,

δεν επιτυγχάνεται αρκετά η συμπίεση των απορριμμάτων. Για να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συμπίεση και μείωση του όγκου του ΧΥΤΑ πραγματοποιούμε <<διάθεση με συμπίεση>>, όπου, μετά την απομάκρυνση των ογκωδών απορριμμάτων (ψυγεία, τραπέζια κτλ), γίνεται συμπίεση των υπολοίπων και εναπόθεση όπως και στον 1ο τρόπο. Για καλύτερη εκμετάλλευση όλων των τμημάτων των απορριμμάτων πραγματοποιείται η <<Διάθεση μετά από διαχωρισμό και κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος>>. Με αυτή τη μέθοδο το οργανικό κλάσμα διαχωρίζεται, κομποστοποιείται και χρησιμοποιείται ως μέσο ενδιάμεσης κάλυψης για εναπόθεση με τον παραδοσιακό τρόπο. Τα υπόλοιπα μη βιοδιασπάσιμα κλάσματα οδηγούνται στην ανακύκλωση ή στην καύση. Τέλος, συναντάμε τη <<Διάθεση μετά από δεματοποίηση>>, όπου, το οργανικό κλάσμα διαχωρίζεται και κομποστοποιείται και τα υπόλοιπα κλάσματα συμπιέζονται σε δέματα από ενισχυμένο ύφασμα και εναποτίθενται στο χώρο ταφής.

Βασικό πρόβλημα της Υγειονομικής Ταφής είναι ο εντοπισμός κατάλληλων περιοχών, από γεωλογικής άποψης, για την μετατροπή τους σε χώρους απόρριψης στερεών αποβλήτων. Οι κύριοι παράγοντες χωροθέτησης ενός ΧΥΤΑ είναι:

- Η διανυόμενη απόσταση μεταφοράς ΑΣΑ
- Η διαθέσιμη γη
- Η πρόσβαση στο χώρο (οδικό δίκτυο κτλ)
- Οι συνθήκες εδάφους και η τοπογραφία
- Οι κλιματολογικές συνθήκες
- Οι γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες
- Οι υφιστάμενες χρήσεις γης
- Οι αποστάσεις από κατοικημένες περιοχές ή/και άλλες ευαίσθητες χρήσεις/δραστηριότητες [17]

Κύρια αίτια για τα οποία ο εντοπισμός περιοχών κατάλληλων για ΥΤ είναι αρκετά απαιτητικός είναι τα προϊόντα τα οποία παράγει τα οποία είναι θεωρητικά σταθεροποιημένα απορρίμματα, όπως εύφλεκτο βιοαέριο από τη διεργασία διάσπασης του οργανικού κλάσματος (τυπική σύσταση βιοαερίου μετά από 3 χρόνια: περίπου 50% CO₂ και 50% CH₄) και διασταλλάζοντα υγρά (στραγγίσματα) από την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των απορριμμάτων και από την εισχώρηση των νερών της βροχής στη

μάζα τους. Μέσω της πορείας των υγρών από τη μάζα των απορριμμάτων διαλύονται και μεταφέρονται διάφοροι ρύποι οι οποίοι μολύνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά επιβαρύνοντας σημαντικά το φυσικό περιβάλλον. [6]

1.3 Βιοδιασπάσιμα (οργανικά) απόβλητα και η έννοια της κυκλικής οικονομίας

Οργανικά ή βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα είναι αυτά που σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα μπορεί εύκολα να διασπαστεί φυσικά από το νερό, το οξυγόνο, τις ακτίνες του ήλιου, την ακτινοβολία ή από μικροοργανισμούς και άλλα έμβια όντα. Είναι τα πράσινα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα υπολείμματα τροφών και τα βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά. μπορεί να διασπαστεί σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό, μεθάνιο ή απλά οργανικά μόρια από μικροοργανισμούς και άλλα έμβια όντα με κομποστοποίηση, αερόβια χώνευση, αναερόβια χώνευση ή παρόμοιες διαδικασίες. Ανήκουν στα αστικά στερεά απόβλητα, όμως εξαιτίας της «ενεργής» φύσης τους και της ωφελιμότητάς τους χρίζουν ιδιαίτερης διαχείρισης με σκοπό την αξιοποίησή τους και όχι την εναπόθεση. [17]

Η ακατάλληλη διαχείριση των αστικών οργανικών αποβλήτων έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον στο οποίο απελευθερώνονται και μπορεί να προκαλέσει ρύπανση του αέρα, του νερού και του εδάφους, να επηρεάσει την κλιματική αλλαγή, τη λειτουργία των οικοσυστημάτων και ιδιαίτερα την ανθρώπινη υγεία. Η ορθολογική διαχείριση των συγκεκριμένων αποβλήτων έχει ως στόχο τη μείωση των ποσοτήτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής, την ανάκτηση πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων ενέργειας από αυτά, την πραγματοποίηση μεγάλης κλίμακας λιπασματοποίησης, ενώ βελτιώνει ποσοτικά και ποιοτικά τη διαδικασία της ανακύκλωσης. Τα οργανικά απόβλητα έπειτα από σωστή επεξεργασία σε συνδυασμό με ποσοστά υγρασίας, διοξειδίου του άνθρακα καθώς και με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας δημιουργούν τη γνωστή σε όλους βιομάζα όπου και αποτελεί είδος τροφοδοσίας (καύσιμο) για παραγωγή ενέργειας καθώς επίσης παρουσιάζουν διάφορες μορφές χρήσης σε εδαφολογικούς και περιβαλλοντικούς τομείς.

1.3.1 Τρόποι επεξεργασίας και διαχείρισης οργανικών αποβλήτων (βιομάζας)

Είναι σημαντικό να μπορέσουμε να αυξήσουμε την ποσότητα των βιοαποικοδομήσιμων απορριμμάτων, που οδηγούνται προς επεξεργασία, με σκοπό την ελαχιστοποίηση εκείνων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ. Υπό αυτές τις συνθήκες καταφέρνουμε να εξοικονομήσουμε πολύτιμο χώρο, εξαιτίας του μεγάλου όγκου που καταλαμβάνουν, αλλά και να επωφεληθούμε ενεργειακά από αυτά. Οι μέθοδοι επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων αποτελούνται από την ανακύκλωση, τη λιπασματοποίηση ή τη παραγωγή βιομεθανίου καθώς και ανάκτηση υλικών και ενέργειας.

Οι διαδικασία διαχείρισης των βιοαποικοδομήσιμων απορριμμάτων στοχεύει κυρίως στη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας του, με σκοπό καλύτερες συνθήκες αποθήκευσής του, όπου και οδηγεί στην μετέπειτα επεξεργασία του, αλλά και στην αύξηση της θερμαντικής αξίας του. Οι μέθοδοι επεξεργασίας διακρίνονται σε θερμοχημικές μεθόδους και βιοχημικές μεθόδους.

➤ Στις θερμοχημικές μεθόδους πραγματοποιούνται οξειδωτικές αντιδράσεις, οι οποίες επηρεάζονται και αλλάζουν ανάλογα με τη θερμοκρασία. Οι διεργασίες αυτές είναι κατάλληλες για βιομάζες με ποσοστό υγρασίας κάτω του 50% και αναλογία άνθρακα/αζώτου μεγαλύτερη από 30 ($C/N > 30$). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η απευθείας καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση και τα κύρια προϊόντα που λαμβάνουμε είναι κυρίως θερμότητα, ατμός και ξυλάνθρακας κατά την καύση και καύσιμα όπως μεθανόλη ενώ από μεθόδους όπως αεριοποίηση και πυρόλυση λαμβάνουμε υδρογονάνθρακες, σε υγρή ή αέρια μορφή και βιο-έλαιο από τα οποία παράγουμε ηλεκτρισμό και θερμότητα μέσω συμπαραγωγής σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Βέλτιστα αποτελέσματα λαμβάνουμε κυρίως από τη χρήση βιομάζας που προέρχεται από αγροτικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες, δασικά υπολείμματα, προϊόντα ανανεώσιμης υλοτομίας, οργανικό μέρος των απορριμμάτων και ξηρή ενεργός ύλη.

➤ Οι βιοχημικοί μέθοδοι εφαρμόζονται για ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας που κατέχει ποσοστό άνθρακα/αζώτου μικρότερο του 30 ($C/N > 30$) και διακρίνονται σε αναερόβια χώνευση (απουσία ατμοσφαιρικού οξυγόνου) και αλκοολική ζύμωση. Οι βιομάζες που χρησιμοποιούνται προέρχονται από μη-ξυλώδη αγροτικά υπολείμματα, μη-

ξυλώδεις ενεργειακές καλλιέργειες, αστικά απόβλητα (ενεργός ύλη), ζωικά απόβλητα και οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων.

Η βιομάζα υφίσταται **αναερόβια χώνευση** κατά την οποία η οργανική ύλη με δράση μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών, απουσία οξυγόνου, μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και μεθάνιο (CH₄) γνωστό και ως βιοαέριο. Το βιο καύσιμο αυτό χρησιμοποιείται σε μηχανές εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με άλλου είδους καύσιμα για παραγωγή ενέργειας (συμπαράγωγή) δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα και μειώνοντας έτσι τη χρήση συμβατικών μη ανανεώσιμων καυσίμων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι: το pH, η θερμοκρασία, χημική σύσταση της βιομάζας, τα θρεπτικά συστατικά (N,P), οι τοξικές ουσίες- παρεμποδιστές και ο τύπος του αντιδραστήρα.

Κατά τη διαδικασία της **αλκοολικής ζύμωσης** της βιομάζας μέσω της ζύμωσης σακχαρούχων, αμυλούχων ή κυτταρινούχων πρώτων υλών παράγεται ηνβιοαιθανόλη. Η θερμογόνος δύναμη της βιοαιθανόλης αποτελεί περίπου το 67% της θερμογόνου δύναμης της βενζίνης ανά μονάδα όγκου. Μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αντί της βενζίνης ή ως προσθετικό καυσίμου. Η βιοαιθανόλη μπορεί επίσης να αποτελέσει πρώτη ύλη για την δημιουργία βελτιωτικού βενζίνης με σκοπό την αύξηση των οκτανίων. Η παραγωγή της στην Ελλάδα μπορεί πραγματοποιηθεί με τη χρήση σιτηρών, αραβόσιτου, ζαχαρότευτλα και γλυκό σόργο. [16]

1.3.2 Κυκλική οικονομία και βιο-οικονομία

Η **κυκλική οικονομία** είναι ένα οικονομικό μοντέλο που εστιάζει στη μείωση της σπατάλης των πόρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία. Το μοντέλο αυτό θέτει δύο στόχους. Αρχικά, στη διατήρηση ενός προϊόντος σε καλή λειτουργική κατάσταση για μακρύ χρονικό διάστημα, στη χρησιμοποίηση προϊόντων για την παροχή υπηρεσιών σε πολλαπλούς χρήστες (sharing economy) και τη χρήση της υπηρεσίας που προσφέρει ένα προϊόν και όχι την κατοχή αυτού του ίδιου του προϊόντος. Έπειτα εστιάζει στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πόρων, φυτικών και ζωικών υποπροϊόντων και βιοαποικοδομήσιμων υλικών, την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση προϊόντων, αλλά και την παραγωγή ενέργειας από τα απόβλητα παραγωγικών διαδικασιών.

