



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**Διπλωματική εργασία με θέμα:**

**«Δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από  
Ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς με  
την χρήση διαλύματος μικροαλγών»**



**της φοιτήτριας: Αλφιέρη Νοριννέε**

**Υπεύθυνος καθηγητής: Εμμ. Κ. Κακαράς**

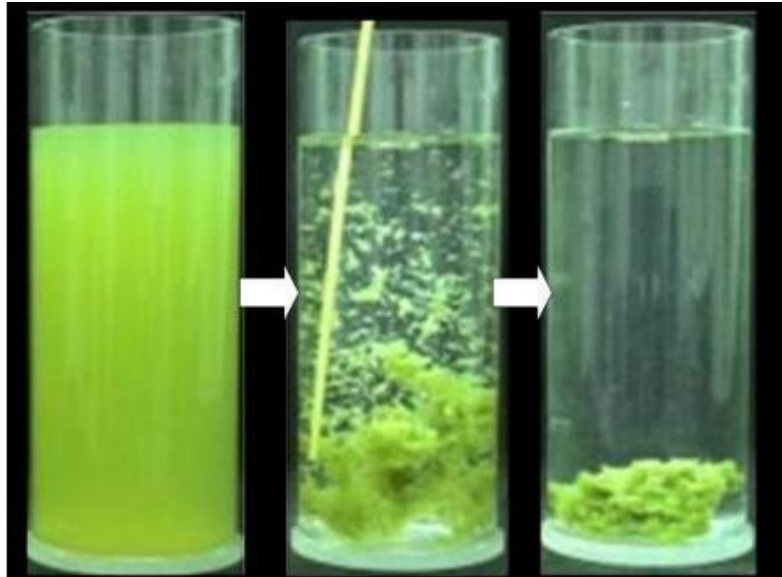
**Αθήνα 2009**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

Διπλωματική εργασία με θέμα:

**«Δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από  
Ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς με  
την χρήση διαλύματος μικροαλγών»**



