



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΚΡΟΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΝ
ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ»**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΒΑΛΤΖΑΚΗ ΜΑΡΙΑ-ΤΟΠΑΛΗ ΚΑΤΕΡΙΝΑ
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΔΟΚΙΑΝΑΚΗΣ ΣΠΥΡΟΣ**

ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.Εισαγωγή.....	3
2.Βιομάζα.....	4
2.1.Παγκόσμιο και ελληνικό δυναμικό.....	5
2.2.Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.....	8
2.3.Ενεργειακές καλλιέργειες.....	10
2.3.1.Καλάμι.....	11
2.3.2.Αγριοαγκινάρα	12
2.3.3.Χαρούπι.....	13
2.3.4.Φυτικά Υπολείμματα	16
2.4.Ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας-εφαρμογές.....	17
2.4.1.Θερμική επεξεργασία-καύση.....	17
2.4.2.Αναερόβια χώνευση.....	20
2.5.Υγρά απόβλητα.....	25
2.5.1.Αναγκαιότητα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	27
2.5.2.Επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	28
3.Υλικά και μέθοδοι.....	32
3.1.Μέτρηση pH.....	32
3.2.Προσδιορισμός ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών.....	32
3.3.Μέθοδος μέτρησης χημικά απαιτούμενου οξυγόνου.....	34
4.Πειραματική διάταξη.....	36
5.Αποτελέσματα.....	41
6.Συμπεράσματα.....	44
7.Βιβλιογραφία.....	45

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ύπαρξη της ζωής στη γη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ενέργεια. Σήμερα το 75% της παγκόσμιας ενέργειας προέρχεται από συμβατικά καύσιμα, τα οποία αναμένεται σε μερικές δεκαετίες να εξαντληθούν, λόγω της μεγάλης ζήτησης που υπάρχει. Οπότε, είναι αναγκαίο να εξευρεθούν νέες μορφές ενέργειας στο άμεσο μέλλον, που θα συμβάλλουν στην εξοικονόμηση των φυσικών πόρων. Έτσι, μακροπρόθεσμα απομένουν μόνο δύο επιλογές: η πυρηνική ενέργεια και οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι περισσότερες από τις αναπτυσσόμενες κοινωνίες έχουν διαμορφώσει επιφυλακτική ή απορριπτική στάση απέναντι στην προοπτική της πυρηνικής ενέργειας. Οι κύριοι λόγοι είναι αφενός η απειλή των τεράστιων και μακροχρόνιων συνεπειών από τα ενδεχόμενα ατυχήματα, αφετέρου η μη ασφαλής διάθεση των αποβλήτων. Στην Ελλάδα η πυρηνική επιλογή έχει από καιρό αποκλειστεί. Οι ΑΠΕ είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν ή επιβαρύνουν ελάχιστα το περιβάλλον και μπορούν να στηρίξουν μια συνολική συγκροτημένη και αξιόπιστη πρόταση ικανή να αποτελέσει μακροπρόθεσμα τα επόμενα ενεργειακό δόγμα της χώρας. ΑΠΕ χαρακτηρίζονται οι πηγές ενέργειας που έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: α) είναι ανεξάντλητες και β) δεν προκαλούν ρύπανση στο περιβάλλον. Οι τεχνολογίες των ΑΠΕ διαφέρουν μεταξύ τους σε σχέση με την αποδοτικότητα, την εφαρμοσιμότητα και την εξέλιξη τους. Χαρακτηρίζονται ως ώριμες, εκείνες για τις οποίες έχει διαμορφωθεί κάποια αγορά έστω και εξειδικευμένη και έχουν ξεφύγει από το ερευνητικό-πilotικό στάδιο. Είναι ήδη ή πλησιάζουν να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες ιδιαίτερα όταν συνυπολογιστεί και το εσωτερικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας (περιβαλλοντικό-κοινωνικό). Σαν τέτοιες μπορούν να χαρακτηριστούν τα συστήματα ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, τα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής, της υδροδυναμικής και της γεωθερμικής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά και τα θερμικά ηλιακά συστήματα ενώ στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας, τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Εκτός από τις λεγόμενες ώριμες υπάρχουν και άλλες όχι τόσο εξελιγμένες τεχνολογίες ΑΠΕ όπως η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμων, οι τεχνολογίες

για την εκμετάλλευση της ενέργειας των θαλασσίων κυμάτων ή της θερμικής ενέργειας των ωκεανών και τα θερμικά ηλιακά συστήματα ισχύος.

Σε αυτή τη μελέτη θα ασχοληθούμε με μία διεργασία ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας που ονομάζεται Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ), ή Αναερόβια Διαδικασία (ΑΔ), ή Αναερόβια ζύμωση και τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από αυτήν, καθώς και τους κινδύνους από την μη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και θα μελετήσουμε την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με την αερόβια βιολογική οξείδωση.

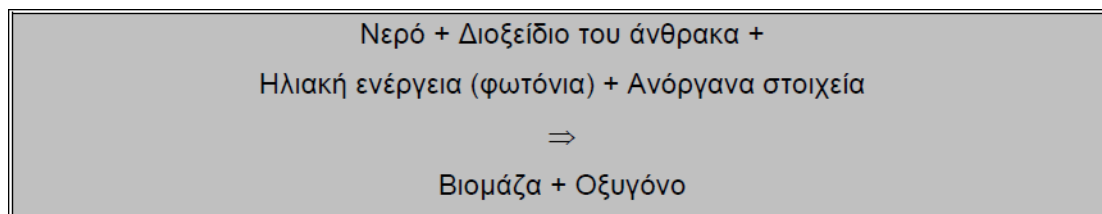
2. Βιομάζα

Γενικά, ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, σ'αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.,
- τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιός, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.,
- τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά., καθώς και
- το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και

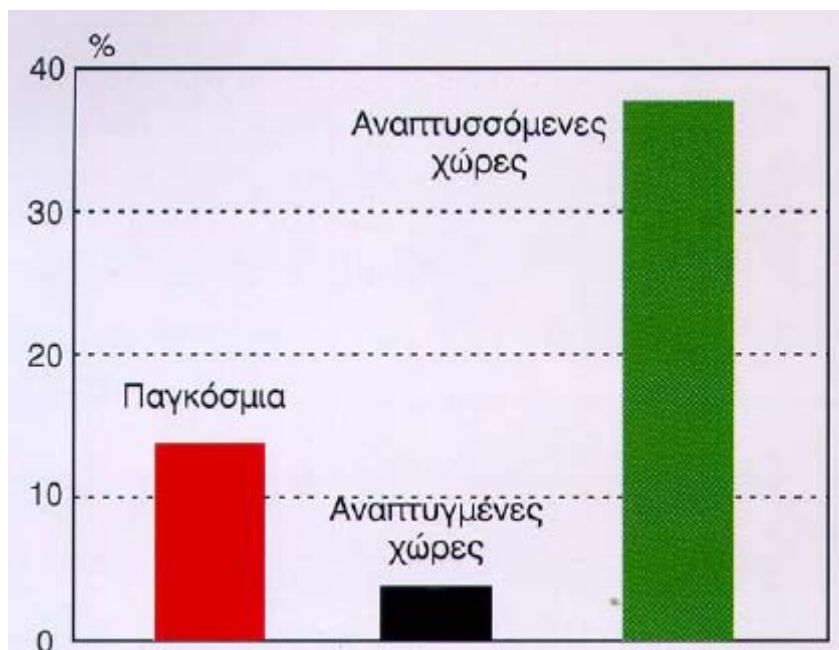
ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί πλέον κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σ' αυτήν, εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

2.1 Παγκόσμιο και Ελληνικό Δυναμικό

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δις. τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα (Σχ. 1) και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.).



Σχήμα 1. Η συμμετοχή της βιομάζας (%) στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας

Στην Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας. Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδακίνων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά.

Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευοίωνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε πολλές περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.).

Από τις παραπάνω ποσότητες βιομάζας, το ποσοστό τους εκείνο που προκύπτει σε μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού, μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) είναι άμεσα διαθέσιμο, δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα συλλογής, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Μπορεί, δηλαδή, η εκμετάλλευσή του να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα.

Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφανείας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, που προσπαθούν, μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν, πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών τους προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων.

Όπως είναι γνωστό, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα γεωργικά πλεονάσματα, και τα οικονομικά προβλήματα που αυτά δημιουργούν, οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και της αγροτικής παραγωγής. Υπολογίζεται ότι, την προσεχή δεκαετία, θα μπορούσαν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100-150 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων των γεωργικών πλεονασμάτων και της απόρριψης αυτών στις χωματερές, με ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων.

Στη χώρα μας, για τους ίδιους λόγους, 10 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, το καθαρό όφελος σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται υπολογίζεται σε 5-6 ΜΤΙΠ (1 ΜΤΙΠ= 106 ΤΙΠ, όπου ΤΙΠ σημαίνει: Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) δηλαδή στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ελλάδα.

Στον ελληνικό χώρο έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών. Από την πραγματοποίηση σχετικών πειραμάτων και πιλοτικών εφαρμογών, προέκυψαν τα εξής σημαντικά στοιχεία:

- Η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί ανά ποτιστικό στρέμμα ανέρχεται σε 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1-1,6 ΤΙΠ.
- Η ποσότητα βιομάζας, που μπορεί να παραχθεί ανά ξηρικό στρέμμα μπορεί να φτάσει τους 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0,7-1,2 ΤΙΠ.

2.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα από την Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

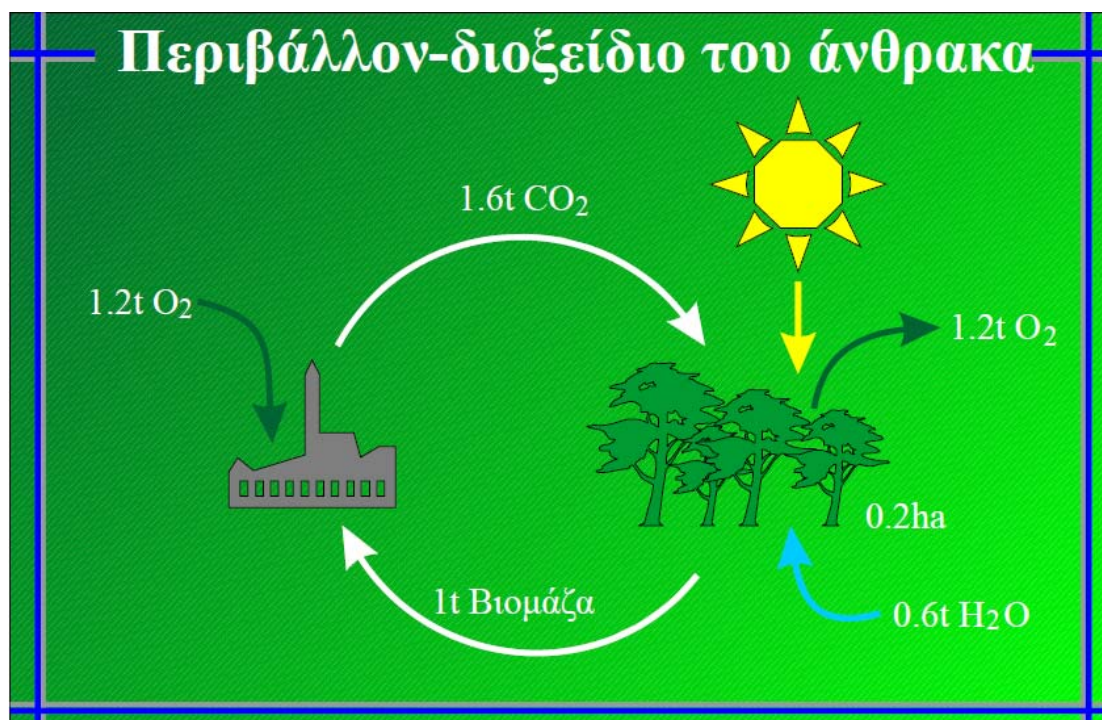
1. Η αποτροπή του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού στην ατμόσφαιρα γιατί, ενώ κατά την καύση

της παράγεται CO₂, κατά την παραγωγή της και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες αυτού του ρύπου (Σχ. 2).

2. Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου (SO₂) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της “όξινης βροχής”. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.

3. Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος.

4. Η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και τις άλλες γεωργικές περιοχές, συμβάλλει δηλαδή η βιομάζα στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας.



Σχήμα 2. Ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρησιμοποίηση της βιομάζας και αφορούν, ως επί το πλείστον, δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής:

1. Ο μεγάλος όγκος της και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.
2. Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι των ορυκτών καυσίμων.
3. Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
4. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της.
5. Τα υγρά απόβλητα που παράγονται από κάποιες από τις διεργασίες όπως η αναερόβια επεξεργασία.

Εξ αιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων και για την πλειοψηφία των εφαρμογών της, το κόστος της βιομάζας παραμένει, συγκριτικά προς το πετρέλαιο, υψηλό. Ήδη, όμως, υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα αυτό βαθμιαία εξαλείφεται, αφ' ενός λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου, αφ' ετέρου και σημαντικότερο, λόγω της βελτίωσης και ανάπτυξης των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας. Τέλος, πρέπει κάθε φορά να συνυπολογίζεται το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο, αν και συχνά δεν μπορεί να αποτιμηθεί με οικονομικά μεγέθη, εντούτοις είναι ουσιαστικής σημασίας για την ποιότητα της ζωής και το μέλλον της ανθρωπότητας.

2.3. Ενεργειακές Καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες, στις οποίες περιλαμβάνονται τόσο ορισμένα καλλιεργούμενα είδη όσο και άγρια φυτά, έχουν σαν σκοπό την παραγωγή βιομάζας, η οποία μπορεί, στη συνέχεια, να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα σχετικά με τις εφαρμογές της βιομάζας. Οι σημαντικότερες παγκοσμίως χρήσεις της βιομάζας που προέρχεται από τέτοιου είδους καλλιέργειες, σε αναπτυσσόμενες χώρες, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Ενεργειακές καλλιέργειες μεγάλης κλίμακας

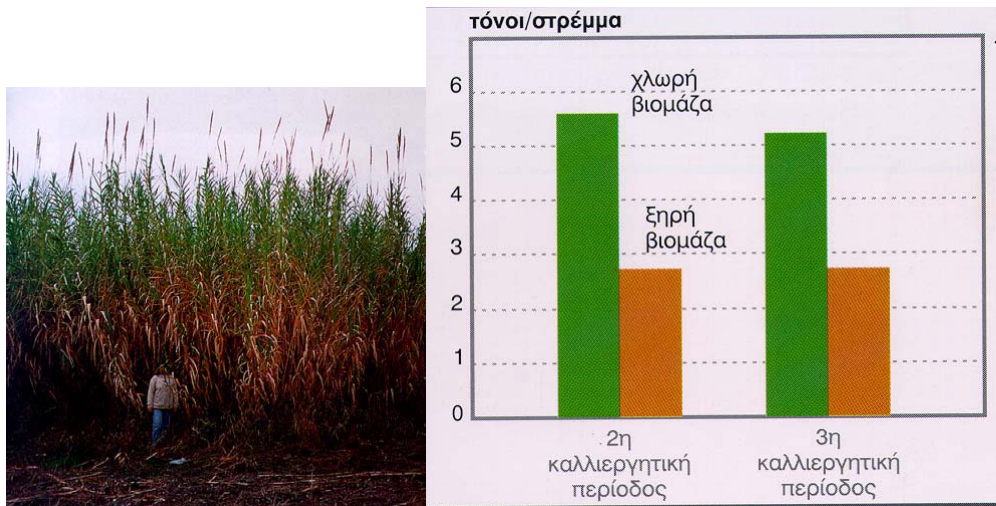
Χώρα	Καλλιέργεια	Τελικό προϊόν	Χρήσεις	Τόνοι ή στρέμματα/έτος
Βραζιλία	ζαχαροκάλαμο	αλκοόλη	καύσιμο μεταφοράς	9 εκατομμύρια τόνοι/έτος
ΗΠΑ	καλαμπόκι	αλκοόλη	καύσιμο μεταφοράς	4 εκατομμύρια τόνοι/έτος
Γαλλία	ζαχαρότευτλα, σιτάρι, κ.λ.π.	αλκοόλη	καύσιμο μεταφοράς	75.000 τόνοι/έτος
Άλλες χώρες της Ε.Ε.	ελαιοκράμβη & ηλίανθος	βιοντήζελ	καύσιμο μεταφοράς	500.000 τόνοι/έτος
Σουηδία	ιτιά	ψιλοτεμαχισμένο ξύλο	καύση	1.700.000 στρέμματα/έτος

Ειδικότερα στην Ελλάδα, εξαιτίας των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών, πολλές καλλιέργειες προσφέρονται για ενεργειακή αξιοποίηση και δίνουν υψηλές στρεμματικές αποδόσεις. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι του καλαμιού, της αγριοαγκινάρας, του σόργου του σακχαρούχου, του μίσχανθου, του ευκάλυπτου και της ψευδοακακίας, για τις οποίες, τα τελευταία χρόνια, γίνεται εντατική μελέτη εφαρμογής στις ελληνικές συνθήκες.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται ορισμένα στοιχεία για τα παρακάτω είδη ενεργειακών καλλιεργειών:

2.3.1 Καλάμι

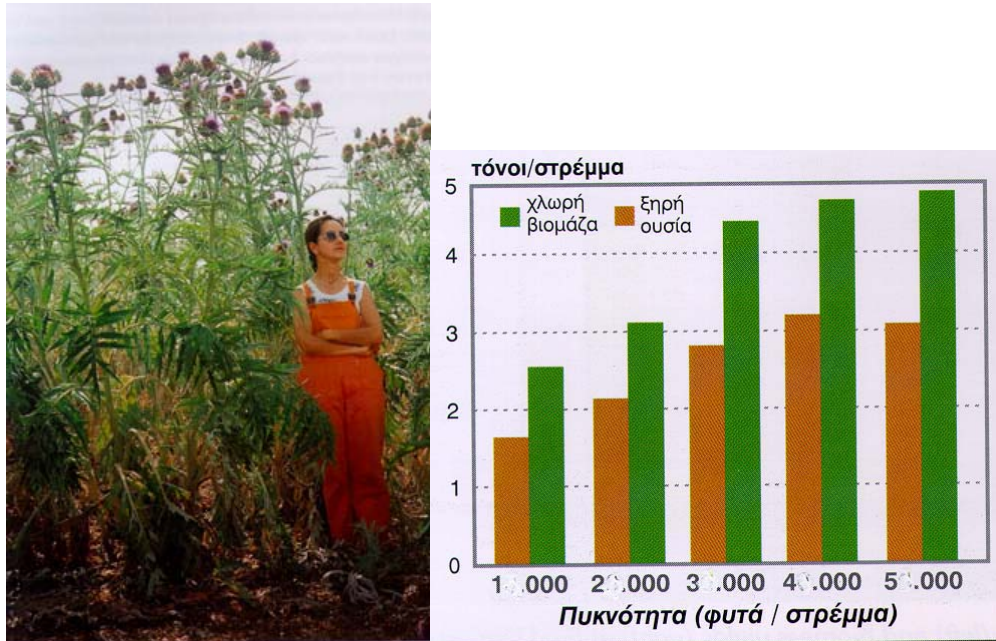
- Το καλάμι (Σχ. 3) είναι φυτό ιθαγενές της Νότιας Ευρώπης. Δίνει υψηλές αποδόσεις, πάνω από 3 τόνους το στρέμμα. Είναι φυτό πολυετές, δηλαδή σπέρνεται άπαξ και κάθε χρόνο γίνεται συγκομιδή του, και, μετά την πρώτη εγκατάσταση, οι μόνες δαπάνες αφορούν τα έξοδα συγκομιδής του. Έχει, συνεπώς, χαμηλό ετήσιο κόστος καλλιέργειας. Η παραγόμενη από το καλάμι βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί σε μονάδες εσωτερικής καύσης, για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχήμα 3. Φυτεία καλαμιού στην κεντρική Ελλάδα (αριστερά) και παραγωγή βιομάζας (δεξιά) κατά την τελική συγκομιδή, για δύο καλλιεργητικές περιόδους.

2.3.2 Αγριαγκινάρα

Η αγριοαγκινάρα είναι ένα άλλο σημαντικό φυτό (Σχ. 4), κατάλληλο για ενεργειακή αξιοποίηση, το οποίο προσαρμόζεται θαυμάσια στις ελληνικές συνθήκες. Είναι φυτό πολυετές, με υψηλές αποδόσεις της τάξεως των 2,5-3 τόνων/στρέμμα. Το κυριότερο, όμως, πλεονέκτημά του είναι ότι η ανάπτυξή του λαμβάνει χώρα από τον Οκτώβριο έως τον Ιούνιο και, συνεπώς, αναπτύσσεται με το νερό των βροχοπτώσεων (δηλαδή δεν απαιτεί άρδευση). Η παραγόμενη από την αγριοαγκινάρα βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές παρόμοιες με αυτές του καλαμιού.



Σχήμα 4. Φυτεία αγριαγκινάρας στην κεντρική Ελλάδα (αριστερά) και παραγωγή βιομάζας ανά στρέμμα (δεξιά)

2.3.3 Χαρούπι

Το χαρούπι (Σχήμα 5) είναι ένα δένδρο που όπως αποδεικνύει η μακρά πορεία του ανά τους αιώνες έρχεται στην επικαιρότητα μόνο σε περιόδους πολέμων, λιμών και σιτοδειών που η τροφή είναι λήψη και δυσεύρετη. Πολύ θρεπτικό φυτό που είχε εισαχθεί στην Ελλάδα στην αρχαιότητα - ίσως όμως να ήταν και ιθαγενές στην Κρήτη και στη Ρόδο. Το επιστημονικό του όνομα (*Ceratonia siliqua*) προέρχεται από το "κέρατον", που υποδηλώνει και τη μορφή που έχει ο καρπός. Το δένδρο ήταν πολύ γνωστό στη Συρία και στην Ιουδαία την εποχή του Χριστού, (αναφορά στην παραβολή του Ασύτου).

Ο Πλίνιος (μοναδικός συγγραφέας Φυσικής Ιστορίας στο Λατινικό κόσμο) περιγράφει τα γλυκά φασόλια της χαρουπιάς σαν τροφή για τα γουρούνια. Ο Θεόφραστος (γνώστης Βοτανικής) περιέγραψε την χαρουπιά με μεγάλη ακρίβεια, ίσως γιατί δεν τη γνώριζαν οι αναγνώστες του από δική τους αντίληψη. Με την προσοχή που τον διακρίνει, ο Θεόφραστος παρατήρησε σωστά πως οι καρποί της βγαίνουν από τον κορμό του δένδρου, κι αυτό γιατί τα λουλούδια φυτρώνουν πάντοτε στις μασχάλες των φύλλων ή απ' ευθείας από τα παλιά κλαδιά.

Η χαρουπιιά είναι ένα δέντρο πού ευδοκιμεί κυρίως σε όλη την Μεσόγειο. Η χαρουπιιά είναι δέντρο αιθαλής, μακρόβιο, πολύγαμο και ανήκει στη τάξη φαβώδη και στην οικογένεια φαβίδες γένος αγγειόσπερμων δικότυλων φυτών.

Μπορεί να φτάσει σε ύψος και τα 20 μέτρα. Βρίσκεται σε όλες σχεδόν τις παράκτιες περιοχές της Μεσόγειου είναι και γνωστή με το όνομα ξυλοκερατιά. Τα φύλλα της είναι σύνθετα σκληρά με λείες σχηματίζονται πυκνό φύλλωμα. Απ'ό,τι φαίνεται από την ιστορία έρχεται στην επικαιρότητα σε περιόδους πολέμων και λιμών, πού ή τροφή είναι λειψή και δυσεύρετη. Το γεγονός αυτό δείχνει την υψηλή θρεπτική αξία των. Τα χαρούπια άλλωστε κατάφεραν να θρέψουν τον Ιωάννη τον Βαπτιστή στην έρημο αλλά και χιλιάδες που διά κατά την διάρκεια του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου. Κι αυτό διότι στη σάρκα τους περιέχουν 80 % πρωτεΐνη, ασβέστιο, φώσφορο, σίδηρο και βιταμίνες. Βράζοντας τα χαρούπια παρασκευάζεται, από το μέλι πού υπάρχει στο εσωτερικό τους, το χαρουπόμελο, ή γεύση του οποίου μοιάζει με της

σοκολάτας. Το χαρουπόμελο υπερέχει σε θρεπτικά στοιχεία σε σχέση με την σοκολάτα γιατί περιέχει 52 φορές λιγότερο λίπος, δεν έχει οξαλικά οξέα, δεν περιέχει αλλεργιογόνα και καφεΐνη και ή γλυκύτητα του οφείλεται σε φυσικό ζάχαρο. Το χαρουπόμελο αποτελεί πλούσια πηγή υδατανθράκων, ασβεστίου, σιδήρου, μαγνησίου, καλίου και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο.