Η κυκλική οικονομία αποτελεί σε κάποιο βαθμό τη μετεξέλιξη της ανακύκλωσης, με τη διαφορά πως στην ανακύκλωση ένα χρησιμοποιημένο προϊόν αποσυντίθεται σε πρώτες ύλες που ανακτώνται προς επαναχρησιμοποίηση για την παραγωγή νέων προϊόντων. Στην κυκλική οικονομία, το προϊόν σχεδιάζεται εξ αρχής, έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται ανακατασκευή και επαναμεταποίηση, για να επαναχρησιμοποιηθεί ως καινούργιο. Ο επιχειρηματικός κόσμος οφείλει να εκμεταλλευτεί τις ευκαιρίες που προσφέρονται για την παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, και τη δημιουργία ανταγωνιστικών προϊόντων που θα διαρκούν πολύ περισσότερο. Αυτοκίνητα, υπολογιστές, οικιακές συσκευές, συσκευασίες και πολλά άλλα προϊόντα μπορούν να σχεδιαστούν με γνώμονα την ανθεκτικότητα, την επαναχρησιμοποίηση, την επισκευή, την ανακατασκευή και την ανακύκλωση. Μειώνεται έτσι, η αλόγιστη εξάντληση, ανεπιστρεπτί, των υπερκαταναλωτικών πόρων του πλανήτη και η καταστροφή της βιόσφαιρας λόγω της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της συνεπαγόμενης κλιματικής αλλαγής. Εκτός από τα οφέλη για το περιβάλλον, μπορεί να συμβάλει στην κοινωνική και οικονομική ευημερία, δημιουργώντας θέσεις απασχόλησης και να αποτελέσει πηγή ανάπτυξης και καινοτομίας.

Το πλαίσιο παρακολούθησης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία δείχνει ότι οι προσπάθειες για αυτή τη μετάβαση συνέβαλαν στην επιστροφή της ΕΕ σε πορεία δημιουργίας θέσεων εργασίας. Το 2016 οι τομείς που σχετίζονται με την κυκλική οικονομία απασχολούσαν περισσότερους από τέσσερα εκατομμύρια εργαζομένους, παρουσιάζοντας αύξηση της τάξης του 6% σε σύγκριση με το 2012. Κατά τα προσεχή έτη, πρόκειται να δημιουργηθούν πρόσθετες θέσεις εργασίας, προκειμένου να καλυφθεί η αναμενόμενη ζήτηση που δημιουργείται από πλήρως λειτουργικές αγορές δευτερογενών πρώτων υλών. Η κυκλικότητα δημιούργησε επίσης νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες, ανέδειξε νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ανέπτυξε νέες αγορές, τόσο εντός όσο και εκτός της ΕΕ. Το 2016, οι κυκλικές δραστηριότητες, όπως η επισκευή, η επαναχρησιμοποίηση ή η ανακύκλωση, δημιούργησαν προστιθέμενη αξία περίπου 147 δισ. ευρώ, ενώ η αξία των σχετικών επενδύσεων ανήλθε περίπου στα 17,5 δισ. ευρώ.

Στην Ευρώπη, η ανακύκλωση των αστικών αποβλήτων κατά την περίοδο 2008-2016 αυξήθηκε και η συνεισφορά των ανακυκλωμένων υλικών στη συνολική ζήτηση υλικών παρουσιάζει συνεχή βελτίωση. Ωστόσο, κατά μέσο όρο, τα ανακυκλωμένα υλικά

καλύπτουν μόνο το 12% της ζήτησης υλικών στην ΕΕ. Παρατηρείται ότι η πλήρης κυκλικότητα εφαρμόζεται μόνο στο 9% της παγκόσμιας οικονομίας, γεγονός που αφήνει τεράστια περιθώρια βελτίωσης. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα συνεχίσει να εργάζεται προς την κατεύθυνση ενός πλαισίου διευκόλυνσης της κυκλικής οικονομίας, το οποίο θα συνδυάζει κανονισμούς, έρευνα και καινοτομία, κίνητρα, ανταλλαγή πληροφοριών, και στήριξη για τις εθελοντικές προσεγγίσεις σε βασικούς τομείς. Απαιτούνται επίσης, νέα χρηματοοικονομικά και λογιστικά πλαίσια που θα ενθαρρύνουν την αποδοτική χρήση των πόρων και την κυκλικότητα αντί για την υπέρμετρη κατανάλωση. Με την εφαρμογή του προγράμματος εργασίας της περιόδου 2016-2019 για τον οικολογικό σχεδιασμό, η Επιτροπή προώθησε περαιτέρω τον κυκλικό σχεδιασμό των προϊόντων, μαζί με τους στόχους ενεργειακής απόδοσης. [23]



Εικόνα 10 - Απεικόνιση αναπαράσταση γραμμικής οικονομίας και κυκλικής οικονομίας [24]

Ως **βιοοικονομία** περιγράφεται η οικονομία η οποία στηρίζεται σε ανανεώσιμους φυσικούς πόρους για την παραγωγή αγαθών και προϊόντων και όχι πόρους, όπως το πετρέλαιο και τα ορυκτά. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση, η βιοοικονομία

αναφέρεται στη βιώσιμη και κυκλική διαχείριση φυσικών πόρων και αφορά τομείς όπως αγροτοβιομηχανία, ιχθυοκαλλιέργειες, τρόφιμα, υφαντουργία, ειδικά χημικά υλικά, φάρμακα, βιοδιυλιστήρια, βιοενέργεια και διαχείριση αποβλήτων. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει όλους τους βιομηχανικούς και οικονομικούς τομείς και τις σχετιζόμενες υπηρεσίες, οι οποίοι επεξεργάζονται φυσικές πηγές, όπως είναι οι θαλάσσιοι πόροι, τα εδάφη και τη χλωρίδα και πανίδα του πλανήτη.

Η βιοοικονομία μπορεί με βιολογικές και βιοτεχνολογικές λύσεις να αντιμετωπίσει άμεσα προβλήματα και προκλήσεις, όπως τη διασφάλιση της αειφορίας στην αγροτική παραγωγή, τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας ενός συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού, τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, τη μείωση των αποβλήτων, τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων, τον περιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τέλος τη βιώσιμη αλιεία, ως μέτρο για την υπεραλίευση και απογύμνωση των ακτών.

Η ενσωμάτωση της βιοοικονομίας στο αναπτυξιακό μοντέλο της Ελλάδας προϋποθέτει τη βέλτιστη συνεργασία της πολιτικής ηγεσίας με το επιστημονικό δυναμικό της χώρας και τους κοινωνικούς φορείς, καθώς επίσης και την εναρμόνιση με τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τη βιοοικονομία. Σύμφωνα με τις ανακοινώσεις του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το Κυβερνητικό Συμβούλιο Οικονομικής Πολιτικής (ΚΥΣΟΙΠ) ενέκρινε το πλαίσιο της δημόσιας πολιτικής για την κυκλική οικονομία (όπου συμπεριλαμβάνεται η βιοοικονομία) ως κομβικό στοιχείο της Αναπτυξιακής Στρατηγικής της χώρας, θέτοντας σε δημόσιο διάλογο το Εθνικό Επιχειρησιακό Σχέδιο 2018-2019, το οποίο συντονίζει και υλοποιεί ειδική διϋπουργική ομάδα. Απομένει να διαφανεί κατά πόσο πολιτεία, επιστήμη και καταναλωτές θα αγκαλιάσουν το μοντέλο της βιοοικονομίας και θα το χρησιμοποιήσουν ως θεμέλιο για την ανάπτυξη της αειφορίας των πόρων και της ομαλής εξέλιξης την κοινωνίας σε οικολογικά ωφέλιμη. Μερικά παραδείγματα εφαρμογής της βιοοικονομίας είναι:

- Κατασκευή ενδυμάτων από πρωτεΐνες γάλακτος που δεν είναι κατάλληλες προς κατανάλωση, τα οποία είναι πολύ φιλικά προς το δέρμα.

- Παραγωγή των ελαστικών τμημάτων των αθλητικών παπουτσιών από φλοιούς ρυζιού, οι οποίοι δε χρησιμοποιούνται αλλά καταλήγουν στα απορρίμματα κατά τόνους κάθε χρόνο.
 - Χρήση υπολειμμάτων του καφέ για την παραγωγή αθλητικών ρούχων υψηλής ποιότητας.
 - Παραγωγή υλικών, όπως βιοπλαστικά, με τη χρήση ενζύμων ή γενετικά τροποποιημένων μικροοργανισμών, μια διαδικασία που υποκαθιστά τις ενεργοβόρες χημικές διαδικασίες.
 - Διάσπαση των αποβλήτων και μετατροπή αυτών σε ενέργεια ή/και προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας, με την εφαρμογή της βιοτεχνολογίας.
 - Χρήση εντόμων και φυκιών ως εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης για την παραγωγή λειτουργικών τροφίμων.
 - Χρήση φυκιών για την παραγωγή επίπεδων πάνελ και την κατασκευή προϊόντων, όπως θήκες κινητών, σκελετούς γυαλιών κ.λπ.
 - Χρήση αλγών στην παραγωγή βιοκαυσίμων.
 - Μετατροπή του ξύλου σε προϊόντα χαρτιού και προϊόντων υγιεινής φροντίδας.
- [24]

Στον τομέα που δραστηριοποιούμαστε σκοπό έχουμε να μειώσουμε την ποσότητα των στερεών αποβλήτων και να επωφεληθούμε από αυτά χρησιμοποιώντας τα για παραγωγή ενέργειας και για εδαφολογική ανάπτυξη. Αρκετά από τα κριτήρια τα οποία απαιτούνται για την εκμετάλλευση των στερεών αποβλήτων, προς βιοσημότερες μεθόδους, πληρούνται από τα αστικά απόβλητα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του υπερμεγέθους όγκου των βιοδιασπάσιμων (οργανικών) απορριμμάτων και των εξαιρετικά χρήσιμων χημικών και βιοχημικών ιδιοτήτων τους. Σκοπός είναι να συγκεντρώσουμε μεγάλες ποσότητες οργανικής επεξεργάσιμης ύλης (βιομάζας) ώστε να μπορέσουμε να παράγουμε ενέργεια σε επιθυμητό επίπεδο. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων μπορεί να περιγραφεί ως ο τρόπος με τον οποίο τα στερεά απόβλητα μπορούν να αλλάξουν μορφή και να χρησιμοποιηθούν ως πολύτιμος πόρος για παραγωγή ενέργειας.

2. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1 Εφαρμογή της μεθόδου

Η υδροθερμική επεξεργασία αποτελεί μία καινοτόμος μέθοδος θερμοχημικής επεξεργασίας η οποία δε χρησιμοποιεί κανένα καταλύτη ή χημικό πρόσθετο, κάτι το οποίο την καθιστά μια φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο και με ελάχιστο κόστος. [25] Η υδροθερμική ανθρακοποίηση (HTC) είναι μια διαδικασία θερμοχημικής μετατροπής που χρησιμοποιεί θερμότητα για τη μετατροπή των πρώτων υλών υγρής βιομάζας σε εξανθράκωμα. Η HTC εκτελείται σε έναν αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 180 έως 250°C, υπό αυτογενή (αυτόματα παραγόμενη) πίεση, με χρόνο παραμονής της πρώτης ύλης που κυμαίνεται από 0,5 έως 8 ώρες. Το κύριο πλεονέκτημα της HTC έναντι άλλων τεχνικών θερμοχημικής μετατροπής υψηλής θερμοκρασίας, όπως η πυρόλυση, είναι ότι η διαδικασία HTC επεξεργάζεται τα υγρά απόβλητα χωρίς προξήρανση των πρώτων υλών. Μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένης της νωπής βιομάζας, των γεωργικών υπολειμμάτων, των βιομηχανικών και ζωικών αποβλήτων, ακόμα και των οικιακών είναι κατάλληλες για υδροθερμική επεξεργασία. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της υδροθερμικής επεξεργασίας είναι ότι παράγονται ελάχιστα αέρια παραπροϊόντα, καθώς το μεγαλύτερο μέρος αυτών διαλύεται στην υδατική φάση (δεδομένου ότι η επεξεργασία γίνεται σε κλειστό αντιδραστήρα). Το νερό λειτουργεί ως καλό μέσο για τη μεταφορά θερμότητας στην HTC, αλλά εάν η μεταβλητότητα στο μέγεθος των σωματιδίων της πρώτης ύλης είναι πολύ μεγάλη και ο χρόνος αντίδρασης είναι πολύ μικρός, ενδέχεται να υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί μεταφοράς μάζας. Ως εκ τούτου, το μέγεθος των σωματιδίων πρέπει να είναι ομοιογενές για να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη μεταφορά θερμότητας και μάζας. [26]