της φοιτήτριας: **Αλφιέρη Νοριννέε**

Υπεύθυνος καθηγητής: **Εμμ. Κ. Κακαράς**

**Αθήνα 2009**

## Περιεχόμενα

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.      | Εισαγωγή.....   | 5  |
| 1.1.    | Γενικά στοιχεία.....  | 5  |
| 1.2.    | Τρόποι δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα.....                          | 6  |
| 2.      | Μικροάλγεις.....  | 8  |
| 2.1.    | Τι είναι οι μικροάλγεις.....  | 8  |
| 2.2.    | Ιστορική αναδρομή.....  | 8  |
| 2.3.    | Παραγωγικότητα μικροαλγών και περιεκτικότητα αυτών σε<br>λιπίδια..... | 9  |
| 2.4.    | Αλυσίδα παραγωγής βιοκαυσίμου από μικροάλγεις.....                    | 10 |
| 2.5.    | Επιλογή μικροαλγών και κριτήρια βιωσιμότητας καλλιέργειας..           | 11 |
| 2.6.    | Καλλιέργεια μικροαλγών.....   | 12 |
| 2.7.    | Συγκομιδή.....  | 13 |
| 2.8.    | Συστήματα καλλιέργειας μικροαλγών.....                                | 14 |
| 2.8.1.  | Είδη συστημάτων.....  | 14 |
| 2.8.2.  | Ανοικτά και κλειστά συστήματα καλλιέργειας.....                       | 15 |
| 2.9.    | Χρόνος λειτουργίας εγκατάστασης καλλιέργειας μικροαλγών....           | 16 |
| 2.10.   | Διάφορες εφαρμογές και χρήσεις των μικροαλγών.....                    | 17 |
| 2.10.1. | Καθαρισμός λυμάτων.....   | 17 |
| 2.10.2. | Χημική επεξεργασία μικροαλγών.....                                    | 18 |
| 2.10.3. | Εφαρμογές στον τομέα της υγείας.....                                  | 18 |
| 3.      | Βιοκαύσιμα (Biodiesel).....   | 19 |
| 3.1.    | Παραγωγή βιοκαυσίμου.....   | 19 |
| 4.      | Περιγραφή εγκατάστασης καλλιέργειας μικροαλγών.....                   | 20 |
| 4.1.    | Αρχικό στάδιο.....  | 20 |
| 4.2.    | Περιγραφή εγκατάστασης Bergheim – Niederaussem.....                   | 22 |
| 4.3.    | Περιγραφή μελετώμενης εγκατάστασης , σε λιγνιτική μονάδα<br>ΑΗΣ.....  | 23 |
| 5.      | Υπολογισμός παραμέτρων εξοπλισμού μελετώμενης εγκατάστασης.....       | 26 |
| 5.1.    | Υπολογισμός παραγόμενων καυσαερίων.....                               | 27 |
| 5.2.    | Υπολογισμός ποσότητας διαλύματος μικροαλγών.....                      | 29 |
| 5.3.    | Υπολογισμός Διαμέτρου αγωγών.....                                     | 31 |
| 5.3.1.  | Αγωγός αναρρόφησης καυσαερίων προ εναλλάκτη<br>θερμότητας.....        | 33 |
| 5.3.2.  | Αγωγός αναρρόφησης καυσαερίων μετά εναλλάκτη<br>θερμότητας.....       | 34 |
| 5.3.3.  | Αγωγοί βασικού μίγματος.....  | 35 |
| 5.3.4.  | Αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίων από τους<br>αντιδραστήρες.....          | 36 |
| 5.3.5.  | Αγωγοί αναρρόφησης αέρα προς τους αντιδραστήρες.....                  | 37 |
| 5.4.    | Εναλλάκτης θερμότητας (dry cooler).....                               | 38 |
| 5.5.    | Ανεμιστήρας (Fan).....  | 39 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 5.6.     | Δεξαμενές (tank).....   | 40 |
| 5.7.     | Διασκορπιστήρες καυσαερίων.....   | 42 |
| 5.8.     | Αντιδραστήρες (photobioreactors).....   | 43 |
| 5.9.     | Διαχωριστής (harvester) .....   | 44 |
| 5.10.    | Βοηθητικές Αντλίες και Ανεμιστήρες.....   | 46 |
| 5.11.    | Καμινάδα.....   | 47 |
| 5.12.    | Θερμοκήπιο (Greenhouse) .....   | 48 |
| 5.13.    | Γη.....   | 48 |
| 5.14.    | Μονάδα παραγωγής Biodiesel.....   | 48 |
| 6.       | Υπολογισμός κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης αυτού.....                      | 50 |
| 6.1.     | Θεωρητικά στοιχεία κατανομής και υπολογισμού δαπανών<br>σταθερού κεφαλαίου..... | 50 |