Οι Τούρκοι παρασκεύαζαν το καλοκαίρι από το "μέλι" των χαρουπιών ένα δροσιστικό σερμπέτι που σέρβιραν με χιόνι ή κρύο και ονόμαζαν "χαρουπάδα" ή "χαρουπιιά". Ο σπόρος της χαρουπιιάς αντικατέστησε στο παρελθόν ακόμα και τον καφέ, καβουρντιζόμενος με αμύγδαλα και ρεβύθια.

Επίσης από το χαρούπι παρασκευάζεται το χαρουπόλευρο, ένα αλεύρι πού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή ψωμιού, κέικ, μπισκότων κλπ. Το χαρουπόλευρο όπως και το χαρουπόμελο μπορεί να τα βρει κανείς σε καταστήματα με βιολογικά προϊόντα. Επίσης τα χαρούπια χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ενός θρεπτικού αλευριού κατάλληλο για βρεφικούς κοιλόπονους και παιδικές γαστρεντερίτιδες.

Το αφέψημα από κοπανισμένα χαρούπια είναι ιδανικό για τα παιδιά που πάσχουν από βροχίτιδα και κοκίτη. Βρασμένα επίσης μαζί με ξερά σύκα και σταφίδες χρησιμοποιούνται ως άριστο αντιβηχικό φάρμακο.

Το ξύλο της χαρουπιιάς δίνει κάρβουνα άριστης ποιότητας και το καρδιόξυλό της χρησιμοποιείται στην επιπλοποιεία, την ξυλογλυπτική, την τορνευτική και την βαρελοποιεία, ενώ ο φλοιός και τα φύλλα της στην βυρσοδεψία και την βαφική.

Η χαρουπιιά αν και είναι φυτό θερμόβιο μπορεί να αντέξει σε έκτακτες χαμηλές θερμοκρασίες, 2 – 3 C υπό το μηδέν.

Καλλιεργείται εύκολα και ευδοκιμεί σε όλα τα εδάφη εκτός από τα υγρά και τα άπορα. Στην Ελλάδα καλλιεργείται σποραδικά και σπάνια σε συστηματικές φυτείες, κυρίως στην Κρήτη, αλλά καλλιεργείται και σε φυτώρια για τον καλλωπισμό δρόμων και πάρκων. Εκτός της λεκάνης της Μεσογείου η χαρουπιιά ευδοκιμεί και σε περιοχές με κλίμα παρόμοιο με το Μεσογειακό όπως στην Καλιφόρνια, σε περιοχές της Νοτίου Αμερικής, Αυστραλίας, Ινδιών κλπ. Η παγκόσμια παραγωγή υπολογίζεται σε 310.000 τόνους ετησίως ενώ η αποδοτικότητα του δέντρου σε παραγωγή καρπού ποικίλει εξαρτώμενη από πολλούς παράγοντες.

Η μεγαλύτερη ποσότητα χαρουπιού παράγεται σήμερα στην Ισπανία με 135.000 τόνους ετησίως ενώ σημαντικές ποσότητες παράγονται και στην Ιταλία, Πορτογαλία, Μαρόκο, Κύπρο και Τουρκία. Η παραγωγικότητα σε καρπό της χαρουπιιάς ποικίλει και κυμαίνεται από 150 κιλά έως 200 κιλά ανά στρέμμα χωρίς φροντίδα σε αραιά φυτεμένα δέντρα και στη καλλιεργούμενα φτάνει τα 1.200 κιλά ανά στρέμμα. Επίσης θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η υψηλή περιεκτικότητα του χαρουπιού στη ζάχαρη δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Οι χαρουπόσποροι παρουσιάζουν μια ομοιομορφία στο βάρος τους, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 189 – 205 χιλιοστών του γραμμαρίου. Στα παλιά τα χρόνια τα χρησιμοποιούσαν στην Ινδία και στην Αφρική σαν βαρίδια για να ζυγίσουν τα ακριβά μπαχαρικά, τους πολύτιμους λίθους και το χρυσάφι και από παραφθορά της λέξης καρούπ στα αραβικά προήλθε η λέξη καράτι, γνωστή μονάδα μέτρησης χρυσού όπως έχει επίσημα καθοριστεί στα 200 χιλιοστά του γραμμαρίου.

Ο σπόρος του χαρουπιού έχει σήμερα μεγαλύτερη αξία από τη ψύχα και χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική βιομηχανία, στην βιομηχανία

καταναλωτικών προϊόντων, στην βιομηχανία τροφίμων, κ.α Στη Κρήτη υπάρχουν σήμερα 10 μικρές βιοτεχνίες επεξεργασίας χαρουπιού που βρίσκονται: 1 στο Ν. Χανίων, 3 στο Ν. Ρεθύμνης, 5 στο Ν. Ηρακλείου και 1 στο Ν. Λασιθίου. Στις βιοτεχνίες αυτές προσκομίζεται ο καρπός μετά τη συλλογή του όπου αλέθεται και διαχωρίζεται η ψύχα από το σπόρο. Ο σπόρος συνήθως πωλείται σε μία βιομηχανία επεξεργασίας του ενώ η ψύχα διατίθεται για ζωοτροφή στους κτηνοτρόφους της περιοχής (όπου χορηγείται είτε αυτούσια είτε κατόπιν ανάμιξης με άλλες ζωοτροφές).



Σχήμα.5 Χαρούπι

2.3.4 Φυτικά Υπολείμματα

Τα φυτικά υπολείμματα (Σχήμα 6.) αποτελούν μια καλή πρώτη ύλη λόγω της εύκολης συγκέντρωσής τους. Το κόμποστ που παράγεται έχει συνήθως υψηλή E.C. και αυτό αποδίδεται στο χώμα που είναι προσκολλημένο στο ριζικό σύστημα των δεδομένου ότι σ' αυτό έχουν προστεθεί αυξημένες ποσότητες χημικών λιπασμάτων. Πειραματικός έχει αποδεχτεί ότι τα φυτοφάρμακα που υπάρχουν σ' αυτά τα φυτά διασπώνται κατά την κομποστοποίηση αλλά δεν είναι γνωστό τι γίνεται με τα προϊόντα της διάσπασής τους. Η χρήση πλαστικών σπάγκων για την ανάρτηση των φυτών εντός του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία τους στα υπολείμματα. Κατά την άλεση τους σε μύλους με μαχαίρια πολύ συχνά οι σπάγκοι αυτοί περιτυλίγονται στα κινούμενα μέρη και δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία των μηχανημάτων. Για το λόγο αυτό απαιτείται η

χρήση μύλων με σφυριά που δεν επηρεάζονται τόσο εύκολα (Maniadakis et al., 2004).

Φ



Σχήμα 6. Φυτικά υπολείμματα

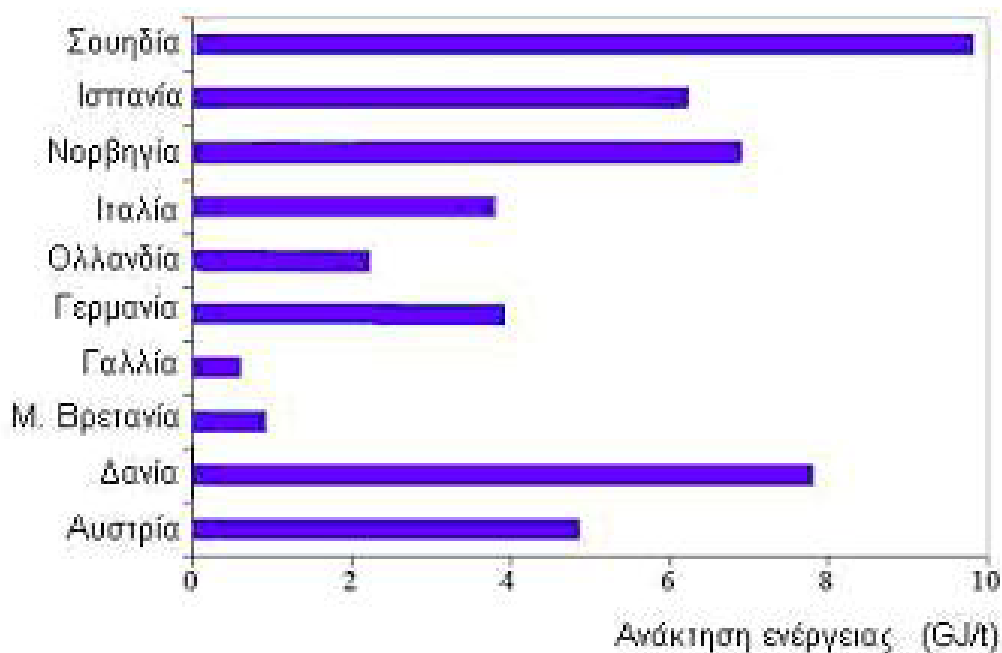
2.4 Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας-Εφαρμογές

2.4.1 Θερμική Επεξεργασία - Καύση

Η χρήση της θερμικής επεξεργασίας στη αξιοποίηση της βιομάζας εκτός από τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς (π.χ. εκπομπές ρύπων) καθορίζεται επίσης από οικονομικούς περιορισμούς (συνολικό κόστος), τις διαμορφούμενες νομοθετικές και πολιτικές τάσεις, τις προτεραιότητες των αρμόδιων φορέων καθώς και από το τρέχον και προβλεπόμενο ενεργειακό περιβάλλον (τιμές συμβατικών καυσίμων). Επίσης, η μέθοδος της θερμικής επεξεργασίας που τελικά θα εφαρμοσθεί εξαρτάται, εκτός των προαναφερόμενων παραγόντων και από το είδος των αποβλήτων που πρόκειται να επεξεργασθούν, την προέλευση τους (βιομηχανικά, αγροτικά, νοσοκομειακά, οικιακά, κ.λπ.), τα χαρακτηριστικά τους (επικίνδυνα, μολυσματικά, κ.λπ.) και τη σύστασή τους (χαρτί, ζυμώσιμα, κ.λπ.).

Καθώς τα διάφορα επιμέρους κλάσματα των απορριμμάτων (χαρτί, πλαστικό, δέρμα, ξύλο, ύφασμα) παρουσιάζουν υψηλή θερμογόνο δύναμη και η διάθεσή τους στους χώρους υγειονομικής ταφής συνεπάγεται απώλεια ενέργειας και περιβαλλοντική επιβάρυνση, οι σύγχρονες τάσεις της διαχείρισης σε παγκόσμιο επίπεδο, κινούνται προς την κατεύθυνση της ανάκτησης ενέργειας.

Στο σχήμα 7. παρουσιάζεται η ανάκτηση ενέργειας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 7. Ανάκτηση ενέργειας από τη θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕΑ, 1999).