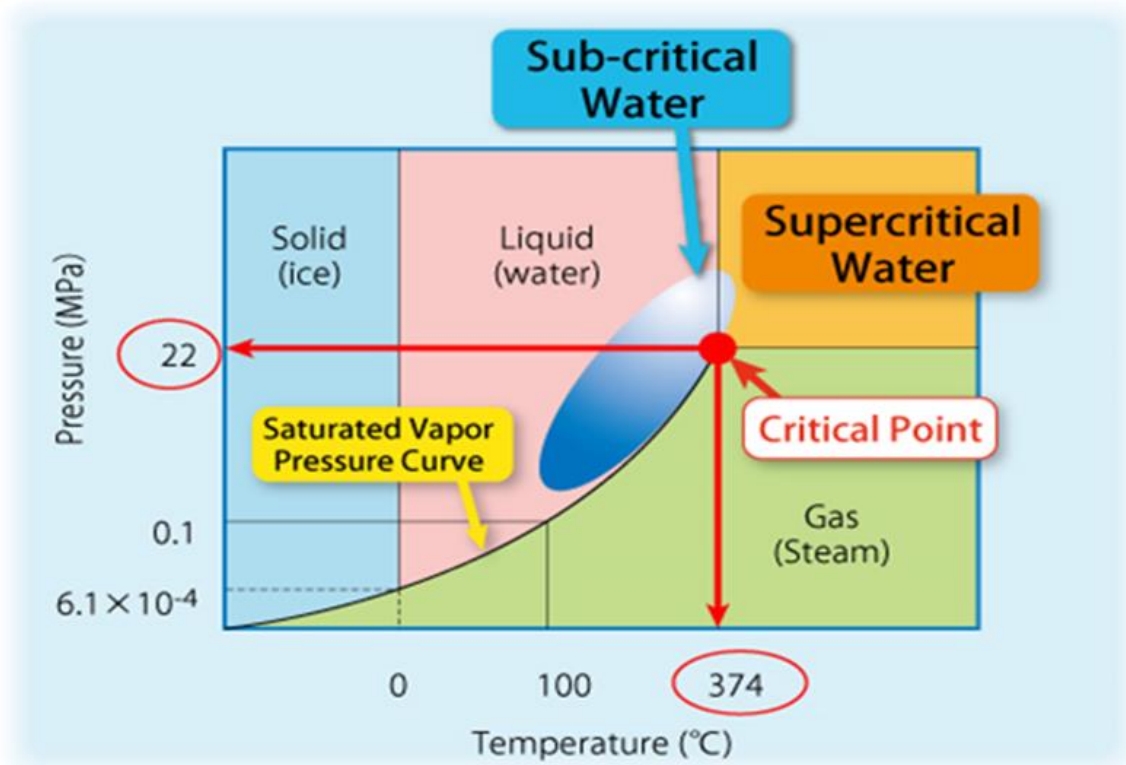
Η πρώτη ύλη που τροφοδοτείται στον αντιδραστήρα θερμαίνεται σε μια καθορισμένη θερμοκρασία και διατηρείται για έναν καθορισμένο χρόνο παραμονής. Κατά τη διάρκεια της HTC παράγονται αέρια (κυρίως CO₂) και μία ημιστερεή μάζα. Το προϊόν αυτό αποξηραίνεται για να παραχθεί το βιοεξανθράκωμα (biochar). Πολλαπλές αντιδράσεις συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της διεργασίας HTC, δηλαδή υδρόλυση (αντίδραση με νερό), αφυδάτωση (απομάκρυνση νερού), αποκαρβοξυλίωση (αφαίρεση καρβοξυλικών

ομάδων που οδηγεί στην απελευθέρωση CO₂) και αρωματοποίηση (σχηματισμός αρωματικών ενώσεων). Αυτές οι αντιδράσεις συμβαίνουν υπό υψηλή θερμοκρασία και πίεση και παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση της αναλογίας υδρογόνου προς άνθρακα (H/C) και οξυγόνου προς άνθρακα (O/C) για την παραγωγή του πλούσιου σε άνθρακα εξανθρακώματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υδροθερμική επεξεργασία σε βιομηχανική κλίμακα ακολουθεί ακριβώς τα ίδια βήματα και η τεχνική της μεθόδου είναι παρεμφερής με την εργαστηριακής κλίμακας διάταξη, συνεπώς τα δείγματα και οι ανάλογες μετρήσεις αποδεικνύονται άκρως αντιπροσωπευτικές και αξιόπιστες. [26]

2.2 Υποκρίσιμο και υπερκρίσιμο νερό

Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία υδροθερμικής επεξεργασίας διαδραματίζουν τα υποκρίσιμα / υπερκρίσιμα ρευστά που βρίσκονται στον αντιδραστήρα κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Υπερκρίσιμο ρευστό είναι οποιαδήποτε ουσία σε μία θερμοκρασία και πίεση άνω του κρίσιμου σημείου, όπου διακριτή αέρια και υγρή φάση δεν υπάρχουν. Σε συνθήκες ισορροπίας υγρής και αέριας κατάστασης, για μία καθαρή ουσία, αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία, για να διατηρηθεί η ισορροπία θα αυξηθεί και η πίεση. Όσο εξελίσσεται αυτή η διαδικασία ένα υγρό μέρος της ουσίας διαλύεται στην αέρια φάση, ενώ ένα αέριο μέρος διαλύεται στην υγρή. Από τη διεργασία αυτή 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. [27]

Υποκρίσιμο νερό είναι το νερό υγρής φάσης υπό πίεση σε θερμοκρασίες μεταξύ του σημείου βρασμού, 100°C, και της κρίσιμης θερμοκρασίας του, 374°C. 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.



Εικόνα 11 - Υποκρίσιμο και υπερκρίσιμο νερό [27]

Πολλές από τις ιδιαιτερότητες του νερού οφείλονται σε πολύ ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου. Κατά τη διάρκεια του υπερθερμασμένου εύρους θερμοκρασίας, οι δεσμοί υδρογόνου σπάνε, αλλάζοντας τις ιδιότητες περισσότερο από ό,τι συνήθως αναμενόταν με την αύξηση της θερμοκρασίας μόνο. Το νερό γίνεται λιγότερο πολικό και συμπεριφέρεται περισσότερο σαν οργανικός διαλύτης όπως η μεθανόλη ή η αιθανόλη. Η διαλυτότητα των οργανικών υλικών και αερίων αυξάνεται σημαντικά και το ίδιο το νερό μπορεί να λειτουργήσει ως διαλύτης, αντιδραστήριο και καταλύτης σε βιομηχανικές και αναλυτικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της εκχύλισης, των χημικών αντιδράσεων και του καθαρισμού. [28]

Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού παρατηρούνται έντονες αλλαγές σε ποικίλες χαρακτηριστικές του ιδιότητες. Το ιξώδες, η επιφανειακή τάση της πτώσης του νερού και η διάχυση αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ο αυτό-ιονισμός του νερού αυξάνεται επίσης. Παράλληλα με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται και η αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων H^+ και μείωση του pH (το επίπεδο του

υδροξειδίου (OH-) που αυξάνεται ανάλογα, με αποτέλεσμα το νερό να εξακολουθεί να είναι ουδέτερο). Η ειδική θερμοχωρητικότητα σε σταθερή πίεση αυξάνει επίσης με τη θερμότητα, από 4,187 KJ/kg στους 25°C σε 8,138 KJ/kg στους 350°C. Άλλη μία σημαντική επίδραση στην συμπεριφορά του νερού σε υψηλές θερμοκρασίες είναι η μείωση της διηλεκτρικής σταθεράς.

Σε θερμοκρασίες κάτω από 300°C, το νερό είναι αρκετά ασυμπίεστο, και η πίεση έχει μικρή επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του, με την προϋπόθεση ότι η πίεση είναι επαρκής για να διατηρήσει το νερό σε υγρή κατάσταση. Η πίεση κορεσμένων ατμών στους 121°C είναι 200 kPa, στους 150°C είναι 470 kPa, στους 200°C είναι 1550 kPa. Το κρίσιμο σημείο είναι 21,7 Mpa σε θερμοκρασία 374°C, πάνω από την οποία το νερό είναι υπερκρίσιμο αντί υπέρθερμο. Πάνω από τους 300°C, το νερό αρχίζει να συμπεριφέρεται ως ένα σχεδόν κρίσιμο υγρό και οι φυσικές ιδιότητες, όπως η πυκνότητα αρχίζουν να αλλάζουν σημαντικά με μεγαλύτερη πίεση. Στον παρακάτω πίνακα, εμφανίζονται οι κρίσιμες ιδιότητες για μερικά συστατικά, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως ως υπερκρίσιμα ρευστά. [27]

Διαλύτης	Μοριακό Βάρος (g/mol)	Κρίσιμη θερμοκρασία (K)	Κρίσιμη πίεση (MPa) / (atm)	Κρίσιμη πυκνότητα (g/cm ³)
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO ₂)	44,01	304,1	7,38 (72,8)	0,469
Νερό(H ₂ O)(σύμφωνα IAPWS)	18,015	647,096	22,064 (217,755)	0,322
Μεθάνιο (CH ₄)	16,04	190,4	4,60 (45,4)	0,162
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	30,07	305,3	4,87 (48,1)	0,203
Προπάνιο (C ₃ H ₈)	44,09	369,8	4,25 (41,9)	0,217
Αιθυλένιο (C ₂ H ₄)	28,05	282,4	5,04 (49,7)	0,215
Προπυλένιο (C ₃ H ₆)	42,08	364,9	4,60 (45,4)	0,232
Μεθανόλη (CH ₃ OH)	32,04	512,6	8,09 (79,8)	0,272
Αιθανόλη (C ₂ H ₅ OH)	46,07	513,9	6,14 (60,6)	0,276
Ακετόνη (C ₃ H ₆ O)	58,08	508,1	4,70 (46,4)	0,278

Πίνακας 1 - Κρίσιμες ιδιότητες των διαφόρων διαλυτών [27]