| 6.1.1.   | Διαχωρισμός κόστους επένδυσης σε άμεσο και έμμεσο<br>κόστος.....                | 50 |
| 6.1.2.   | Δείκτες Δαπανών (Cost Index).....   | 52 |
| 6.2.     | Υπολογισμός κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης αυτού.....                      | 53 |
| 6.2.1.   | Αγωγοί.....   | 55 |
| 6.2.1.1. | Αγωγός αναρρόφησης καυσαερίων προ<br>εναλλάκτη θερμότητας.....                  | 55 |
| 6.2.1.2. | Αγωγός αναρρόφησης μετά εναλλάκτη<br>θερμότητας.....                            | 57 |
| 6.2.1.3. | Τελικό τμήμα αγωγού αναρρόφησης<br>καυσαερίων.....                              | 59 |
| 6.2.1.4. | Αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίου από τους<br>αντιδραστήρες.....                    | 60 |
| 6.2.1.5. | Αγωγοί αναρρόφησης βασικού μίγματος.....  | 61 |
| 6.2.1.6. | Αγωγοί αναρρόφησης αέρα.....  | 62 |
| 6.2.2.   | Εναλλάκτης θερμότητας.....  | 63 |
| 6.2.3.   | Ανεμιστήρας αναρρόφησης καυσαερίων από ΑΗΣ.....                                 | 65 |
| 6.2.4.   | Βοηθητικοί ανεμιστήρες.....   | 66 |
| 6.2.5.   | Δεξαμενές .....   | 67 |
| 6.2.6.   | Αντιδραστήρες.....  | 68 |
| 6.2.7.   | Διαχωριστής-Κινητήρας διαχωριστή.....   | 70 |
| 6.2.8.   | Βοηθητικές αντλίες- Κινητήρες βοηθητικών αντλιών.....                           | 72 |
| 6.2.9.   | Καμινάδα.....   | 73 |
| 6.2.10.  | Θερμοκήπιο.....   | 74 |
| 6.2.11.  | Γη.....   | 75 |
| 7.       | Συνολικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.....                                  | 76 |
| 7.1.     | Κόστος επένδυσης.....   | 76 |
| 7.1.1.   | Θεωρητική επιμέρους ανάλυση στοιχείων κόστους<br>επένδυσης.....                 | 76 |
| 7.1.2.   | Υπολογισμός συνολικού κόστους επένδυσης.....                                    | 78 |
| 7.2.     | Κόστος λειτουργίας.....   | 82 |
| 7.2.1.   | Θεωρητική ανάλυση κόστους λειτουργίας.....                                      | 82 |
| 7.2.2.   | Υπολογισμός κόστους λειτουργίας.....  | 83 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 8.       | Οικονομική ανάλυση αποτελεσμάτων.....   | 87  |
| 8.1.     | Υπολογισμός Παρούσας αξίας.....   | 88  |
| 8.1.1.   | Παρούσα αξία επένδυσης σεναρίου Α.....  | 88  |
| 8.1.1.1. | Παρούσα αξία δαπανών σε φόρους διοξειδίου του άνθρακα με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα.....  | 88  |
| 8.1.1.2. | Παρούσα αξία δαπανών σε φόρους διοξειδίου του άνθρακα με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα.....  | 91  |
| 8.1.2.   | Παρούσα αξία επένδυσης σεναρίου Β.....  | 92  |
| 8.1.2.1. | Παρούσα αξία επένδυσης και λειτουργίας μελετώμενης εγκατάστασης δέσμησης CO <sub>2</sub> με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα.....   | 92  |
| 8.1.2.2. | Παρούσα αξία εσόδων από πώληση βιοκαυσίμου με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα..  | 94  |
| 8.2.     | Αποτελέσματα σύγκρισης των παρούσων αξιών των επιμέρους εναλλακτικών και υπολογισμός τιμών φόρου tη CO <sub>2</sub> και m <sup>3</sup> βιοκαυσίμου σε κάθε περίπτωση..... | 96  |
| 8.3.     | Ανάλυση ευαισθησίας συνολικού κόστους επένδυσης.....  | 98  |
| 8.4.     | Ανάλυση ευαισθησίας οικονομικότητας (τιμή τελικού προϊόντος) σε σχέση με το κόστος επένδυσης.....   | 105 |
| 8.5.     | Υπολογισμός κόστους εξοπλισμού θεωρώντας δεδομένη την τιμή πώλησης m <sup>3</sup> βιοκαυσίμου.....  | 107 |
| 9.       | Συμπεράσματα.....   | 111 |
| 10.      | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....   | 115 |
| 11.      | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....  | 117 |