Όπως αναφέρθηκε, οι σημαντικότεροι **στόχοι της Θερμικής Επεξεργασίας** είναι:

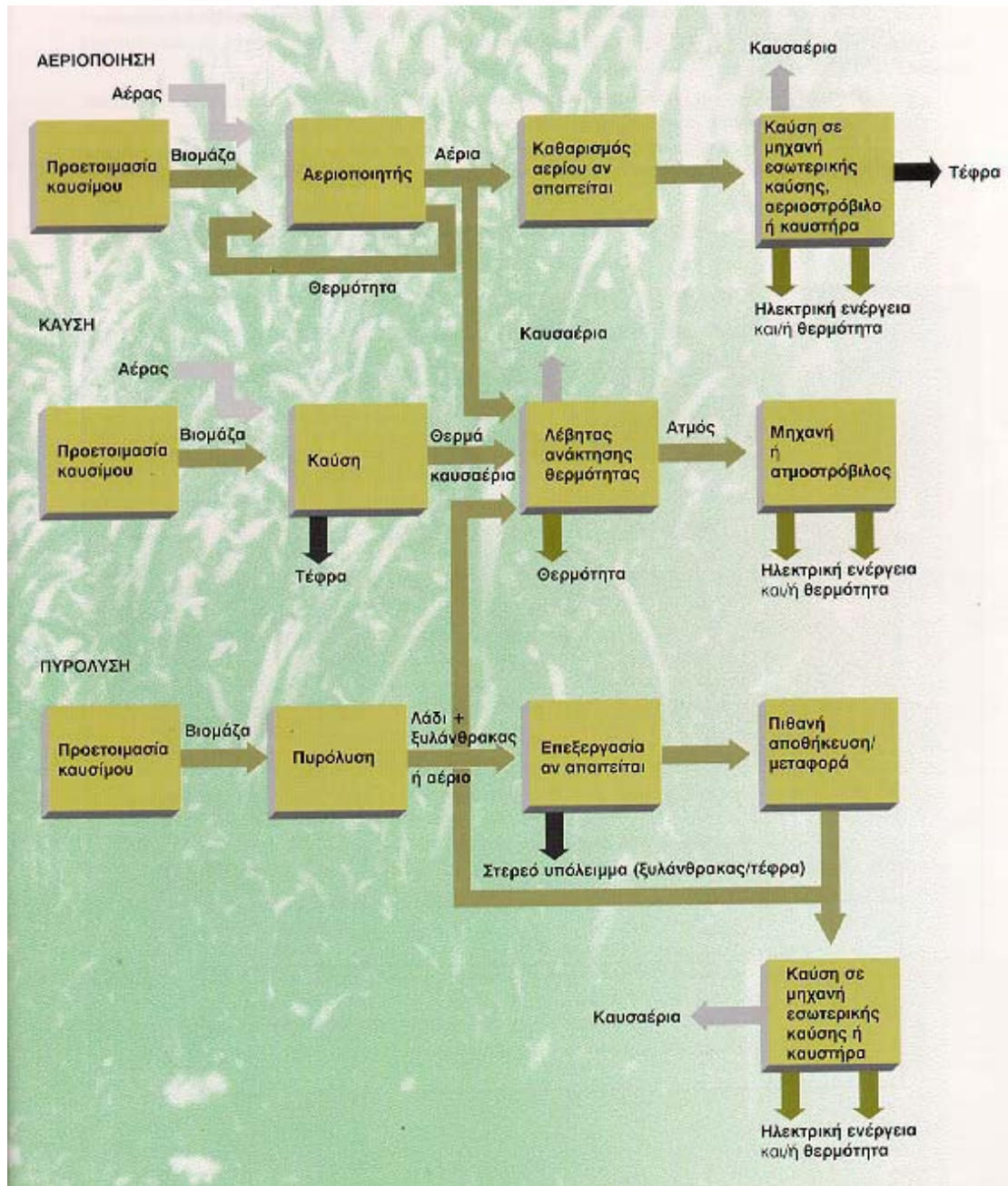
- Η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ.
- Η αδρανοποίησή τους (μετατροπή τους σε υλικά λιγότερο επιβλαβή).
- Η εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμης τους προς ανάκτηση ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρικό ρεύμα, καύσιμη ύλη).
- Η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης

Η θερμική επεξεργασία των ΣΑ διαθέτει τα εξής βασικά **πλεονεκτήματα**:

- Μειώνει τον όγκο τους σε μεγάλο βαθμό (έως και 90%).
- Μειώνει τη μάζα τους έως και 70%.
- Μπορεί να σχεδιασθεί τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες ποσότητες αποβλήτων – υπολειμμάτων.
- Επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
- Είναι ανταγωνιστική των συμβατικών καυσίμων (κάρβουνο, αέριο, πετρέλαιο) στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της ΘΕ είναι:

- Υψηλό κόστος κατασκευής.
- Υψηλό κόστος λειτουργίας.
- Ανάγκη απασχόλησης εξειδικευμένου προσωπικού.
- Μη άμεση αξιοποίηση υλικών από τα απόβλητα.
- Δυσκολία αξιοποίησης της παραγόμενης θερμότητας (ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις).
- Χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της προκαλούμενης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Εκπομπές επικίνδυνων ρύπων μέσω των καυσαερίων



Σχήμα 8. Υπάρχουσες τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας με θερμική επεξεργασία

2.4 2 Αναερόβια Χώνευση

Η διεργασία της αναερόβια χώνευσης η οποία λαμβάνει χώρα και στη φύση μπορεί να προσδιοριστεί ως η βιολογική διεργασία κατά την οποία οργανικό υλικό, απουσία οξυγόνου, μετατρέπεται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα (Toerien and Hattingh, 1969).

Η παραγωγή βιοαερίου μέσω της Αναερόβιας Χώνευσης (ΑΧ) είναι μια μέθοδος γνωστή από την αρχαιότητα. Το 10 αιώνα Π.Χ οι Ασσύριοι χρησιμοποιούσαν το βιοαέριο για θέρμανση του νερού αλλά και ακόμη πρωτίτερα, το 18 αιώνα Π.Χ οι Πέρσες. Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος ήταν ο πρώτος που ανέφερε το 1764 ότι μπορούσε να βάλει φωτιά σε μια μεγάλη επιφάνεια ρηχής λασπώδους λίμνης στο New Jersey. Ο Alexander Volta στην Ιταλία ήταν ο πρώτος που περιέγραψε επιστημονικά το σχηματισμό του βιοαερίου σε έλη και σε ιζήματα λιμνών το έτος 1776. Έναν αιώνα αργότερα ο Bechamp, απέδειξε την προέλευση του μεθανίου από μικροβιακή δράση, χρησιμοποιώντας ένα θρεπτικό μέσο πλούσιο σε αιθανόλη το οποίο είχε εμβολιάσει με περιπτώματα κουνελιού.

Κατά το τέλος του 19 αιώνα και τις αρχές του 20 αιώνα αρκετοί μικροβιολόγοι, μεταξύ των οποίων οι Poroff, Hoppe-Seyler, Omelianskii, ασχολήθηκαν με την μελέτη της μεθανογένεσης. Η πρώτη απομόνωση και καθαρή καλλιέργεια μεθανογόνου μικροοργανισμού έγινε από τον Barker το 1936 και ήταν ο *Methanobaccilus omelianskii*.

Οι πρώτες αναερόβιες εγκαταστάσεις για επεξεργασία αποβλήτων, εμφανίζονται στην Ινδία το 1859 για την επεξεργασία ζωικών αποβλήτων. Η πρώτη μονάδα για την επεξεργασία των στερεών της λάσπης καθιζήσεως από αστικά υγρά απόβλητα, κατασκευάστηκε γύρω στα 1860 στη Γαλλία στην πόλη Vesoul από το Louis Mourais. Η διαπίστωση ότι κατά την χώνευση των στερεών αποβλήτων παράγεται καύσιμο αέριο που περιέχει μεθάνιο έγινε από τον Donald Cameron που κατασκεύασε την πρώτη σηπτική δεξαμενή στην πόλη Exter της Αγγλίας το 1895 και χρησιμοποίησε το αέριο για δημόσιο φωτισμό. Το 1962 εγκαταστάθηκε στη Γερμανία ο πρώτος θερμαινόμενος χωνευτήρας. Αυτό σήμανε την αρχή της συστηματικής βιομηχανικής παραγωγής βιοαερίου.

Στη δεκαετία του 1950, δημιουργήθηκαν 40 περίπου πιλοτικές εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα, οι οποίες

χρησιμοποιούσαν το παραγόμενο αέριο, για να ζεστάνουν τις ίδιες τις κτηνοτροφικές μονάδες. Οι εγκαταστάσεις αυτές κρίθηκαν ως οικονομικά

ασύμφωρες εξαιτίας της χαμηλής τιμής των υγρών καυσίμων την περίοδο εκείνη.

Η πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973 επανάφερε στο προσκήνιο το ενδιαφέρον για εναλλακτικές μορφές ενέργειας μεταξύ των οποίων και η Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ). Πολλές ερευνητικές προσπάθειες έγιναν σε Ευρώπη και Αμερική με σκοπό κυρίως την παραγωγή ενέργειας. Τα αρχικά προβλήματα ξεπεράστηκαν και κατά τις δυο τελευταίες δεκαετίες η τεχνολογία βελτιώθηκε σε μεγάλο βαθμό. Τους αντιδραστήρες της πρώτης γενεάς, που χαρακτηρίζονταν από τον μεγάλο όγκο και τη μεγάλη χρονική διάρκεια παραμονής των αποβλήτων σε αυτούς, διαδέχτηκαν οι αντιδραστήρες της δεύτερης γενεάς με μικρότερο όγκο και συντομότερο χρόνο παραμονής των αποβλήτων.

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης η οποία λαμβάνει χώρα και στη φύση μπορεί να προσδιοριστεί ως η βιολογική διεργασία κατά την οποία οργανικό υλικό, απουσία οξυγόνου, μετατρέπεται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα (Toerien and Hattingh, 1969).

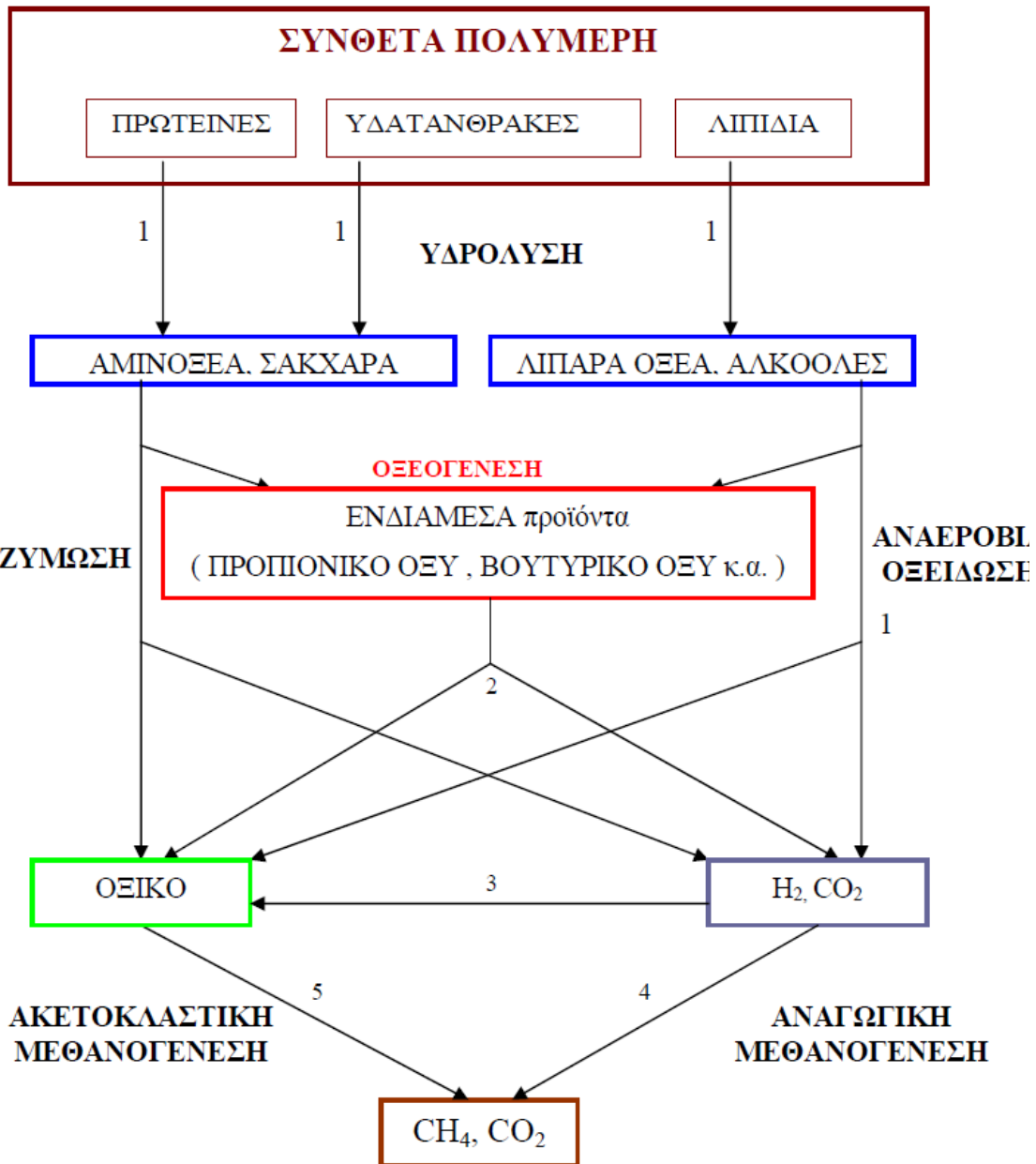
Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα μέχρι τώρα έχουν δημοσιευθεί πολλές εργασίες για την λειτουργία αναερόβιων αντιδραστήρων. Ωστόσο, υπήρχαν δυσκολίες στη σύγκριση των αποτελεσμάτων, λόγω του μεγάλου πλήθους υποστρωμάτων και μικροοργανισμών που λαμβάνουν μέρος στη συνολική διεργασία. Γι' αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια καταβλήθηκαν σημαντικές προσπάθειες για να συνδεθούν η μικροβιολογία και η βιοχημεία της αναερόβιας χώνευσης και οι θεωρητικές και πρακτικές παρατηρήσεις των αναερόβιων βιοαντιδραστήρων.