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

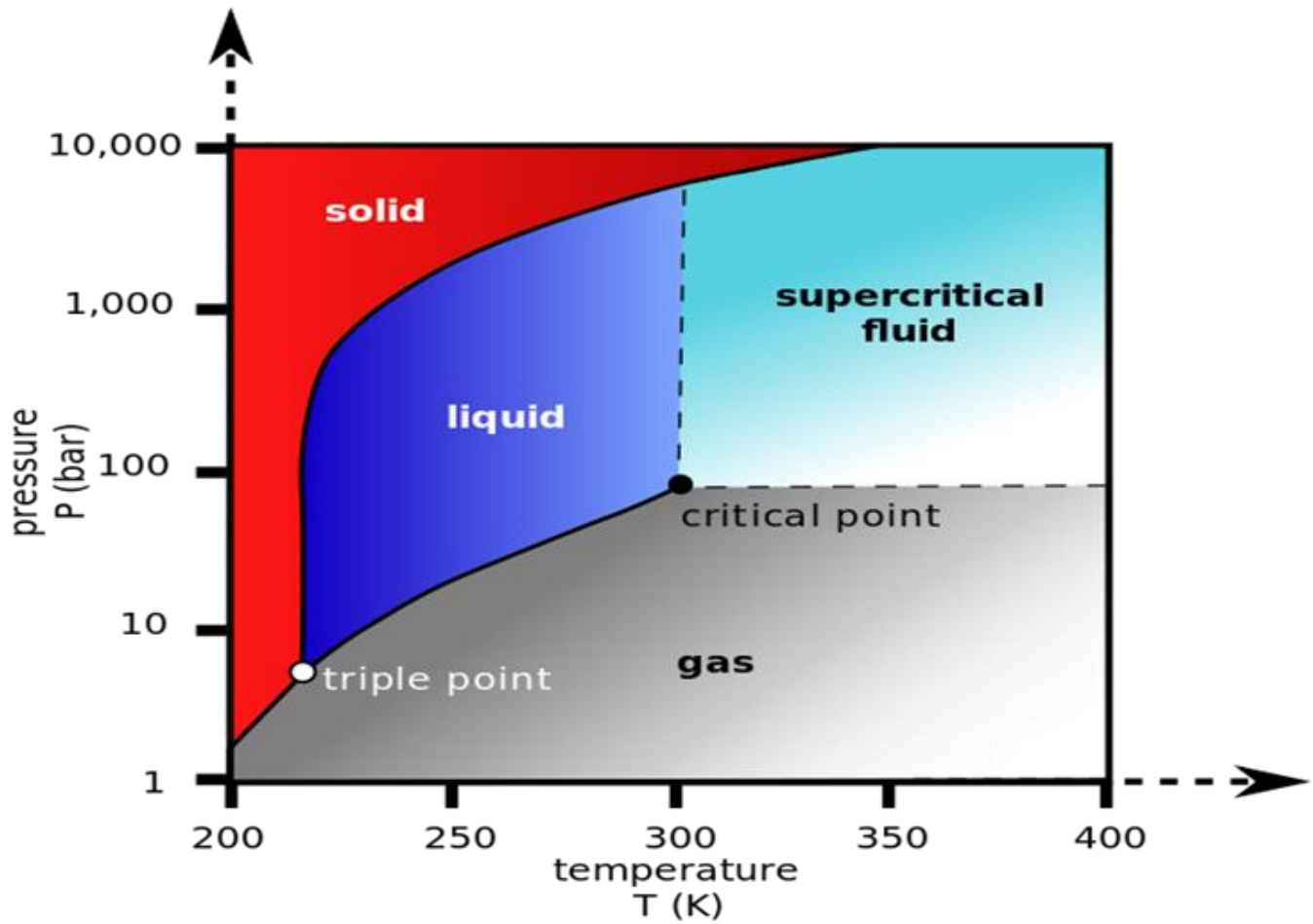
	Πυκνότητα (kg/m ³)	Ιξώδες (μPa · s)	Διαχυτότητα (mm ² /s)
Αέρια	1	10	1,0-10
Υπερκρίσιμα Υγρά	100-1000	50-100	0,01-0,1
Υγρά	1000	500-1000	0,001

Πίνακας 2 - Σύγκριση των αερίων, υπερκρίσιμων υγρών και υγρών [27]

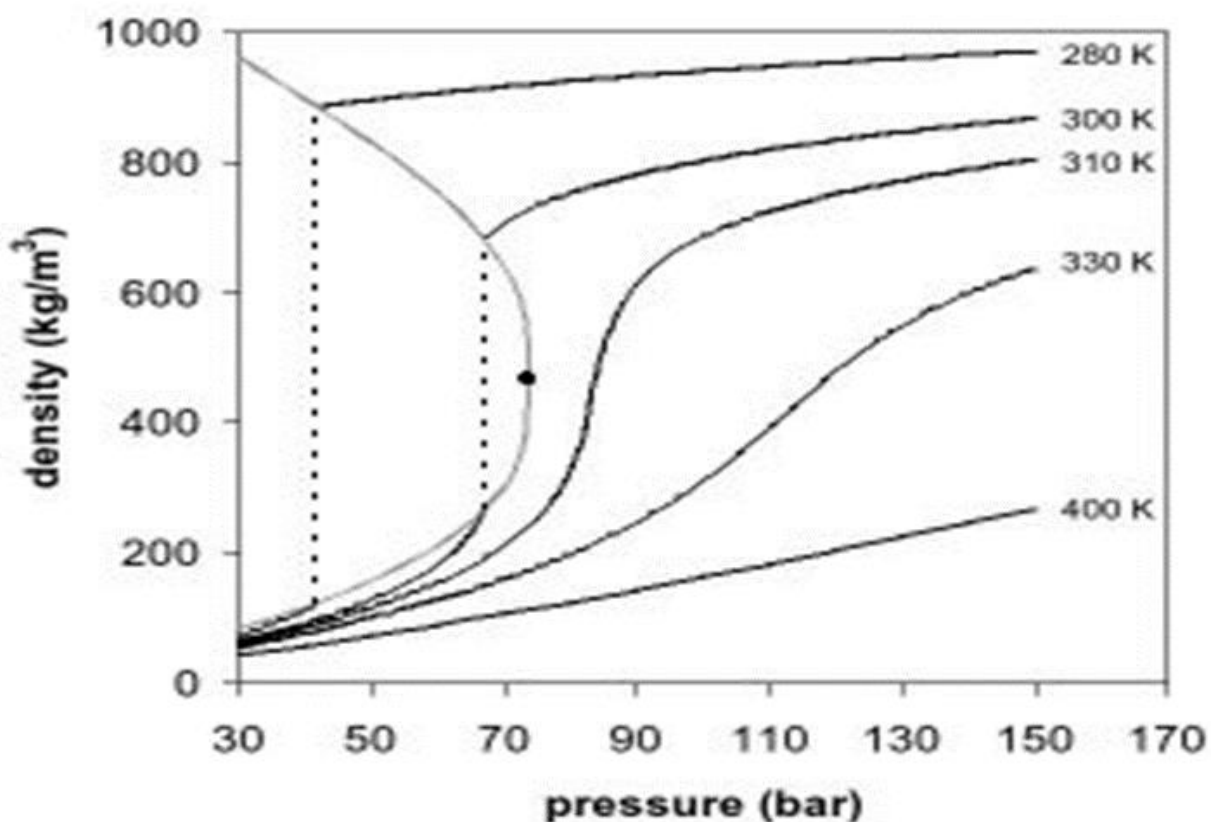
Με την αλλαγή της πίεσης και της θερμοκρασίας του ρευστού, οι ιδιότητες μπορούν να ρυθμιστούν είτε προς την υγρή ή προς την αέρια μορφή καθώς δεν υπάρχει επιφανειακή τάση σε ένα υπερκρίσιμο ρευστό, επομένως δεν υπάρχει και όριο στην φάση υγρού/αερίου. Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό σε ένα υπερκρίσιμο ρευστό είναι η διαλυτότητα η οποία 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 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 73,8 bar (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 συνδεδεμένα 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.



Εικόνα 12 - Διάγραμμα φάσεων πίεσης-θερμοκρασίας του διοξειδίου του άνθρακα [27]



Εικόνα 13 - Διάγραμμα φάσεων πυκνότητας-πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα [27]

Κατά την ολοκλήρωση της υδροθερμικής επεξεργασίας βιομάζας παράγεται ένα σταθεροποιημένο στερεό υλικό (hydrochar) το οποίο παρουσιάζει μεγαλύτερη υδροφοβικότητα από το αρχικό υλικό και υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Το υγρό κλάσμα που συμπαράγεται περιέχει τοξικές ουσίες όπως φαινόλες, φουρφουράλες και τα παράγωγά τους και μπορεί να οδηγηθεί προς αναερόβια χώνευση με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου. [25]

Η απόδοση του hydrochar ορίζεται ως την αναλογία στερεού υλικού προς το ξηρό βάρος της αρχικής βιομάζας. Επηρεάζεται από τον τύπο της βιομάζας, το ποσοστό στερεής μάζας (αναλογία βιομάζας προς νερό), τη θερμοκρασία της διεργασίας και τον χρόνο παραμονής. Γενικά, η απόδοση σε hydrochar μειώνεται με δραστικές αλλαγές των συνθηκών διεργασίας, π.χ υψηλότερη θερμοκρασία και μεγαλύτερο χρόνο παραμονής, που αποσυνθέτει περισσότερα από τα κυτταρινικά και ημικυτταρινικά κλάσματα στην πρώτη ύλη. Παρατηρείται ότι ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες και μεγαλύτερους

χρόνους παραμονής συναντάμε χαμηλότερη απόδοση, το hydrochar φαίνεται να παρουσιάζει υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα με υψηλότερη τιμή θέρμανσης (Higher Heating Value). Ο τύπος που ορίζει την απόδοση είναι ο εξής:

$$\text{Απόδοση Hydrochar (\%)} = \frac{\text{Βάρος Hydrochar}}{\text{Βάρος ξηρής πρώτης ύλης}}$$

Το ισοζύγιο μάζας και οι απαιτήσεις ενέργειας για τη διαδικασία της υδροθερμικής επεξεργασίας ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση της πρώτης ύλης, τη φόρτωση στερεών (ποσοστό νερού σε κάθε βιομάζα), το μέγεθος του αντιδραστήρα, την επιθυμητή ποιότητα προϊόντος, τον χρόνο παραμονής και τη θερμοκρασία λειτουργίας.

2.3 Πλεονεκτήματα υδροθερμικής επεξεργασίας

Τα οφέλη της υδροθερμικής επεξεργασίας είναι πολλαπλά και καλύπτουν διάφορες ανάγκες. Κάποια από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

Ενισχυμένη υδροφοβικότητα: Το βιο-εξανθράκωμα έχει λιγότερη υγρασία και είναι πιο υδρόφοβος από την ακατέργαστη πρώτη ύλη. Αυτά τα χαρακτηριστικά μειώνουν το κόστος μεταφοράς και βελτιώνουν τη διάρκεια ζωής εμποδίζοντας τη διαβρεξιμότητα και τη σήψη κατά την αποθήκευση. Ωστόσο, η επίτευξη αυτών των χαρακτηριστικών απαιτεί τη χρήση αντιδραστήρων και μηχανικού εξοπλισμού, όπως μια πρέσα φίλτρου, που καθιστά τη διεργασία εντατική ενέργεια. [26]

Υψηλή ανάκτηση θρεπτικών συστατικών: Η υδροθερμική επεξεργασία προάγει την ενισχυμένη ανάκτηση θρεπτικών συστατικών καθώς το στερεό (hydrochar) όσο και το υγρό προϊόν διαθέτουν βασικά θρεπτικά συστατικά, όπως φώσφορο, κάλιο και άζωτο, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των φυτών. [26]

Αποφυγή της προξήρανση πρώτης ύλης: Δεν απαιτεί προξήρανση βιομάζας και μπορεί να χρησιμοποιηθούν πρώτες ύλες ποικίλης περιεκτικότητας σε υγρασία, γεγονός που εξοικονομεί ενέργεια και κόστος για την ξήρανση πριν από την επεξεργασία. Αυτό αποτελεί και ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του HTC σε σύγκριση με άλλες

μεθόδους θερμοχημικής επεξεργασίας που απαιτούν ξηρές πρώτες ύλες για την παραγωγή άνθρακα. [26]

Βελτιωμένη απόδοση αφυδάτωσης: Ενισχύεται η απόδοση αφυδάτωσης των ακατέργαστων πρώτων υλών και βοηθάτε η απελευθέρωση του δεσμευμένου νερού, επομένως είναι εξαιρετικά ωφέλιμο για τη διαχείριση βιοστερεών.

Χαμηλότερος περιβαλλοντικός αντίκτυπος: Η υδροθερμική επεξεργασία καταφέρνει να ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομάζας αποβλήτων, καθώς ανακτά περισσότερη ενέργεια και εκπέμπει πολύ λιγότερους ρύπους και οσμές, από την αποτέφρωση, την υγειονομική ταφή και την κομποστοποίηση. [26]

Μελέτες εργαστηριακής κλίμακας δείχνουν ότι ο υδρογονάνθρακας που παράγεται μέσω της μεθόδου αυτής έχει τη δυνατότητα για ποικίλες εφαρμογές. Ωστόσο, μέχρι σήμερα, υπάρχουν μόνο λίγα συστήματα HTC εμπορικής κλίμακας και οι πληροφορίες για τις πραγματικές εφαρμογές είναι περιορισμένες. Λαμβάνουμε όμως ένα εύρος προϊόντων με πλούσια οφέλη όπως:

Προσροφητικός ενεργός άνθρακας: Το βιο-εξανθράκωμα που προέρχεται από απόβλητα βιομάζας, όταν ενεργοποιείται, έχει τη δυνατότητα ως προσροφητικό για την αποκατάσταση των θρεπτικών συστατικών, π.χ. φωσφορικά άλατα από το νερό απορροής, τις βαφές, τα βαρέα μέταλλα και τα φαρμακευτικά απόβλητα.

Εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες: Η χρήση hydrochar μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του εδάφους ενισχύοντας τις ιδιότητες κατακράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων. Ωστόσο, ο άνθρακας μπορεί να περιέχει τοξικές ενώσεις που θα μπορούσαν να περιορίσουν τη χρήση του ως βελτιωτικό του εδάφους, οπότε η χρήση του πραγματοποιείται υπο ελεγχόμενες συνθήκες.

Βιοενεργειακή πρώτη ύλη: Ανάλογα με την πρώτη ύλη, το hydrochar έχει θερμογόνο δύναμη στην περιοχή από 6.450–12.900 BTU/lb. (15–30 MJ/kg), που είναι ελαφρώς υψηλότερο από τις τυπικές πρώτες ύλες, οι οποίες κυμαίνονται από 5.550 έως 8.200 BTU/lb. (13–19 MJ/kg), αλλά είναι χαμηλότερο από τον ασφαλτούχο άνθρακα κυμαίνεται από 12.900 έως 15.000 BTU/lb. (30–35 MJ/kg). Ωστόσο, ορισμένα βιο-εξανθράκωμα έχουν επαρκή ενεργειακή περιεκτικότητα για να χρησιμοποιηθούν ως

στερεό καύσιμο. Επιπλέον, το hydrochar μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για τη σύνθεση υγρών καυσίμων (βιο-έλαιο, καύσιμο μείγματος) και αερίων καυσίμων (syngas).

Δεσμευτικό άνθρακα: Η δέσμευση άνθρακα ουσιαστικά περιλαμβάνει δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα. Το hydrochar είναι πλούσιο σε άνθρακα και έχει την ικανότητα να προσροφά CO₂, καθιστώντας το ένα αποτελεσματικό υλικό για τη δέσμευση άνθρακα.

Παρουσιάζονται πολλά οφέλη και ευκολίες στη χρήση της υδροθερμικής επεξεργασίας για διάφορων ειδών βιομάζας, ωστόσο υπάρχουν αβεβαιότητες που σχετίζονται με τη δυναμική μεταφοράς θερμότητας, τις αποδόσεις προϊόντων και το κόστος παραγωγής υδρογονανθράκων σε εμπορική κλίμακα. Εκτενέστερες εργαστηριακές μελέτες για συνδυασμούς διαφορετικών πρώτων υλών, αντιδραστήρων μεγάλης κλίμακας και αποτελεσματικών μεθόδων παραγωγής υδρογονανθράκων θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας και στη μείωση των απαιτήσεων σε πόρους και του κόστους, με σκοπό τη χρήση της μεθόδου στην αγορά.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κατά το πειραματικό μέρος, δείγματα υπολείμματος καφέ υποβλήθηκαν σε υδροθερμική επεξεργασία με σκοπό τη μέτρηση της απόδοσης του παραγόμενου στερεού προϊόντος αλλά και την περιεκτικότητα του υγρού προϊόντος σε στοιχεία όπως το pH, η αγωγιμότητα, το ποσοστό άνθρακα (C %), το ποσοστό υδρογόνου (H %), το ποσοστό αζώτου (N %), καθώς και το ποσοστό οξυγόνου (O%) και τέφρας. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε δείγματα ίδιου περιόπου βάρους αρχικής βιομάζας, σε διαφορετικές θερμοκρασίες, 150°C και 200°C και για κάθε ομάδα θερμοκρασίας το κάθε δείγμα είχε διαφορετικό χρόνο παραμονής στον αντιδραστήρα μέσα στον φούρνο. Η διάρκεια παραμονής των δειγμάτων ανέρχεται αντίστοιχα σε 2, 6, 12 και 24 ώρες.

3.1 Συνθήκες υδροθερμικής επεξεργασίας

Σε κάθε σειρά μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν έξι αντιδραστήρες της εταιρείας Swagelok από ανοξείδωτο χάλυβα, που φορτώθηκαν με 10 gr καφέ και 10 ml απιονισμένο νερό ο καθένας. Στη συνέχεια έκλειναν οι αντιδραστήρες αεροστεγώς με ιδιαίτερη προσοχή και πραγματοποιούνταν προθέρμανση του φούρνου ξήρανσης στην απαιτούμενη θερμοκρασία (150°C ή 200°C). Μόλις ο φούρνος έφτανε την επιθυμητή θερμοκρασία, άνοιγε η πόρτα και γινόταν η τοποθέτηση των αντιδραστήρων. Κατά το κλείσιμο της πόρτας του φούρνου, ξεκινούσε η χρονομέτρηση έως τους προεπιλεγμένους χρόνους παραμονής (2, 6, 12 ή 24 ώρες). Με την ολοκλήρωση του χρόνου παραμονής, άνοιγε η πόρτα και γινόταν αφαίρεση του κάθε αντιδραστήρα, ο οποίος βυθιζόταν σε παγόλουτρο με σκοπό τη γρήγορη επαναφορά του σε θερμοκρασία δωματίου και τη διακοπή των αντιδράσεων μετατροπής της βιομάζας σε hydrochar. Κατόπιν, ο αντιδραστήρας ανοιγόταν προσεκτικά (λόγων πιθανής αυξημένης πίεσης εντός του, ακόμα και μετά την επαναφορά του σε θερμοκρασία δωματίου) και γινόταν διήθηση της επεξεργασμένης βιομάζας, με σκοπό το διαχωρισμό της στερεής φάσης (hydrochar) και της υγρής φάσης (υπόλειμμα υδροθερμικής επεξεργασίας). Μετά τη διαλογή του hydrochar από τον κάθε αντιδραστήρα πραγματοποιούνταν ξήρανση του σε θερμοκρασία 105°C για 12 ώρες. Έπειτα γινόταν καταγραφή και χαρακτηρισμός του προϊόντος και τέλος τοποθέτησή σε αεροστεγή δοχεία για διαχωρισμό και φύλαξη.



Εικόνα 14 - Αντιδραστήρες Swagelok που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων [27]

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Πίνακες αποτελεσμάτων

Πίνακας αποτελεσμάτων δειγμάτων καφέ στους 150 ⁰ C.									
Δείγμα	Χρόνος (ώρες)	Απόδοση (yield%)	pH	Αγωγιμότητα (mS)	C (%)	H (%)	N (%)	Τέφρα (%)	O (%)
Αρχικό δείγμα καφέ	0	-	6,6	1,5	56,1	6,95	1,17	1,85	33,93
150 – 2	2	92	4,9	1,81	58,5	5,46	0,92	2,21	32,91
150-6	6	80	4,1	1,78	60,1	5,18	1	2,4	31,32
150-12	12	70	4	1,62	63,5	5,3	1,06	2,45	27,69
150-24	24	68	4	2,05	64	5,13	0,94	2,5	27,43

Πίνακας 3 – Αποτελέσματα μετρήσεων στους 150⁰C

Πίνακας αποτελεσμάτων δειγμάτων καφέ στους 200 ⁰ C.									
Δείγμα	Χρόνος (ώρες)	Απόδοση (yield%)	pH	Αγωγιμότητα (mS)	C (%)	H (%)	N (%)	Τέφρα (%)	O (%)
Αρχικό δείγμα καφέ	0	-	6,6	1,5	56,1	6,95	1,17	1,85	33,93
200 – 2	2	88	4,3	1,9	62,2	4,93	1,01	2,65	29,21
200-6	6	74	3,8	1,84	65,9	4,41	1,06	2,71	25,92
200-12	12	62	3,4	1,78	68,7	4,52	1,11	2,69	22,98
200-24	24	61	3,4	2,03	70,4	4,73	1,12	2,98	20,77

Πίνακας 4 - Αποτελέσματα μετρήσεων στους 150⁰C

4.2 Ανάλυση δεδομένων

Με βάση τις αναλύσεις που παρουσιάζονται στους πίνακες 3 και 4, σχεδιάστηκαν διαγράμματα για κάθε μία παράμετρο σε συνάρτηση με το χρόνο, για τις 2 πειραματικές θερμοκρασίες (150⁰C και 200⁰C).

Σε ότι αφορά το Διάγραμμα 1 (pH-χρόνου) φαίνεται η πτώση της τιμής του pH με τη πάροδο του χρόνου με μία τάση εξισορρόπησης μετά την επεξεργασία των 12 ωρών. Η

πτώση των τιμών pH οφείλεται στη παραγωγή οργανικών οξέων (κυρίως οξικού αλλά και άλλων) και είναι ελαφρώς εντονότερη στη θερμοκρασία των 200 βαθμών Κελσίου. Μετά την επεξεργασία των 12 ωρών δεν παρατηρείται πτώση των τιμών pH, πιθανόν λόγω της περαιτέρω διάσπασης των ήδη παραχθέντων οξέων σε CO₂ και H₂O, φαινόμενο το οποίο ισορρόπησε την ταυτόχρονο παραγωγή οξέων από την αρχική βιομάζα. Ενδεικτικά, μετά το άνοιγμα των αντιδραστήρων που αντιστοιχούσαν στις 12 και 12 ώρες επεξεργασίας, παρατηρήθηκε αυξημένη πίεση εντός τους και έντονη απελευθέρωση αερίων. Οι τιμές των pH είναι χαμηλές και τα υλικά μπορούν να εφαρμοσθούν μόνο σε αλκαλικά εδάφη, με σκοπό την ελαφρά μείωση του pH τους. Σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να προστεθούν σε όξινα εδάφη, καθώς θα υπήρχε κίνδυνος περαιτέρω μείωσης του pH τους και δημιουργία αρνητικών συνεπειών σε καλλιέργειες.

Αναφορικά με την διακύμανση της αγωγιμότητας σε σχέση με το χρόνο (Διάγραμμα 2), παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση μεταξύ του δείγματος που αντιστοιχεί στις 2 ώρες και του δείγματος που αντιστοιχεί στις 24 ώρες επεξεργασίας. Εντούτοις, η διαφορά τους είναι μικρή, 1.5 και 2 mS/cm αντίστοιχα. Η ύπαρξη αυτών των τιμών αγωγιμότητας προέρχεται από τη διαλυτοποίηση στερεών κατά τη μετατροπή του καφέ σε hydrochar και κρίνεται σχετικά υψηλή για εδαφική εφαρμογή.

Παρόμοια, η μεταβολή του άνθρακα (Διάγραμμα 3) είναι μικρή και ελαφρώς πιο ταχεία στους 200 βαθμούς Κελσίου. Η μεγαλύτερη τιμή που επιτυγχάνεται είναι 64 και 70%, μετά από 24 ώρες επεξεργασία σε 150 και 200 βαθμούς Κελσίου, αντίστοιχα. Αυτό αποτελεί μια ένδειξη ότι πιθανόν η υδροθερμική επεξεργασία να αποτελεί μια μεθοδολογία αποθήκευσης άνθρακα σε σταθερότερη μορφή, ειδικά εάν την συγκρίνουμε με την ανεξέλεγκτη απόρριψη του αποβλήτου καφέ σε ένα ΧΥΤΑ. Επιπλέον, η ύπαρξη άνθρακα πιθανόν να μπορεί να εμπλουτίσει μεσομακροπρόθεσμα την υφιστάμενη οργανική ύλη του εδάφους.