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Γενικά Στοιχεία

Την σημερινή εποχή στην Ευρώπη βασικές πηγές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν οι τομείς Μεταφοράς και Ενέργειας, αγγίζοντας ποσοστά της τάξης του 20% και 60% αντίστοιχα. Ο τομέας της Γεωργίας αποτελεί τον τρίτο κατά σειρά ανθρωπογενή παράγοντα, αντιπροσωπεύοντας το 9% της παραγωγής αντίστοιχων αερίων<sup>1</sup>.

Πέραν του προφανούς περιβαλλοντικού κινδύνου που προκαλούν τα αέρια του θερμοκηπίου η παραγωγή τους δεν συμβάλλει μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Οι ωκεανοί, ως μέσον δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, έχουν πλέον αυξημένη οξύτητα<sup>1</sup>, ενώ το χαμηλό τους pH μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή κοραλλιογενών οικοσυστημάτων, τα οποία και αποτελούν βασικό κρίκο της ωκεάνιας ζωής.

Εξαιτίας όλων αυτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι πλέον απαραίτητη η εύρεση λύσεων, ενεργειακού προφίλ. Ένα μέρος της λύσης είναι η εύρεση νέων πηγών ενέργειας έτσι ώστε να μειωθεί η κατανάλωση φυσικών πόρων, οι οποίοι αυτήν την στιγμή παρουσιάζουν υψηλό κόστος τόσο στην εύρεση όσο και στην μεταφορά, αλλά να επιτευχθεί και μείωση της μόλυνσης που προκαλείται από την έως τώρα χρήση τους. Ένα δεύτερο μέρος της λύσης είναι η προσπάθεια μείωσης, μέσω δέσμευσης, των σημερινών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Πρώτο βήμα στην νέα περιβαλλοντική αντίληψη, που επιδεικνύουν πλέον τα κράτη, αποτέλεσε το πρωτόκολλο του Κιότο, στο οποίο, τα κράτη που υπέγραψαν, καλούνται να μειώσουν τις εκπομπές τους σε διοξείδιο του άνθρακα.

Σήμερα ερευνητικά προγράμματα βρίσκονται σε εφαρμογή με σκοπό την εύρεση ή βελτίωση εναλλακτικών πηγών ενέργειας<sup>1</sup>, έχοντας ως βασικά παραδείγματα την ηλιακή και την αιολική ενέργεια ή τα βιοκαύσιμα. Κάθε μια από αυτές επιφέρει ή όχι τα αναμενόμενα αποτελέσματα αναλόγως τον τρόπο και τον τόπο εφαρμογής της.

Τα πιο ευρέως γνωστά βιοκαύσιμα είναι το biodiesel και η βιοαιθανόλη<sup>13</sup>, που μπορούν να αντικαταστήσουν την χρήση του diesel και της βενζίνης αντίστοιχα. Παράγονται από βιομάζα και κατά την καύση τους παράγουν μικρότερες ποσότητες βλαβερών καυσαερίων ανά κυβικό μέτρο από τα κοινά καύσιμα. Λόγω της σχετικά εύκολης παραγωγής και μεταφοράς τους χρησιμοποιούνται ως πηγές πράσινης ενέργειας έως ότου άλλες μορφές της τελευταίας εξελιχθούν αρκετά ώστε να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ευρέως, όπως το υδρογόνο<sup>1</sup>. Παρά το γεγονός ότι τα βιοκαύσιμα, σήμερα, είναι ακριβότερα από τα συμβατικά καύσιμα η παραγωγή τους ενθαρρύνεται από τις περισσότερες κυβερνήσεις, αγγίζοντας έτσι την παραγωγή τριάντα πέντε δισεκατομμυρίων λίτρων βιοκαυσίμου ανά έτος<sup>1</sup>. Στην Ευρώπη, συγκεκριμένα, το biodiesel

αποτελεί βασικό αντικαταστάτη του diesel και γι αυτό αποτελεί το 82% της παραγωγής βιοκαυσίμων<sup>1</sup>.

Το biodiesel παράγεται από ζωικά ή φυτικά λίπη, τα δεύτερα αποτελώντας την βασική πρώτη ύλη σήμερα. Για τον παραπάνω λόγο είναι πιθανόν η ευρεία καλλιέργεια φυτών κατάλληλων για παραγωγή biodiesel να αυξήσει αισθητά την τιμή της τροφής, δημιουργώντας μη ευνοϊκές συνθήκες για την παραγωγή του και την κατανάλωση του. Πέραν αυτού η καλλιέργεια εκτάσεων για την παραγωγή biodiesel, μπορεί να οδηγήσει στην αποψίλωση των δασικών εκτάσεων, γεγονός απαγορευτικό<sup>2</sup>.

Απαραίτητο χαρακτηριστικό των βιοκαυσίμων, με στόχο την εδραίωση τους, πρέπει να αποτελέσει η χαμηλή τιμή, ή έστω μια συγκρίσιμη τιμή με αυτή του πετρελαίου. Συγκεκριμένα είναι γνωστό πως το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου εξαρτάται κατά 85% από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιεί<sup>2</sup>. Συνεπώς, έχοντας άμεσο στόχο, την μείωση της τιμής των βιοκαυσίμων σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, έπρεπε να βρεθούν διαφορετικές, φθηνότερες πρώτες ύλες.

Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στην δεύτερη γενιά βιοκαυσίμων, όπως οι μικροάλγεις<sup>1</sup>, οι οποίες υπερέχουν σε θέμα παραγωγικότητας, ευκολίας καλλιέργειας και κόστους από τα συμβατικά καύσιμα ή άλλου είδους βιομάζα. Πέραν όμως αυτού, οι μικροάλγεις έχουν αυξημένη φωτοσυνθετική ικανότητα, γεγονός που τις καθιστά ικανές στην απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται στα καυσαέρια μιας εργοστασιακής μονάδας.

Στην παρούσα μελέτη θα αναλυθεί η χρήση μικροαλγών στην δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από Ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες και η μετέπειτα χρήση τους ως πρώτη ύλη στην παραγωγή biodiesel. Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί μια οικονομική ανάλυση μιας αντίστοιχης επένδυσης, εφαρμοζόμενη σε μία λιγνιτική μονάδα ισχύος 300 MW, στην περιοχή της Πτολεμαΐδας.

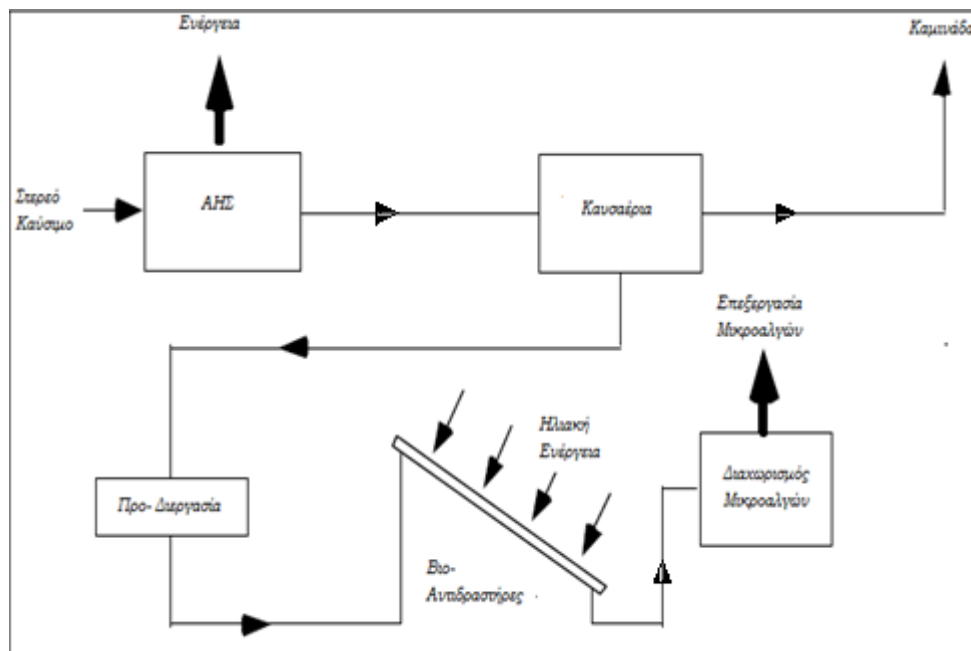
## **1.2. Τρόποι δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)**

Ένας τρόπος μείωσης των εκπομπών αποτελεί η δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από τα καυσαέρια και η εν συνέχεια απομάκρυνσή του από την ατμόσφαιρα. Μερικοί από τους τρόπους που χρησιμοποιούνται ή έχουν χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό είναι οι παρακάτω:

- Χρήση μονοαιθανολαμινικού διαλύματος για την «απορρόφηση» του CO<sub>2</sub><sup>3</sup>,
- Χρήση τεχνολογίας μεμβρανών για την «κατακράτηση» του CO<sub>2</sub> (αποτελεί βελτιστοποίηση της παραπάνω μεθόδου)<sup>3</sup>,
- Χρήση «μοριακού κόσκινου» για την απομάκρυνση των μη επιθυμητών μορίων από το μίγμα<sup>3</sup>,
- Απευθείας εμβολισμός του CO<sub>2</sub> μέσα στην γη ή στον ωκεανό<sup>3</sup>,

- Χρήση μικροαλγών για την κατακράτηση του CO<sub>2</sub> από τα καυσαέρια<sup>3</sup>.