Η αναερόβια βιοαποδόμηση του σύνθετου οργανικού υλικού περιγράφεται ως μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων με οριζόντιες και παράλληλες αντιδράσεις (Σχήμα 9) (Pavlostathis and Giraldo-Gomez, 1991). Αρχικά, σύνθετες πολυμερικές ενώσεις όπως είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη υδρολύονται από εξωκυτταρικά ένζυμα σε διαλυτά προϊόντα μικρότερου μεγέθους έτσι ώστε να μπορούν να εισχωρήσουν διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης στο εσωτερικό του κυττάρου. Αυτές οι σχετικά απλές διαλυτές ενώσεις ζυμώνονται ή οξειδώνονται αναερόβια σε πτητικά λιπαρά οξέα,

αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία. Τα πτητικά λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, είτε από την αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα από το υδρογόνο είτε από το οξικό.

Η συνολική διαδικασία της μετατροπής του σύνθετου οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε 7 στάδια ανάλογα με το σχήμα 9.

1. Υδρόλυση του σύνθετου οργανικού υλικού
2. Ζύμωση των αμινοξέων και των σακχάρων
3. Αναερόβια οξείδωση των μεγάλου μήκους λιπαρών οξέων και αλκοολών
4. Αναερόβια οξείδωση των ενδιάμεσων προϊόντων
5. Παραγωγή οξικού από διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο
6. Μετατροπή του οξικού σε μεθάνιο
7. Παραγωγή μεθανίου με αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα από υδρογόνο



Σχήμα 9. Μετατροπή του οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης.

Η αναερόβια χώνευση είναι μία διεργασία η οποία αν και αξιοποιεί ενεργειακά τη βιομάζα εντούτοις χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή η έξοδος της (επεξεργασμένα απόβλητα) έτσι ώστε να μην δημιουργείται περιβαλλοντικό πρόβλημα. Έτσι τα απόβλητα αυτά χρειάζονται ιδιαίτερη επεξεργασία και πρέπει να αντιμετωπίζονται ως κοινά υγρά απόβλητα. Στη συνέχεια θα αναλυθεί ο όρος υγρά απόβλητα, όπου και θα παρουσιαστούν οι τρόποι επεξεργασίας τους.

2.5 Υγρά απόβλητα

Με τον ορό υγρά απόβλητα αναφερόμαστε είτε στα απόβλητα από τις κατοικίες (αστικά υγρά απόβλητα), είτε σε αυτά από τις συνήθεις αγροτικές – βιομηχανικές – αξιοποίησης βιομάζας. Γενικότερα τα υγρά απόβλητα (χαμηλής οργανικής ισχύος) και τα αστικά υγρά απόβλητα παρουσιάζουν συνήθως μικρές μόνο διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά τους και αντιμετωπίζονται ως μια κοινή κατηγορία υγρών αποβλήτων όσον αφορά την επεξεργασία τους.

Το αποχετευτικό δίκτυο οδηγεί τα υγρά απόβλητα στην εγκατάσταση επεξεργασίας τους. Η επεξεργασία που είναι απαραίτητη εξαρτάται τόσο από την παροχή των λυμάτων όσο και από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διασφαλίζονται για τον αποδέκτη διάθεσης τους. Όταν η παροχή των διατιθέμενων λυμάτων είναι μικρή, είναι δυνατόν να επαρκεί το δυναμικό φυσικού αυτοκαθαρισμού του αποδέκτη και να μην απαιτείται επεξεργασία προκειμένου να μην παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητας του αποδέκτη.

Η επεξεργασία των λυμάτων έχει ως στόχο την επιτάχυνση των διεργασιών με τις οποίες επιτυγχάνεται ο καθαρισμός τους στη φύση. Διακρίνουμε δυο κύρια στάδια επεξεργασίας που η πρωτοβάθμια και η δευτεροβάθμια επεξεργασία. Η πρωτοβάθμια στοχεύει στην αφαίρεση αιωρούμενου υλικού και η δευτεροβάθμια αποβλέπει στην αφαίρεση και του διαλυτού υλικού. Σε μερικές περιπτώσεις ειδικών απαιτήσεων είναι απαραίτητη και περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. τριτοβάθμια επεξεργασία).

Τα τροφοδοτούμενα υγρά απόβλητα διέρχονται από εσχάρες όπου κατακρατώντας διάφορα ευμεγέθη στερεά και στη συνέχεια ακολουθεί ο αμμοσυλλέκτης όπου αφαιρείται η άμμος. Η πρωτοβάθμια καθίζηση αφαιρεί τα καθιζάνοντα

στερεά υπό μορφή πρωτοβάθμιας ιλύος και το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή. Η εκροή αυτή συνήθως δεν είναι κατάλληλης ποιότητας για διάθεση και έτσι ακολουθεί η δευτεροβάθμια επεξεργασία.

Στα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έχει επιτευχθεί σημαντική αφαίρεση οργανικού υλικού (80-85%). Η αφαίρεση αυτή επιτυγχάνεται με τη

βοήθεια μικροοργανισμών σε διεργασίες αιρούμενης βιομάζας (ενεργός ιλύς) ή προσκολλημένης βιομάζας (αντιδραστήρες με πληρωτικό υλικό ή μέσα επαφής). Κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία προκύπτει βιολογική λάσπη για την οποία απαιτείται (όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της πρωτοβάθμιας λάσπης) κατάλληλη επεξεργασία και διάθεση.

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία συμπληρώνεται με την απολύμανση. Όταν το υπολειπόμενο χλώριο δημιουργεί προβλήματα (ψάρια, υδρόβια ζωή, βλάστηση) ακολουθεί αποχλωρίωση πριν από την τελική διάθεση. Σε μερικές περιπτώσεις πάντως η απολύμανση γίνεται χωρίς τη χρησιμοποίηση χλωρίου(π.χ. με όζον ή υπεριώδη ακτινοβολία). Η αφαίρεση θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) απαιτεί εμπλοκή επιπλέον διεργασιών ή σταδίων στη δευτεροβάθμια επεξεργασία ή μπορεί να γίνεται σε περαιτέρω στάδια επεξεργασίας. Για καλύτερη αφαίρεση αιωρούμενων στερεών γίνεται, σε περιπτώσεις, διύλιση των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων.

Η τριτοβάθμια επεξεργασία για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ή άλλων συστατικών είναι επιθυμητή συνήθως όταν η συνιστώσα των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που περιέχουν τα αστικά υγρά απόβλητα είναι αισθητή και στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (π.χ. στη βιομηχανία, για άρδευση, για αναψυχή). Στη τριτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να εμπλακούν διεργασίες κροκίδωσης-ιζηματοποίησης και διύλισης ή διεργασίες προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα ή ακόμη και διεργασίες με μεμβράνες. Στα συστήματα μικρής κλίμακας είναι δυνατό να εφαρμοσθούν όλες οι μέθοδοι διάθεσης που ισχύουν εν γένει για ΕΕΛ. Η υπεδάφια διάθεση ωστόσο λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων επεξεργασίας, είναι πλεονεκτικότερη εξασφαλίζοντας τη συνεχή και αδιάλειπτη διάθεση των λυμάτων στο έδαφος, η οποία δεν επηρεάζεται από μικρές διακυμάνσεις της ποιότητας της εκροής. Σε πολλές περιπτώσεις είναι αναγκαίος ο περιορισμός της απαιτούμενης εδαφικής έκτασης, που μπορεί να εξασφαλισθεί από συστήματα υψηλής υδραυλικής φόρτισης.

Ειδικότερα για τα συστήματα μικρής κλίμακας θα πρέπει πάντα να εξετάζεται η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών, κατά κανόνα για άρδευση. Η επαναχρησιμοποίηση προϋποθέτει την υιοθέτηση των

απαιτούμενων από την σχετική νομοθεσία ποιοτικών χαρακτηριστικών ώστε να επιτυγχάνεται:

- Προστασία της δημόσιας υγείας. Το επαναχρησιμοποιούμενο νερό θα πρέπει να είναι ασφαλές και η χρήση του να μην εγκυμονεί κινδύνους, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με τους παθογόνους μικροοργανισμούς που περιέχονται στα υγρά απόβλητα.
- Προστασία του περιβάλλοντος. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η αποφυγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθώς και η προστασία της φυσικής πανίδας και χλωρίδας στην και περί την, αρδευόμενη περιοχή.
- Προστασία των αρδευόμενων φυτών. Θα πρέπει να εξετάζονται ενδεχόμενες δυσμενείς επιπτώσεις στα φυτά που αρδεύονται και στο έδαφος από την παρουσία χημικών ενώσεων και στοιχείων στα υγρά απόβλητα (π.χ βαρέα μέταλλα, νάτριο κλπ.)

2.5.1 Αναγκαιότητα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα πρέπει να υποβάλλονται πριν από τη διάθεσή τους σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να αμβλύνονται οι επιπτώσεις στους αποδέκτες. Ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων έχει κυρίως ως στόχο την προστασία των υδάτινων πόρων. Για την επιτυχή διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη η γνώση της προέλευσής τους και των χαρακτηριστικών τους ώστε να υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία που είναι αποδεκτή από τους ρυθμούς αυτοκαθαρισμού του αποδέκτη διάθεσής τους. Οι υδάτινοι αποδέκτες επιτυγχάνουν αποδόμηση των οργανικών συστατικών με τα οποία φορτίζονται (από τη διάθεση υγρών αποβλήτων) εφόσον η φόρτιση που δέχονται διατηρείται κάτω από το επίπεδο που αντιστοιχεί στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους. Εάν ένας υδάτινος αποδέκτης έχει φορτίσει πέραν των επιπέδων που αντιστοιχούν στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού του αρχίζει η εμφάνιση προβλημάτων και παύει να είναι υγιής. Όταν λοιπόν ο υδάτινος αυτός αποδέκτης χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και ως υδάτινος πόρος, απ' όπου γίνεται υδροληψία που προορίζεται για πόσιμο, απαιτούνται πολυδάπανες διεργασίες για την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να

ικανοποιούνται οι προδιαγραφές που ισχύουν για την ποιότητα του πόσιμου νερού.

Η αποχέτευση των οικιακών λυμάτων είναι μια γνωστή πρακτική από την αρχαιότητα. Η επεξεργασία (καθαρισμός) όμως των οικιακών λυμάτων όπως εφαρμόζεται σήμερα αποτελεί σχετικά πρόσφατη εξέλιξη. Διάφορες ασθένειες που ταλαιπώρησαν την ανθρωπότητα κατά το παρελθόν αφού εκδηλώθηκαν υπό μορφή επιδημιών είναι δυνατόν να μεταδοθούν μέσω του πόσιμου νερού. Μόλις όμως πριν από 100 χρόνια κατάλαβαν οι άνθρωποι. Αυτό το γεγονός και συνειδητοποίησαν ότι το πόσιμο νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε είδους ρύπανση. Το πόσιμο νερό όμως δε λαμβάνεται μόνο από σχετικά καλά προστατευμένους υπόγειους υδατικούς πόρους αλλά και από επιφανειακά νερά τα οποία είναι συνήθως οι πιο πρόσφοροι αποδέκτες για τα υγρά απόβλητα.