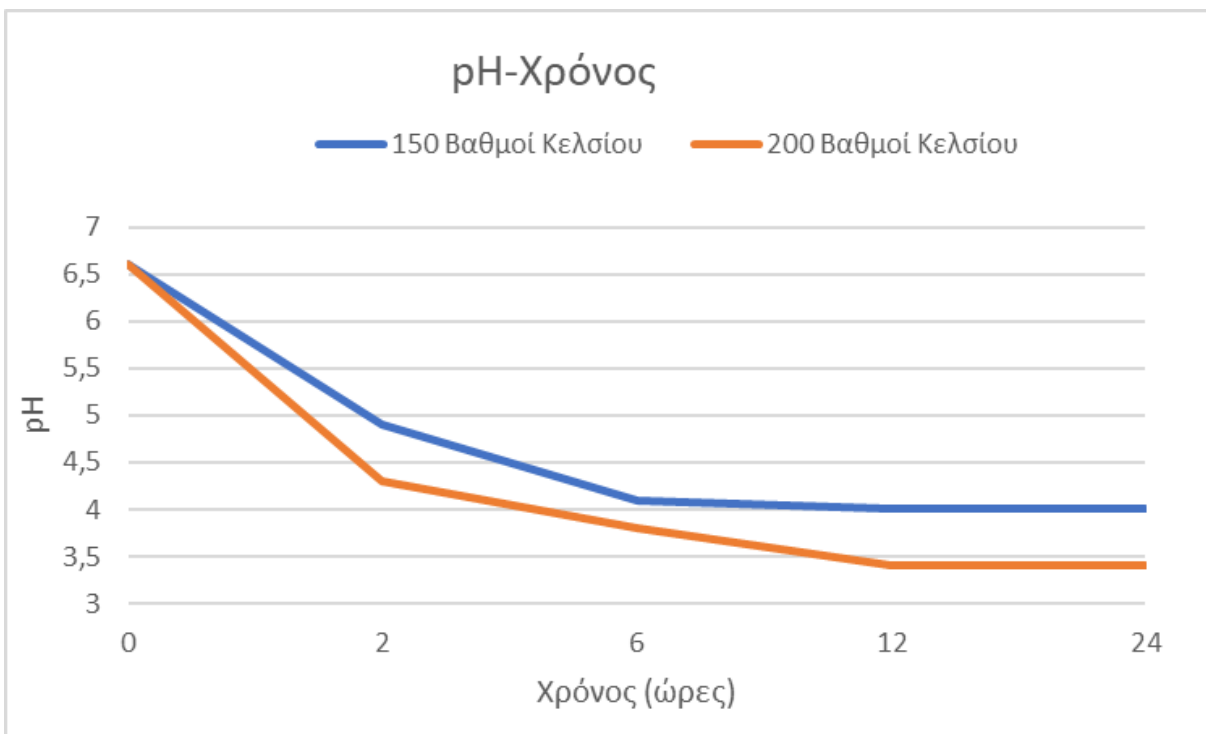
Η σταδιακή μείωση του ποσοστού υδρογόνου που παρατηρείται στο Διάγραμμα 4, είναι αναμενόμενη καθώς μια βασική αντίδραση της υδροθερμικής επεξεργασίας είναι η αφυδρογόνωση. Ενδιαφέρον έχει η σταθεροποίηση των επιπέδων υδρογόνου μετά από 6 ώρες επεξεργασία, ένδειξη ότι το επιμέρους στάδιο της αφυδρογόνωσης συντελείται σε πολύ μικρότερο βαθμό ή καθόλου.

Σε ότι αφορά το άζωτο (Διάγραμμα 5), τα ποσοστά του είναι εξ αρχής χαμηλά και δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές με το χρόνο. Για εδαφική εφαρμογή, τα ποσοστά είναι χαμηλά οπότε το υλικό δεν μπορεί να λειτουργήσει ως δότης αζώτου σε ένα εδαφοβελτιωτικό σκεύασμα.

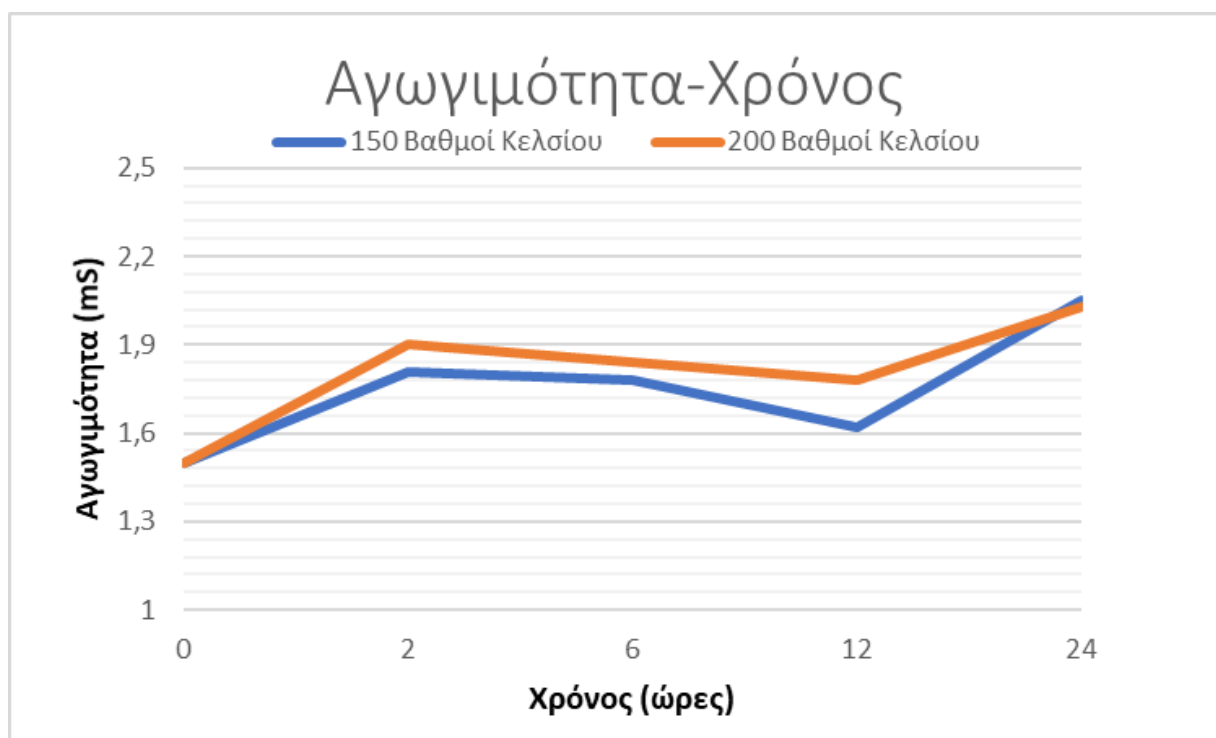
Η τέφρα (Διάγραμμα 6), που αφορά τα ανόργανα οξείδια και άλατα του καφέ και τα οποία μεταφέρονται στο hydrochar, βαίνει σταδιακά αυξανόμενη και κινείται σε επίπεδα μεταξύ 1.85 – 3 %. Σε γενικές γραμμές, χαμηλά επίπεδα τέφρας σε βιομάζες είναι επιθυμητά όταν στοχεύεται η ενεργειακή αξιοποίηση αυτών. Κατ' επέκταση, hydrochar με τόσο χαμηλά επίπεδα τέφρας μπορούν να προστεθούν σε χαμηλές περιεκτικότητες σε άλλα συμβατικά στερεά καύσιμα με σκοπό την συν-αξιοποίηση. Σε ότι αφορά εδαφική εφαρμογή, σε κάποιες περιπτώσεις η τέφρα αντίστοιχων υλικών είναι κυρίως οξείδια του ασβεστίου ή του πυριτίου. Στη πρώτη περίπτωση, προσθήκη του υλικού στο έδαφος θα ανέβαζε το pH του εδάφους, ειδικά εάν αυτό ήταν όξινο. Στα δικά μας hydrochar, δεν γνωρίζουμε τη σύσταση της τέφρας οπότε δεν μπορούμε να προβλέψουμε πιθανή αλληλεπίδραση με τα συστατικά του εδάφους.

Τέλος, τα ποσοστά οξυγόνου(Διάγραμμα 7), βαίνουν μειούμενα με το χρόνο, κάτι το οποίο παρατηρείται συχνά σε πολλά hydrochar, ανεξαρτήτως αρχικής βιομάζας. Αυτό οφείλεται στη μείωση των επιφανειακών οξυγονούχων ομάδων (π.χ. ομάδες υδροξυλίου, κετόνες, καρβοξύλια) των hydrochar όσο παρατείνεται η υδροθερμική επεξεργασία χρονικά αλλά και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Οι επιφανειακές οξυγονούχες ομάδες συχνά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προσρόφιση ρύπων από υδατικά διαλύματα, καθώς αυτές αλληλεπιδρούν με άλλες αντίστοιχες ομάδες στο μόριο του ρύπου. Κατ' επέκταση, hydrochar με περισσότερες οξυγονούχες ομάδες στην επιφάνεια τους (δηλ. από επεξεργασία καφέ σε μικρότερους χρόνους) είναι πιθανόν να λειτουργήσουν καλύτερα στη προσρόφιση συγκεκριμένων ρύπων τόσο από υδατικά όσο και εδαφικά διαλύματα.

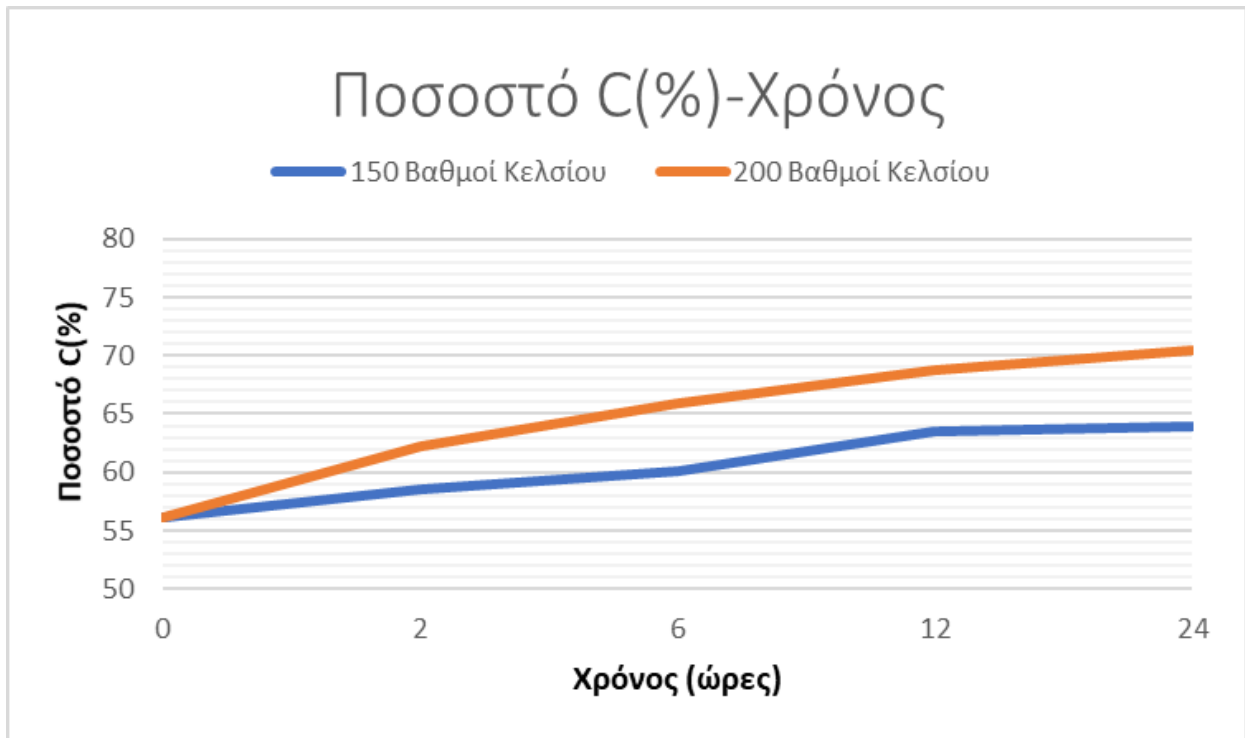
Τέλος, η απόδοση του hydrochar σε σχέση με το απόβλητο καφέ κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα σε σχέση με τις αποδόσεις βιο-εξανθρακωμάτων από πυρόλυση. Η σταθεροποίηση της απόδοσης μετά τις 12 ώρες αποτελεί ένδειξη ολοκλήρωσης των θερμοχημικών αντιδράσεων εντός του αντιδραστήρα.