Η τελευταία μέθοδος αποτελεί μια σχετικά καινούρια εφαρμοζόμενη μέθοδο, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, η οποία ακόμη θεωρείται ασύμφορη, δεδομένου του ότι η εφαρμογή της στα εργοστάσια αυτή την χρονική στιγμή έχει μεγαλύτερο κόστος ανά παραγόμενο τόνο CO<sub>2</sub> από ότι το αντίστοιχο ποσό που ζητείται ως φόρος εκπομπών<sup>3</sup>. Παρά το γεγονός αυτό όμως, η εφαρμογή της δεν αποτελεί μόνο τρόπο μείωσης των εκπομπών καθώς οι αναπτυσσόμενες μικροάλγεις, αποτελούν βιομάζα, μεγάλης ενεργειακής ικανότητας. Ο βασικός άξονας της διαδικασίας που ακολουθείται, φαίνεται στο Σχ.1.



Σχ.1, Διαγραμματική απεικόνιση βασικής διαδικασίας δέσμευσης CO<sub>2</sub>, με την χρήση μικροαλγών<sup>3</sup>.

Βασική αιτία μελέτης και έρευνας της χρήσης των μικροαλγών ως δεσμευτικοί οργανισμοί αποτελεί η αυξημένη φωτοσυνθετική ικανότητα τους, σε σχέση με αυτήν των φυτικών οργανισμών που αναπτύσσονται στην γη, όπως προαναφέρεται. Πιο συγκεκριμένα, οι τελευταίοι, μέσω της φωτοσύνθεσης έχουν την ικανότητα απορρόφησης 0,0036% CO<sub>2</sub> από την συγκέντρωση περιβάλλοντος ενώ οι μικροάλγεις φτάνουν ποσοστά της τάξης του 10-20% CO<sub>2</sub> από τα καυσαέρια<sup>4</sup>. Αναλυτικότερα πληροφορίες σχετικά με τις μικροάλγεις δίνονται παρακάτω.



## **2. Μικροάλγεις**

### **2.1. Τι είναι οι μικροάλγεις**

Οι μικροάλγεις είναι μικροοργανισμοί γρήγορα αναπτυσσόμενοι, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσονται κάτω από σκληρές συνθήκες, όπως για παράδειγμα αυξημένα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα ή μονοξειδίων αζώτου, θείου κλπ<sup>5</sup>. Οι μικροάλγεις βρίσκονται σε όλα τα οικοσυστήματα, όχι μόνο υδάτινα αλλά και γήινα. Θεωρείται πως ο αριθμός διαφορετικών ειδών μικροαλγών αγγίζει τις 50.000, ενώ έχουν καταγραφεί οι 30.000<sup>1</sup>.

Οι μικροάλγεις αναπαράγονται μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, ενώ έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσονται σχεδόν παντού, απαιτώντας μόνο ηλιακή ενέργεια και συγκεκριμένα θρεπτικά στοιχεία. Βασικό τους πλεονέκτημα σε σχέση με τις συμβατικές καλλιέργειες, εκτός του μεγάλου ποσοστού ανάπτυξης, είναι η μικρή απαιτούμενη επιφάνεια, καθώς και η δυνατότητα ανάπτυξης τους σε περιβάλλοντα όπου τα συμβατικά φυτά δεν θα μπορούσαν.

Βασικά παράγωγα των μικροαλγών αποτελούν το biodiesel, το μεθάνιο, το υδρογόνο και η αιθανόλη<sup>1</sup>. Όσον αφορά το biodiesel που παράγουν, δεν περιέχει θείο και είναι κατάλληλο όσο και το κοινό diesel, ενώ ταυτόχρονα η καύση του μειώνει δραστικά τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων αζώτου και θείου. Η Αμερικάνικη επιτροπή ενέργειας (American Department of Energy), εκτιμά πως καύσιμα παραγόμενα από άλγεις έχουν 30 φορές περισσότερη αποθηκευμένη ενέργεια από αντίστοιχα καλλιεργούμενα συμβατικά ενεργειακά φυτά<sup>6</sup>.

Πέραν της καταλληλότητας τους για την παραγωγή βιοκαυσίμου οι μικροάλγεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα για διάφορους σκοπούς, όπως δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από τα καυσαέρια εργοστασιακών μονάδων, δέσμευση αμμωνίου (NH<sub>4</sub>), νιτρικών ριζών (NO<sub>3</sub>) και φωσφορικών ριζών (PO<sub>4</sub>) από λήμματα, παραγωγή λιπασμάτων κλπ.