Η λύση θα ήταν να κρατηθούν τα υγρά απόβλητα μακριά από τα επιφανειακά νερά αλλά κάτι τέτοιο σε έναν αριθμό περιπτώσεων δεν ήταν δυνατόν και έτσι προέκυψε η ανάγκη για την επεξεργασία (καθαρισμό) των υγρών αποβλήτων. Το πρόβλημα των υγρών αποβλήτων γινόταν όλο και πιο έντονο από τις αρχές του 20ου αιώνα και ιδιαίτερα μετά από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο οπότε παρατηρήθηκε έντονη συγκέντρωση πληθυσμών στα αστικά κέντρα και ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη.

2.5.2 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα για να διοχετευτούν σε ένα υδάτινο αποδέκτη όπως γίνεται συνήθως, θα πρέπει να δεχτούν τη κατάλληλη επεξεργασία για την αποφυγή σοβαρών προβλημάτων. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσαρέσκεια παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί όμως στα υγρά απόβλητα είναι υπεύθυνοι για την μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Σοβαρό πρόβλημα δημιουργούν και τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, που είναι υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης σε υδάτινους φορείς. Αυτό οφείλεται στη κατανάλωση των οργανικών συστατικών όπου χρησιμοποιούν μικροοργανισμοί για την

ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό τους παράλληλα με την κατανάλωση οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό (Στάμου, 1995).

Με τον όρο διαχείριση υγρών αποβλήτων, χαρακτηρίζουμε κάθε σκόπιμη ανθρώπινη επέμβαση που έχει σαν στόχο τη μείωση της αρνητικής επίδρασης των λυμάτων στο περιβάλλον. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων έχουν σκοπό τον διαχωρισμό τους από τα βλαβερά συστατικά που περιέχουν ώστε να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον και στις καλλιέργειες (Στάμου, 1995). Με σκοπό τη προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιπτώσεις της απόρριψης των λυμάτων, εκδόθηκε η οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21/5/91 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, η οποία αφορά τη συλλογή, την επεξεργασία και την διάθεσή τους.

Η επεξεργασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλείφουν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά, κλπ) συνέπειες. Οι κύριοι στόχοι της επεξεργασίας των λυμάτων είναι η μείωση του BOD₅ (Βιοχημική Απαίτηση Οξυγόνου) (Μαυρίδου και Παπαπετροπούλου, 1995) και του αριθμού των μικροοργανισμών. Η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου των αστικών λυμάτων γίνεται με συνδυασμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών (Fresenius and Schneider, 1994). Οι διεργασίες αυτές σκοπεύουν να δεσμεύσουν και να αφαιρέσουν τους ρύπους από τη μάζα του νερού. Το σύνολο των διεργασιών αυτών είναι η διαδικασία επεξεργασίας και η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, στην οποία διαχωρίζονται με βιοτεχνικές διεργασίες οι ρύποι από το νερό, έχει επικρατήσει να ονομάζεται βιολογικός καθαρισμός (Αραβώσης κ.α., 2003). Η βασική αρχή, στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των βιολογικών καθαρισμών, είναι ο μετασχηματισμός των διαλυμένων οργανικών και ανόργανων ενώσεων, που αποτελούν τους ρύπους του νερού, με μεταβολικές διαδικασίες σε κύτταρα και εξωκυτταρικές ουσίες, που έχουν τη τάση να συσσωματώνονται. Για τη πρακτική εφαρμογή των διαφόρων διαδικασιών και μεθόδων καθαρισμού έχουν αναπτυχθεί ειδικές εγκαταστάσεις με κατάλληλη διαμόρφωση και εξοπλισμό, ώστε να

εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση με ελεγχόμενες και ρυθμιζόμενες συνθήκες. Έτσι έχουν διαμορφωθεί τέσσερα κυρίως βασικά στάδια καθαρισμού, που εκφράζουν φραστικά το βαθμό της καθαρότητας της τελικής απορροής (Μαρκαντωνάτος, 1990; Στάμου, 1995):

- 1) Προεπεξεργασία ,2) Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Μηχανικός καθαρισμός),
- 3) ,4) Τριτοβάθμια επεξεργασία (Χημικός καθαρισμός).

Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Μηχανικός καθαρισμός)

Στο στάδιο αυτό απομακρύνονται τα αιωρούμενα στερεά με καθίζηση (κατά 50-70%) και παράλληλα μειώνεται το οργανικό φορτίο μέχρι 35%. Σε αρκετές περιπτώσεις η πρωτοβάθμια επεξεργασία δεν εφαρμόζεται και τα υγρά απόβλητα καταλήγουν μετά τη προεπεξεργασία απευθείας στη δευτεροβάθμια επεξεργασία (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001; Κουλούμπης κ.α., 2005).

Δευτεροβάθμια επεξεργασία (Βιολογικός καθαρισμός)

Στη δευτεροβάθμια επεξεργασία πραγματοποιείται βιολογική απομάκρυνση της οργανικής ύλης των λυμάτων από μικροοργανισμούς και ακολούθως το διαχωρισμό των βιολογικών στερεών από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Ο βαθμός απομάκρυνσης της οργανικής ύλης και των στερεών είναι υψηλός και μπορεί να φτάσει μέχρι ποσοστό 95%. Στο στάδιο αυτό επιτελείται σχεδόν πλήρης απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και του BOD, κατά περίπτωση μάλιστα, μπορεί να γίνει και απομάκρυνση του αζώτου και φωσφόρου (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001). Υπό ειδικές συνθήκες και εάν η εγκατάσταση επεξεργασίας λειτουργεί σωστά, με συνδυασμό της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, επιτυγχάνεται ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων τέτοια ώστε το υγρό κλάσμα, να μπορεί να διατεθεί στους φυσικού αποδέκτες ή να χρησιμοποιηθεί για άρδευση λυμάτων (Κουλούμπης κ.α., 2005).

Τριτοβάθμια επεξεργασία (Χημικός καθαρισμός)

Το στάδιο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας αποτελεί σύνθεση επιμέρους μονάδων, η οποία ποικίλει ανάλογα με τους ρύπους που πρόκειται να υποστούν επεξεργασία (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001). Όταν το υγρό κλάσμα που

περιλαμβάνεται μετά το τέλος της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας προορίζεται για επαναχρησιμοποίηση ή υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα, τότε ακολουθεί τριτοβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών που δεν επιτυγχάνονται με τα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας. Η επεξεργασία αυτή είναι πολυδάπανη και περιλαμβάνει πολλά επί μέρους στάδια, όπως απολύμανση και ραφινάρισμα, απομάκρυνση θρεπτικών κλπ (Κουλούμπης κ.α., 2005).

3.Υλικά Και Μέθοδοι

4.1.μέτρηση pH

Η μέτρηση του pH γινόταν με τη χρήση φορητού πεχαμέτρου GLP 21 της CRISON σε δείγματα 10-15 ml σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η συγκεκριμένη συσκευή παρατίθεται στο σχήμα 10.



Σχήμα 10. Συσκευή μέτρησης της τιμής του pH

4.2 Προσδιορισμός ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών

Ο προσδιορισμός των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την αντίστοιχη μέθοδο, που περιγράφεται στο βιβλίο “ Standard Methods for the examination of water and wastewater ”.

Ολικά αιωρούμενα στερεά (ΟΑΣ) χαρακτηρίζονται τα μη διηθούμενα στερεά. Για τον προσδιορισμό τους, γνωστή ποσότητα καλώς αναμειγμένου δείγματος διηθείται σε προζυγισμένο ηθμό ινών ύαλου. Το υλικό που κατακρατείται στον ηθμό ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε φούρνο στους

103 –105 °C . Η αύξηση του βάρους του ηθμού αντιπροσωπεύει τα ολικά αιωρούμενα στερεά.

Τα πτητικά αιωρούμενα στερεά αποτελούν το κλάσμα των ολικών αιωρούμενων στερεών, το οποίο εξαερώνεται στους 550 °C . Για τον προσδιορισμό τους ο ηθμός στον οποίο έχουν κατακρατηθεί τα ολικά αιωρούμενα στερεά πυρακτώνεται, μέχρι σταθερού βάρους σε πυραντήριο στους 550 °C . Η μείωση του βάρους του ηθμού αντιστοιχεί στα πτητικά αιωρούμενα στερεά.

Ειδικότερα στην περίπτωση μας για να μετρήσουμε τα αιωρούμενα στερεά των δειγμάτων, πρώτα παίρναμε ειδικά φίλτρα διήθησεως (ένα για κάθε δείγμα) και ζυγίζαμε το βάρος τους. Μετά τα τοποθετούσαμε στη διηθητική συσκευή και διηθούσαμε 5 ml από το κάθε δείγμα. Σε κάθε αλλαγή δείγματος η διηθητική συσκευή ξεπλένονταν με απιονισμένο νερό. Μετά βάζαμε τα φίλτρα σε αλουμινόχαρτο και τα τοποθετούσαμε στο φούρνο στους 105 °C, για τουλάχιστον 24 ώρες. Μετά αφού τα βγάσαμε από το φούρνο τα αφήναμε στον ξηραντήρα για να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Και τέλος ζυγίζαμε ξανά τα φίλτρα και βρίσκαμε την ποσότητα από τη διαφορά της δεύτερης μέτρησης από την αρχική.



Σχήμα 11.Σύστημα διήθησης



σχήμα 12. Φούρνος 105 °C



Σχήμα 13. Ζυγαριά

3.3. Μέθοδος μέτρησης χημικά απαιτούμενου οξυγόνου

Ως χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (ΧΑΟ) ορίζεται η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου, που απαιτείται για την οξείδωση των συστατικών ενός δείγματος από ισχυρά οξειδωτικό μέσο. Ο προσδιορισμός του ΧΑΟ βασίζεται στο γεγονός ότι όλες οι οργανικές ενώσεις, με ελάχιστες εξαιρέσεις μπορούν να οξειδωθούν από ισχυρά οξειδωτικά. Η οξείδωση του οργανικού υλικού ενός διαλύματος γίνεται από περίσσεια διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$) με θέρμανση

και σε ισχυρά όξινες συνθήκες. Ως καταλύτης για την οξείδωση των αλειφατικών ενώσεων χρησιμοποιείται θειικός άργυρος (AgSO_4). Για την αποφυγή της δέσμευσης των ιόντων αργύρου από χλωριούχα, βρωμιούχα και ιωδιούχα ιόντα, τα οποία συνήθως υπάρχουν στα απόβλητα, γίνεται προσθήκη ιόντων υδραργύρου με τη μορφή θειικού υδραργύρου (HgSO_4), τα οποία συμπλοκοποιούνται με τα ιόντα αλογόνων, οδηγώντας τα σε ίζημα.

Ο προσδιορισμός του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου έγινε με τη μέθοδο της κλειστής επαναροής που περιγράφεται στο Standard Methods, με φωτομέτρηση στα 600 nm των ιόντων Cr^{3+} που προκύπτουν από την οξείδωση του οργανικού υλικού.

Ειδικότερα στις μετρήσεις μας, τοποθετούσαμε σε μια άδεια κυψέλη 2 ml δείγματος, μαζί με 1,2 ml διχρωμικού καλίου ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Μετά το διάλυμα οξειδώνονταν σε 2,8 ml θερμού διαλύματος θειικού οξέος (H_2SO_4), παρουσία καταλύτη θειικού αργύρου (AgSO_4). Μετά η κυψέλη τοποθετούνταν στο φούρνο για 2 ώρες στους 148 °C. Μετά το πέρας των 2 ωρών τα δείγματα αφήνονταν για να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου και μετρούσαμε στο φωτόμετρο στα 605 nm.