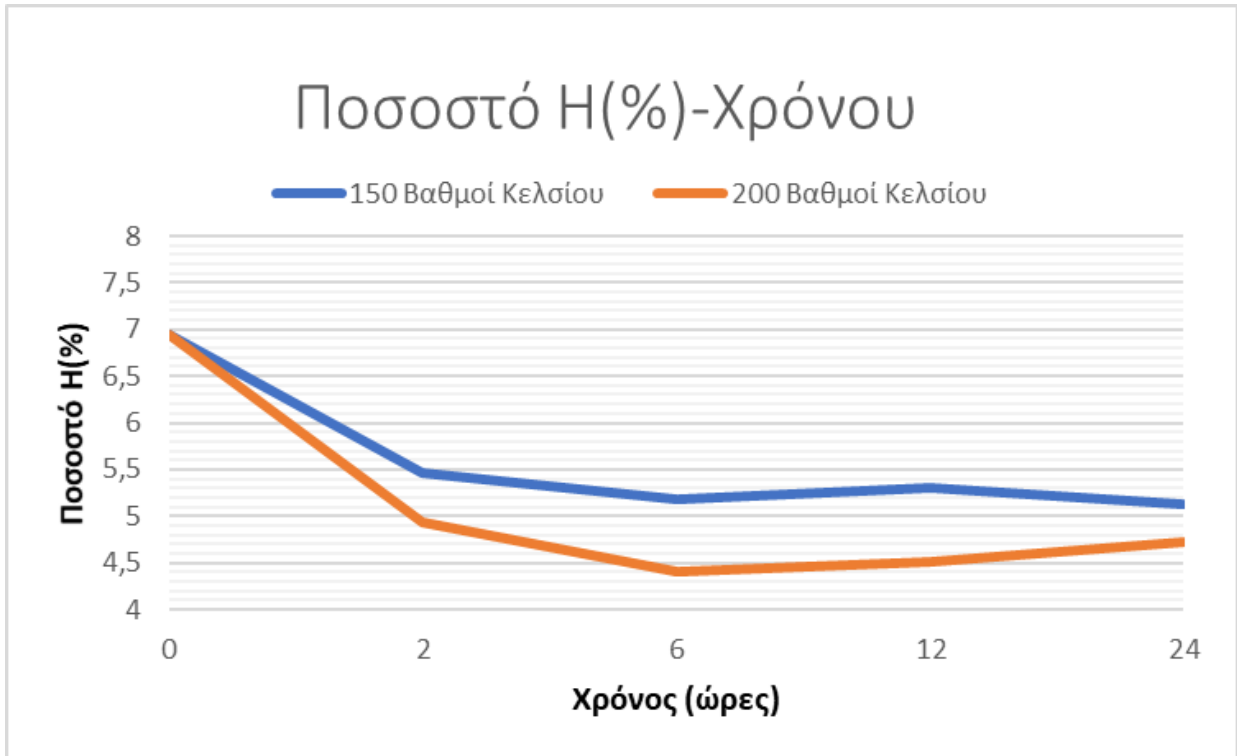
Διάγραμμα 1. Διάγραμμα pH – Χρόνου στους 150⁰C και στους 200⁰C



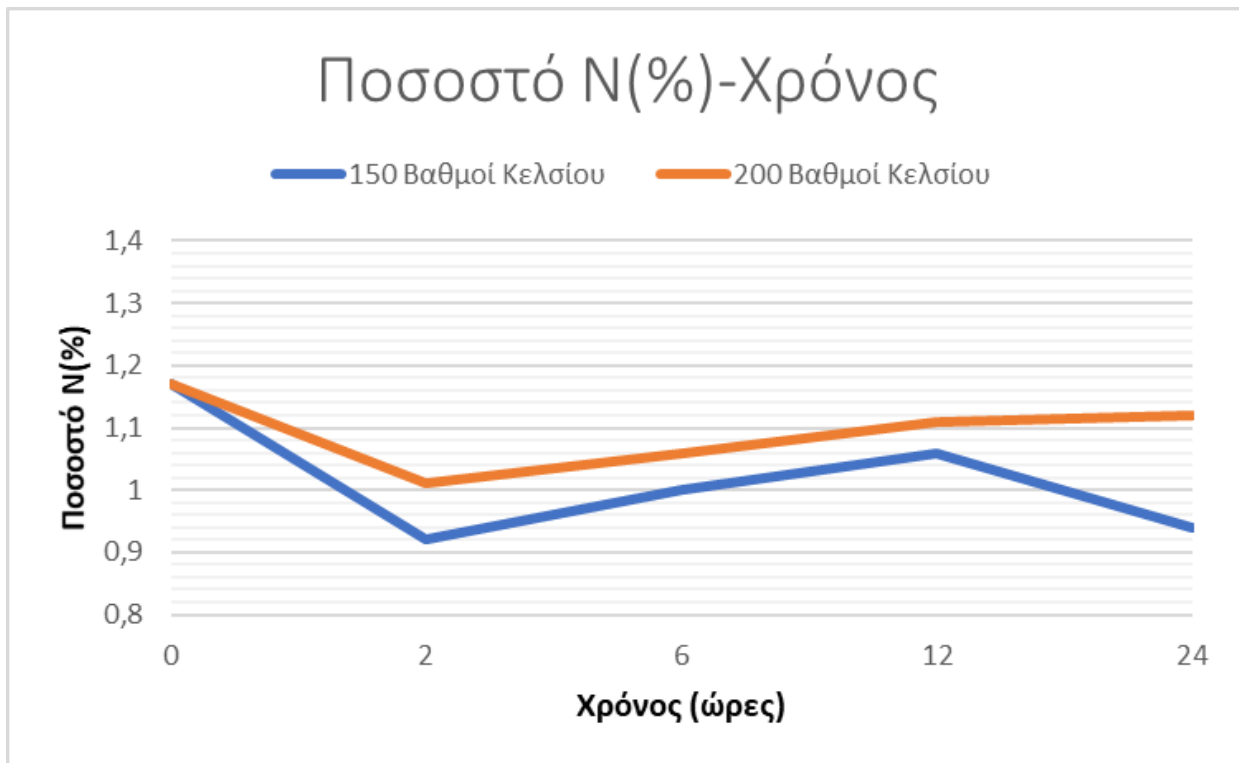
Διάγραμμα 2. Διάγραμμα Αγωγιμότητας – Χρόνου στους 150⁰C και στους 200⁰C



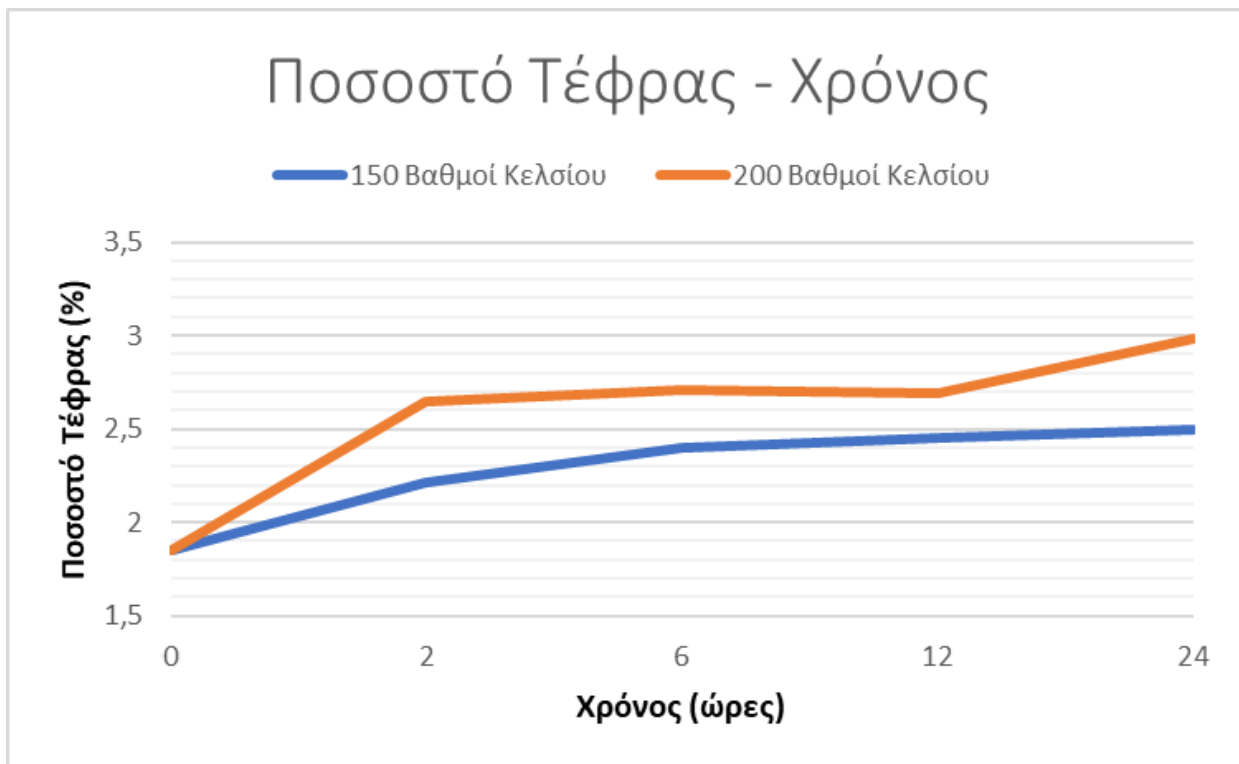
Διάγραμμα 3. Διάγραμμα Ποσοστού άνθρακα (C%) – Χρόνου στους 150⁰C και στους 200⁰C



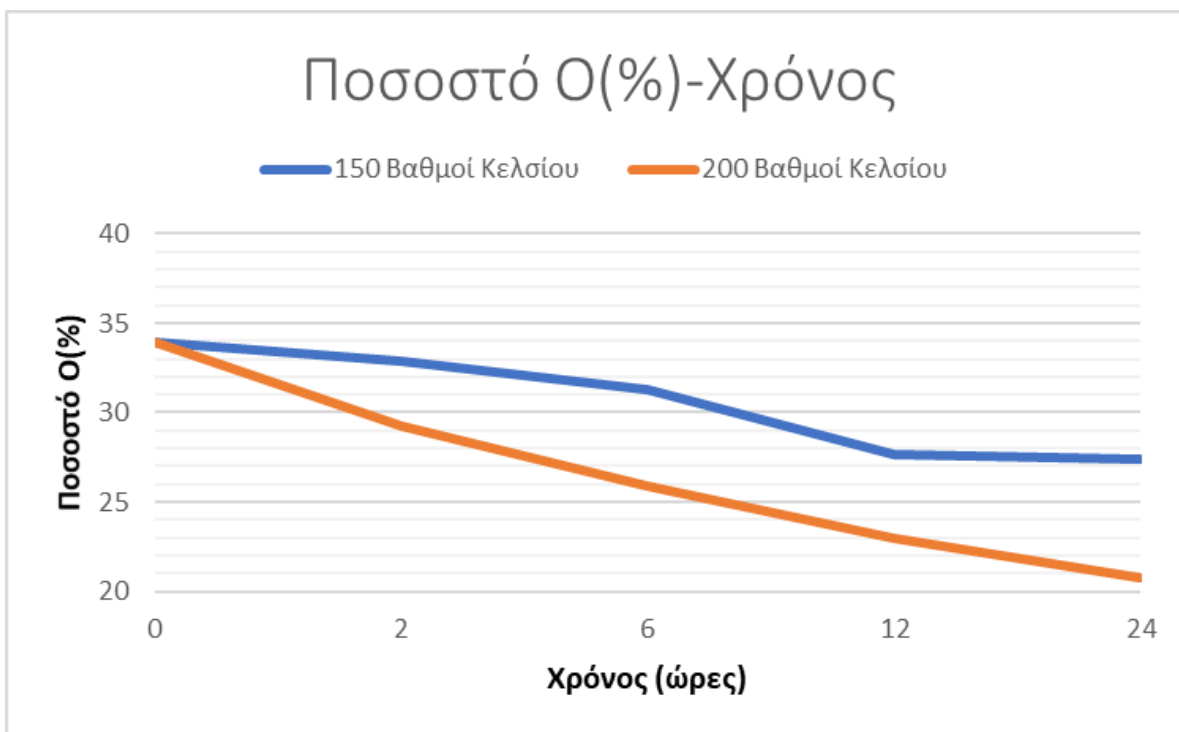
Διάγραμμα 4. Διάγραμμα Ποσοστού υδρογόνου (H%) – Χρόνου στους 150⁰C και στους 200⁰C