Σχήμα 14.Φωτόμετρο

5. Πειραματική Διάταξη

Η μέθοδος επεξεργασίας με την βοήθεια *Αντιδραστήρων Διαλείποντος Έργου (Sequencing Batch Reactors – SBR)* αναπτύχθηκε ως ένα εύχρηστο σύστημα παρατεταμένου αερισμού με μεγάλες δυνατότητες αυτοματοποίησης, γεγονός που ταιριάζει με τις απαιτούμενες συνθήκες επεξεργασίας των παραγόμενων αποβλήτων από την απορροή των αναερόβιων χωνευτήρων, τα οποία περιέχουν υψηλά οργανικά φορτία και χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία.

Ο μεγάλος όγκος της κύριας δεξαμενής ενός συστήματος SBR είναι να παρέχει ικανοποιητικές συνθήκες αερισμού, υψηλά ποσοστά αραίωσης των εισερχομένων υγρών αποβλήτων καθώς επίσης και υψηλή αντοχή σε ανάπτυξη συνθηκών που δύναται να διαταράξουν την ισορροπία του συστήματος. Χαρακτηριστικό της αποδοτικότητας και ευχρηστίας του συστήματος αποτελεί το γεγονός πως η συντριπτική πλειοψηφία των εγκατεστημένων συστημάτων επεξεργασίας διασταλαγμάτων στην Μεγ. Βρετανία κάνουν χρήση της τεχνολογίας SBR [Final DRAFT - Sector Guidance Note IPPC S5.03.].

Ο αντιδραστήρας διαλείποντος έργου περιοδικής λειτουργίας (sequencing batch reactor, SBR) αποτελεί μία από τις γνωστότερες παραλλαγές της συμβατικής μεθόδου ενεργού ιλύος. Πρόκειται για μια διεργασία πλήρωσης και εκκένωσης (fill-and-draw process), όπου τα διαδοχικά βήματα της βιολογικής οξειδωσης και καθίζησης πραγματοποιούνται στην ίδια δεξαμενή. Η εφαρμογή της τεχνολογίας SBR παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων συμβατικών μεθόδων βιολογικής επεξεργασίας. Τα εν λόγω πλεονεκτήματα απορρέουν από την εγγενή προσαρμοστικότητα και ευελιξία που παρέχει η κυκλική εναλλαγή λειτουργικών φάσεων, σήμα κατατεθέν της μεθόδου SBR. Έτσι, ο κυκλικός χαρακτήρας της λειτουργίας του SBR μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή, προκειμένου να αντισταθμιστούν τυχόν μεταβολές στις συνθήκες επεξεργασίας, στα χαρακτηριστικά της εισροής, ή στις απαιτήσεις ποιότητας της παραγόμενης εκροής (Kang et al., 2002).

Η λειτουργία όλων των συστημάτων SBR βασίζεται στη διαδοχική εφαρμογή των κάτωθι λειτουργικών βημάτων (Metcalf & Eddy, 2003):

Βήμα πλήρωσης (fill step), κατά το οποίο λαμβάνει χώρα τροφοδοσία του προς επεξεργασία υγρού αποβλήτου στον αντιδραστήρα σε συνθήκες πλήρους ανάμιξης.

Βήμα αντίδρασης (react step), κατά το οποίο λαμβάνει χώρα κατανάλωση του οργανικού υποστρώματος από την ενεργό βιομάζα υπό ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος. Αποτελείται από εναλλασσόμενες αερόβιες και ανοξικές περιόδους, με ή χωρίς αερισμό αντίστοιχα.

Βήμα καθίζησης (settle step), κατά το οποίο λαμβάνει χώρα διαχωρισμός των στερεών από το επεξεργασμένο υγρό απόβλητο σε συνθήκες ηρεμίας, με αποτέλεσμα την παραγωγή διαυγούς υπερκείμενου.

Βήμα εκκένωσης (draw/decant step), κατά το οποίο λαμβάνει χώρα απόρριψη του παραγόμενου υπερκείμενου από τον αντιδραστήρα ως εκροή.

Βήμα ηρεμίας (idle step), που χρησιμοποιείται ως χρόνος αναμονής μεταξύ των διαδοχικών βημάτων εκκένωσης και πλήρωσης σε συστήματα πολλαπλών δεξαμενών. Ως εκ τούτου, η χρήση του συχνά παραλείπεται.

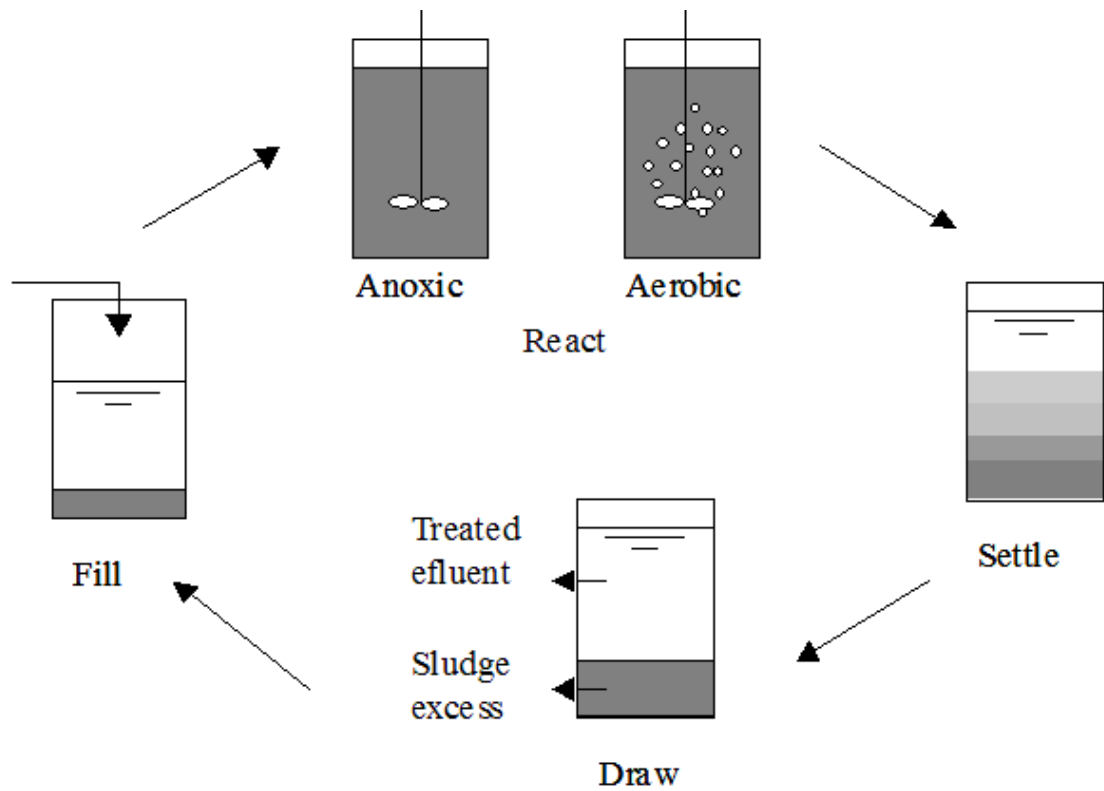
Η απόρριψη λάσπης στα συστήματα SBR δεν συμπεριλαμβάνεται ως ένα ακόμη διακριτό λειτουργικό βήμα, όπως τα παραπάνω. Η ποσότητα και συχνότητα της απόρριψης καθορίζεται από την απαιτούμενη απόδοση του εκάστοτε συστήματος, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τις συμβατικές εγκαταστάσεις συνεχούς ροής. Στις μονάδες SBR, η απόρριψη της περίσσειας ιλύος πραγματοποιείται συνήθως κατά τη διάρκεια του βήματος της αντίδρασης, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη απομάκρυνση στερεών από τον αντιδραστήρα. Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό της μεθόδου SBR είναι ότι δεν απαιτείται σύστημα ανακυκλοφορίας ιλύος. Επειδή ο αερισμός και η καθίζηση λαμβάνουν χώρα στην ίδια δεξαμενή, η απώλεια βιομάζας κατά το βήμα αντίδρασης είναι μηδενική, ενώ δεν υπάρχει εκ των πραγμάτων ανάγκη για επιστροφή ιλύος.

Ειδικότερα στο πείραμα μας χρησιμοποιήσαμε ως τροφοδοσία την απορροφή ενός αναερόβιου χωνευτήρα ο οποίος επεξεργαζόταν υγρά απόβλητα από εκχυλισμένα φυτικά υπολείμματα και χαρούπια.

Κατά την επεξεργασία των υγρών αυτών αποβλήτων, η διεργασία ήταν αυτοματοποιημένη, και γενικά ο κύκλος λειτουργίας των συστημάτων SBR είναι διάρκειας 24h σε μια δεξαμενή που τυπικά παρέχει την δυνατότητα μέσου υδραυλικού χρόνου παραμονής γύρω στις 10 ημέρες ή και περισσότερο όταν πρόκειται για την επεξεργασία αποβλήτων με ισχυρά ρυπαντικά φορτία στην σύνθεσή τους.

Ένας τυπικός 24h κύκλος λειτουργίας ενός τυπικού συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων από αναερόβιο χωνευτήρα είχε ως εξής (Σχήμα 15):

1. **Στάδιο Πλήρωσης και Αντίδρασης (Fill and React Stage):** κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου 5 – 10 min το υγρό απόβλητο εισέρχεται σταδιακά στο σύστημα κατά την διάρκεια της οποίας υπάρχει πλήρης αερισμός του αντιδραστήρα.
2. **Στάδιο Καθίζησης (Settle Stage):** ο αερισμός παύει για διάρκεια 1h κατά την διάρκεια της οποίας η βιομάζα καθιζάνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρξει μια διαστρωμάτωση ανάμεσα στην καθιζάνουσα ενεργό ιλύ και το υπερκείμενο διευγασμένο υγρό.
3. **Στάδιο Εκκένωσης (Decant Stage):** το εκρέον υπερκείμενο υγρό απομακρύνεται από την επιφάνεια της δεξαμενής του συστήματος SBR είτε μέσω υπερχειλίσης, είτε με την βοήθεια κάποιας αντλίας διήθησης.



the SBR process

Σχήμα 15. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων χρησιμοποιώντας αντιδραστήρα SBR.

Για την περίπτωση μας επιλέχτηκε ως αντιδραστήρας μία κωνική φιάλη χωρητικότητας 500 ml στην οποία τροφοδοτούνταν 100 ml σε κάθε κύκλο λειτουργίας (κάθε 24 ώρες). Μετά το πέρας των 23 ωρών το σύστημα αφήνεται σε ηρεμία έως ότου καθιζάνει η ενεργός ιλύς. Στη συνέχεια απομακρύνονταν 100 ml με τη βοήθεια υπερχειλίσης από το επεξεργασμένο απόβλητο. Η πειραματική μας διάταξη φαίνεται στο σχήμα 12.

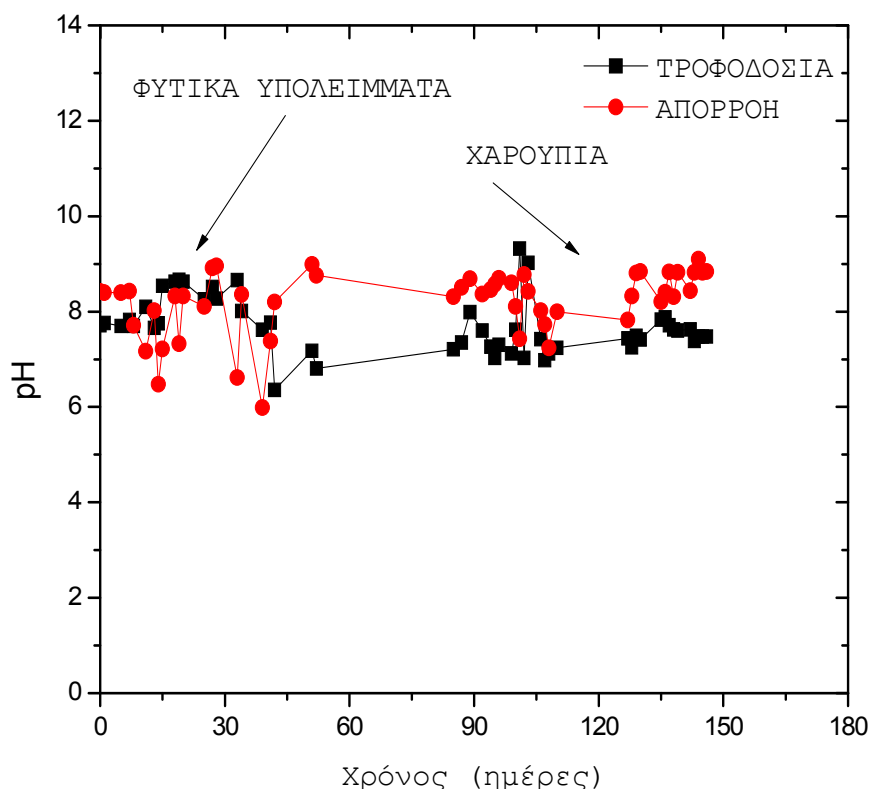


Σχήμα 16. Πειραματική διάταξη

Καθημερινά λαμβάνονταν προς ανάλυση δύο δείγματα ένα από την τροφοδοσία και ένα από την απορροή του συστήματος, στα οποία πραγματοποιούνταν όλες οι αναλύσεις που προαναφέρθηκαν.

6. Αποτελέσματα

Όπως προαναφέρθηκε σε κάθε δειγματοληψία μετρούταν η τιμή του pH τόσο για την τροφοδοσία τους αντιδραστήρα όσο και για την απορροή. Στο σχήμα 17 φαίνονται οι τιμές που προέκυψαν για το διάστημα των 150 ημερών όπου και παρατηρούταν ο αντιδραστήρας.



Σχήμα 17. Τιμή του pH για την τροφοδοσία και την απορροή του αντιδραστήρα.

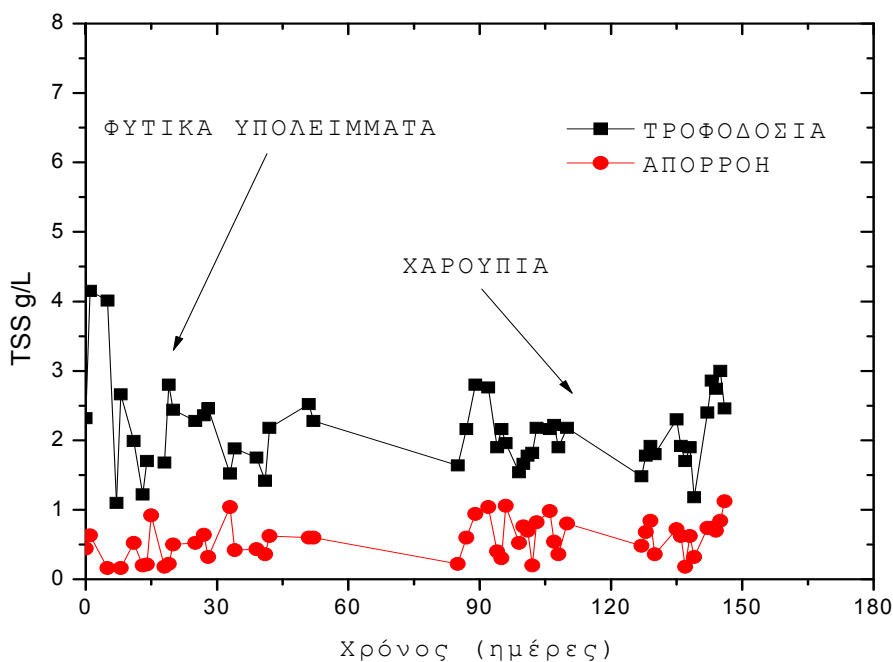
Παρατηρώντας το διάγραμμα προκύπτει ότι τα φυτικά υπολείμματα μετά την επεξεργασία τους με αναερόβια χώνευση παρουσίαζαν υψηλότερη τιμή του pH σε σχέση με αυτή των χαρουπιών. Έτσι οι τιμές για τα φυτικά υπολείμματα κυμαινόταν μεταξύ του 7.8 και του 9 για το διάστημα των 45 ημερών. Τα υγρά απόβλητο που προέκυψε από την αναερόβια επεξεργασία χαρουπιών είχε τιμές μεταξύ του 7 και του 8. Αυτή η διαφορά συνέβαινε γιατί κατά την

αναερόβια επεξεργασία των φυτικών υπολειμμάτων γινόταν προθήκη αλκαλικότητας.

Όσον αφορά την απορροή του αντιδραστήρα SBR παρατηρήθηκε μία αστάθεια στις τιμές του pH για το απόβλητο με τα φυτικά υπολείμματα, ενώ αντίθετα σε αυτό με τα χαρούπια οι τιμές ήταν πολύ πιο σταθερές.

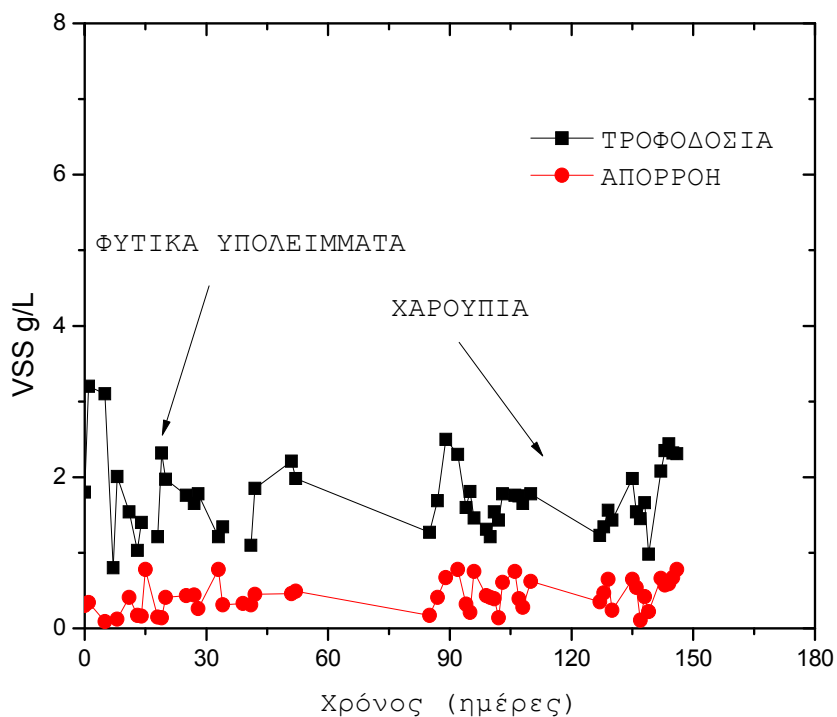
Τα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την επεξεργασία των δύο αυτών αποβλήτων είναι ότι δεν χρειάστηκε ρύθμιση του pH χρησιμοποιώντας κάποια ρυθμιστικά διαλύματα.

Στο Σχήμα 18. παρατίθεται η διακύμανση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών για το χρονικό διάστημα του πειράματος. Από το διάγραμμα της τροφοδοσίας διαπιστώνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις η συγκέντρωση των TSS είναι μεταξύ των 1,5 και των 3 g/L. Ομοίως και στο διάγραμμα της απορροής η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ των 0,2 και του 1,0 g/L. Από τα δύο αυτά διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι η απορροή του συστήματος είναι αρκετά πιο καθαρή (λιγότερα στερεά) από την τροφοδοσία, δηλαδή παρατηρείται μείωση κατά 71,4%.



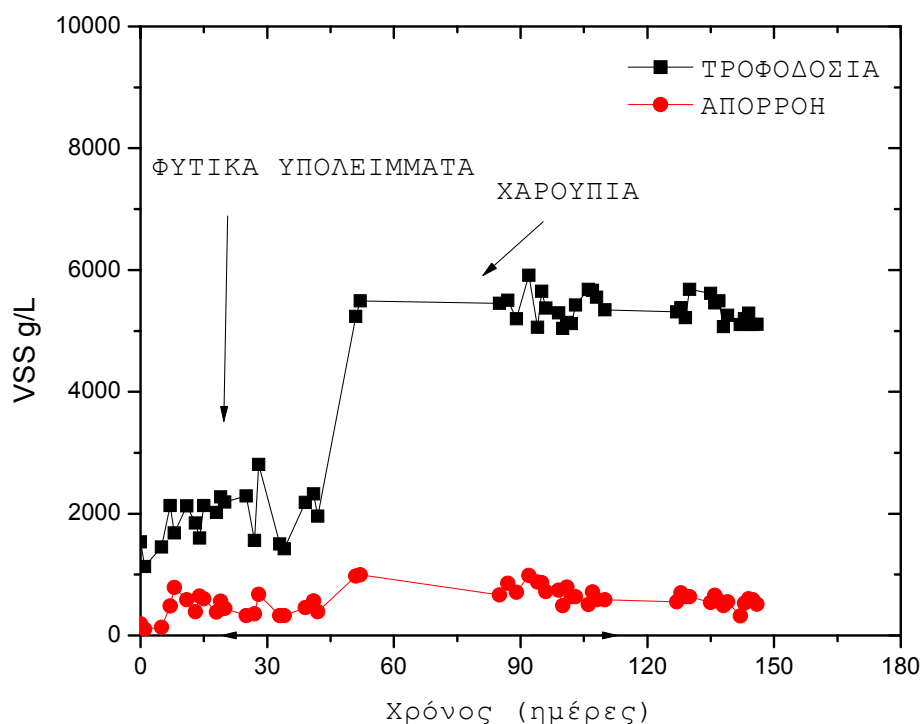
Σχήμα 18. Μεταβολή των TSS στον αντιδραστήρα SBR

Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και για τα πτητικά αιωρούμενα στερεά όπως φαίνονται στο Σχήμα 19. Αντίστοιχα το ποσοστό μείωσης για τα VSS είναι 75%



Σχήμα 19. Μεταβολή των VSS στον αντιδραστήρα SBR

Τέλος στο σχήμα 20 φαίνεται η μεταβολή του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD). Από το συγκεκριμένο διάγραμμα προκύπτει το ποσοστό της μείωσης του COD είναι 76,4 % για τα απόβλητα από τα φυτικά υπολείμματα και 84,5 % για τα χαρούπια, γεγονός που αποδεικνύει την ικανοποιητική λειτουργία του συστήματός μας. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η διαφορά του COD που προκύπτει μεταξύ των φυτικών υπολειμμάτων και των χαρουπιών οφείλεται στο ότι τα χαρούπια περιέχουν αρκετά σάκχαρα άρα και μεγαλύτερο αρχικό COD.



Σχήμα. 20μεταβολή του αντιδραστήρα SBR

7. Συμπεράσματα

- Η αναερόβια χώνευση είναι μία διεργασία που αξιοποιεί τα απόβλητα αλλά έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός νέου υγρού αποβλήτου που χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία.
- Ο αντιδραστήρας SBR αποδείχτηκε ένα αρκετά καλό σύστημα για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από φυτικά υπολείμματα και χαρούπια, καθώς παρατηρήθηκε ιδιαίτερα καλή απομάκρυνση στα ολικά αιωρούμενα και πτητικά αιωρούμενα στερεά, αλλά και στο COD που είναι μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους.
- Ως μελλοντική εργασία θα προτείναμε τη βελτιστοποίηση των συνθηκών αλλάζοντας τη χρονική διάρκεια του κύκλου λειτουργίας του SBR σε μικρότερο χρονικό διάστημα, ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί περισσότερος όγκος αποβλήτων.

8. Βιβλιογραφία

- 1.Λυμπεράτος Γ., “Μηχανική υγρών αποβλήτων”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1995.
- 2.Τσώνης Σ., “Επεξεργασία λυμάτων”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004.
- 3.Φουντουλάκης Μ., “Τύχη και επίδραση ξενοβιοτικών ουσιών κατά την αναερόβια χώνευση υγρών αποβλήτων και ιλύος”, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστημίου Πατρών, 2005.
- 4.Βουρδούμπας Γ., Μακρής Δ., Κεφάλας Π., Καλιακάτσος Γ., Ναζάκης Γ., “Αξιοποίηση του χαρουπιού για παραγωγή βιοαιθανόλης”. 7ο Εθνικό Συνέδριο για τις ΑΠΕ, Πάτρα. 6-8/11/02, Πρακτικά, σελ. 205-210.
- 5.“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 19th ed, American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation, Washington DC, USA, 1995