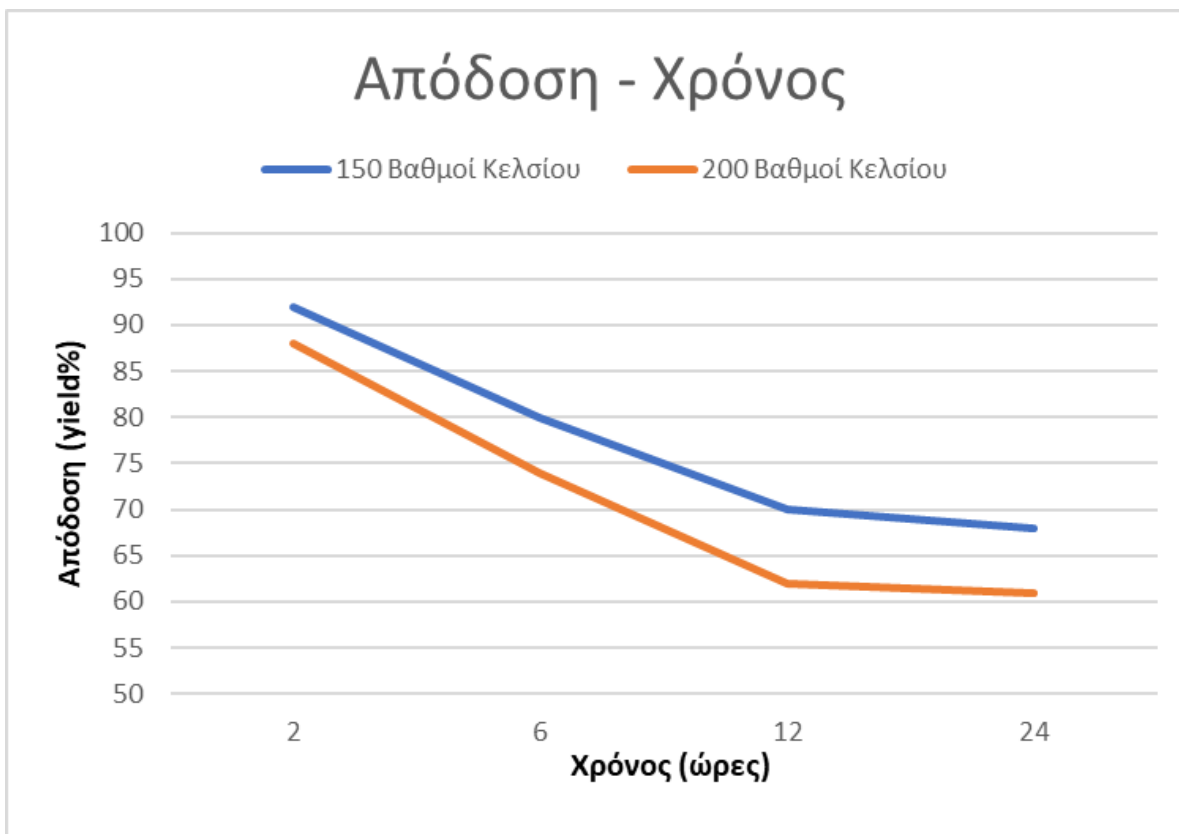
Διάγραμμα 5. Διάγραμμα Ποσοστού αζώτου (N%) – Χρόνου στους 150⁰C και στους 200⁰C



Διάγραμμα 6. Διάγραμμα Ποσοστού τέφρας (Τέφρα%) – Χρόνου στους 150⁰C και στους 200⁰C



Διάγραμμα 7. Διάγραμμα Ποσοστού οξυγόνου (O%) – Χρόνου στους 150°C και στους 200°C



Διάγραμμα 8. Διάγραμμα Απόδοσης- Χρόνου στους 150°C και στους 200°C

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρασκευάστηκαν 8 διαφορετικά hydrochar από απόβλητο καφέ, μέσω υδροθερμικής επεξεργασίας στους 150 και 200 βαθμούς Κελσίου και χρόνους παραμονής 2, 6, 12, 24 ώρες. Πραγματοποιήθηκε χαρακτηρισμός των υλικών μέσω στοιχειακής ανάλυσης, μέτρησης pH – αγωγιμότητας, και ποσοστού τέφρας. Σε όλες τις συνθήκες επιτεύχθηκαν υψηλές αποδόσεις από 60-90%, κάτι που είναι θετικό για τη παραγωγή τους σε μεγάλη κλίμακα. Οι τιμές pH είναι χαμηλές (< 5 σε όλες τις περιπτώσεις), κάτι που σημαίνει ότι το υλικό μπορεί να προστεθεί μόνο σε αλκαλικά εδάφη. Η τέφρα είναι σε χαμηλά ποσοστά και χρειάζεται περαιτέρω χαρακτηρισμό. Τα ποσοστά άνθρακα βελτιώνονται μέσω της υδροθερμικής επεξεργασίας, και τα hydrochar μπορούν δυνητικά να αυξήσουν τα ποσοστά άνθρακα σε εδάφη που έχουν έλλειψη οργανικής ύλης. Αντίθετα, τα ποσοστά αζώτου είναι χαμηλά και δεν αναμένεται να επηρεάσουν τα υφιστάμενα ποσοστά αζώτου στο έδαφος, ειδικά στις χαμηλές δόσεις 3-5% κ.β. που συνήθως προστίθενται τέτοια υλικά. Η αγωγιμότητα είναι σχετικά υψηλή, που σημαίνει ότι η ποσότητα αλάτων είναι τέτοια που θέλει προσοχή πριν την εδαφική εφαρμογή, έτσι ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο αλάτωσης.

Βιβλιογραφία

- [1] Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, «e-μαθήματα εκπαίδευσης για την αειφορία ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ, Στερεά Απόβλητα,» Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_4.html.
- [2] Ochre Media Pvt Ltd, «pulp and paper technology,» Ochre Media Pvt Ltd, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pulpandpaper-technology.com/articles/types-of-solid-waste-disposal-and-management>.
- [3] Britannica, «Britannica,» Encyclopædia Britannica, Inc., 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management>.
- [4] Επικαιρότητα, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, «Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο,» Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 06 04 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20180328STO00751/i-diacheirisi-ton-apovlition-stis-chores-tis-ee-grafima>.
- [5] Σ. Φωτεινή, «Η ΚΑΥΣΗ ΩΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ,» ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 02 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://ikee.lib.auth.gr/record/136455/files/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20\(teliko\).pdf](http://ikee.lib.auth.gr/record/136455/files/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20(teliko).pdf).
- [6] Δημήτριος Καλδέρης, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, «Διαχείριση και Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων,» Χανιά, 2018.
- [7] WasteAidUK, «How to collect waste safely and efficiently,» Chartered Institution of Wastes Management, 12 10 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://wasteaid.org/wp-content/uploads/2017/10/11-How-to-collect-waste-safely-and-efficiently-v1-mobile.pdf>.
- [8] ΔΙ.Α.Α.ΜΑ.Θ. Α.Α.Ε. ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ, «ΔΙ.Α.Α.ΜΑ.Θ, Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ),» 18 09 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.diaamath.gr/content/%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%BC%CE%BF%CE%AF-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%86%CF%8C%CF%81%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%81%CF%81%CE%B9%CE%BC%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%83%CE%BC%CE%B1>.
- [9] Σ. Μαυρίδου, «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΑΠΘ, ΕΝΟΤΗΤΑ_05. Ανακύκλωση υλικών – Διαλογή στην πηγή.,» Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 13 08 2015.

- [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://opencourses.auth.gr/modules/units/?course=OCRS392&id=3611>.
- [10] Ειδικός Διαβαθμικός Σύνδεσμος Νομοού Αττικής-Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Αττικής, «Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης,» edsna.gr, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.edsna.gr/ergostasio-michanikis-anakyklosis/>.
- [11] Zhengzhou Sinolion Machinery, «m.gr.trommelscreenmachine.com,» Zhengzhou Sinolion Machinery Co., Ltd, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://m.gr.trommelscreenmachine.com/auxiliary-equipment/ballistic-separator.html#F1>.
- [12] Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΑΠΘ , «opencourses.auth.gr,» Open eClass, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://opencourses.auth.gr/modules/units/index.php?course=OCRS392&id=3612>.
- [13] Meteco, «meteco.gr,» METECO METALS, 20 05 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://meteco.gr/metals/news/pos-ginetai-i-anakyklosi-chartiou/>.
- [14] Siakandaris Group, «siakandaris.gr,» Siakandaris Group, Waste Managment, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.siakandaris.gr/%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%87%ce%b5%ce%af%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%b7-%ce%b1%cf%80%ce%bf%ce%b2%ce%bb%ce%ae%cf%84%cf%89%ce%bd/>.
- [15] Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, «ecorec.gr,» Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.ecorec.gr/ecorec/index.php?option=com_content&view=article&id=342:2013-03-07-13-19-52&catid=64:what-is&Itemid=537&lang=en.
- [16] Μ. Ι. ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ, «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ,» 03 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://ikee.lib.auth.gr/record/297593/files/GRI-2018-21426.pdf>.
- [17] Σ. Λιάγκος, «Μεταπτυχιακή Εργασία, Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/9588>.
- [18] Μ. Γριλλάκης, «slides_ASA_eclass.pdf,» 24 11 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM150/3.%20%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91%20%CE%A3%CE%A4%CE%95%CE%A1%CE%95%CE%91%20%CE%91%CE%A0%CE%9F%CE%92%CE%9B%CE%97%CE%A4%CE%91/slides_ASA_eclass.pdf.
- [19] Γ. Χ. ΛΙΤΑΣ, «ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΧΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ,» 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available:

<https://docplayer.gr/50516847-Axiologisi-senarion-diaheirisis-astikon-stereon-apovliton.html>.

- [20] Σ. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ,» 01 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/41360/10436.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [21] Μ. Κορνάρου, «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα,» 14 05 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2144/>.
- [22] MDPI, «Solid Waste Incineration Modelling for Advanced Moving Grate Incinerators, journals/sustainability/volume 12/issue 19,» <https://www.mdpi.com/>, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/8007>.
- [23] Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης & Ηλεκτρονικού Περιεχομένου, «www.ekt.gr,» 05 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ekt.gr/el/magazines/features/23377>.
- [24] The Two Sides Team , «Paper and the Circular Economy,» Two Sides, 19 09 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://twosidesna.org/US/paper-and-the-circular-economy/>.
- [25] Μ. Θεοδωράκη, «ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ,» 2019. [Ηλεκτρονικό].
- [26] Ohioline, Ohio State University, «ohioline.osu.edu,» Hydrothermal Carbonization: Upgrading Waste Biomass to Char, 11 01 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-6622>.
- [27] Κυρμιζάκης Παναγιώτης, «ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΧΩΡΟΥ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ,» Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης , Χανιά, 2013.
- [28] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας/Τμήμα Δυτικής Αττικής, «3r.teetde.gr,» ΤΕΕ/ΤΔΕ, Διαλογή στην Πηγή, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://3r.teetde.gr/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AE-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AE>.
- [29] ΚΑΦΑΝΤΑΡΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, «ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4841/%CE%95%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%B7%CC%81%20%CE%B1%CF%80%CE%BF%CC%81%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7%20%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%B1%CC%81%CE%B4%CF%89%CE%BD%20%CE%B8%CE%B5%CF%81%>.
- [30] wikipedia, «en.wikipedia.org,» 31 03 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Superheated_water.