### **2.2. Ιστορική αναδρομή**

Οι μικροάλγεις, η ανάπτυξη τους καθώς και οι τρόποι χρήσης και εφαρμογής τους μελετώνται τα τελευταία 50 χρόνια. Η πρώτη καλλιέργεια μεγάλης κλίμακας αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία στις αρχές του 1960 και η χρησιμοποιούμενη μικροάλγη ήταν η *Chlorella*. Το ενδιαφέρον προς τις μικροάλγεις και ιδιαίτερα προς την χρήση τους ως πρώτη ύλη παραγωγής καυσίμου, αυξήθηκε την δεκαετία του 70, όπου και έλαβε χώρα η πρώτη κρίση πετρελαίου<sup>1</sup>.

Η πρόσφατη διακύμανση της τιμής του πετρελαίου και η αναμενόμενη μελλοντική αύξηση αυτής, σε συνδυασμό με την απαίτηση μείωσης των

μολυσματικών εκπομπών και των αερίων του θερμοκηπίου, έχει δημιουργήσει ένα νέο ενδιαφέρον για την παραγωγή biodiesel χρησιμοποιώντας μικροάλγεις. Για παράδειγμα υπάρχει ήδη μια σειρά από εταιρίες που κατασκευάζουν και θέτουν προς πώληση ολοκληρωμένα συστήματα ανάπτυξης μικροαλγών<sup>1</sup>.

Σήμερα οι μικροάλγεις αποτελούν μια από τις βασικές πηγές βιομάζας και παρόλο που το κόστος τους ξεπερνά αυτό του πετρελαίου, τόσο πανεπιστημιακά ιδρύματα, όσο και εταιρίες, χρηματοδοτούν την καλλιέργειά τους<sup>1</sup>.

### 2.3. Παραγωγικότητα μικροαλγών και Περιεκτικότητα αυτών σε λιπίδια

Πολλά είδη μικροαλγών έχουν την δυνατότητα αυξημένης αποθήκευσης λιπιδίων, οδηγώντας έτσι σε αυξημένη παραγωγή ελαίων για περαιτέρω επεξεργασία τους. Το μέσο ποσοστό περιεκτικότητας μικροαλγών σε λιπίδια κυμαίνεται από 1 έως 70% κατά ξηρό όγκο<sup>1,6</sup>. Στον Πίνακα 1 παρατίθενται η περιεκτικότητα σε λιπίδια καθώς και η παραγωγικότητα μερικών ειδών μικροάλγης.

Πιν. 1, Περιεκτικότητα σε λιπίδια διαφόρων ειδών μικροαλγών<sup>1</sup>

| Μικροάλγη                      | Ποσοστό περιεκτικότητας λιπιδίων (% ξηρής βιομάζας) | Παραγωγή λιπιδίων (mg/l/d) | Κατ' όγκο παραγωγικότητα βιομάζας (g/l/d) |
|--------------------------------|---|----------------------------|---|
| <b>Chlorella emersonii</b>     | 25-63   | 19,3-50                    | 0,036-0,051                               |
| <b>Chlorella phototecoides</b> | 14,6-57,8   | 12-14                      | 2-7,7                                     |
| <b>Chlorella sorokiniana</b>   | 19-22   | 44,7                       | 0,23-1,47                                 |
| <b>Chlorella vulgaris</b>      | 5-58  | 11,2-40                    | 0,02-0,2                                  |
| <b>Chlorella sp.</b>           | 10-48   | 42,1                       | 0,02-2,5                                  |
| <b>Chlorella pyrenoidosa</b>   | 2   | -                          | 2,9-3,64                                  |
| <b>Chlorella</b>               | 18-57   | 18,7                       | -   |

Γενικά υπάρχουν είδη μικροαλγών που σε κατάλληλες συνθήκες αγγίζουν ένα ποσοστό περιεκτικότητας λιπιδίων της τάξης του 75%, όπως όμως φαίνεται και στον πίνακα 1 οι πιο συνήθεις μικροάλγεις κυμαίνονται σε ποσοστά μεταξύ 20 και 50%.

Η Chlorella αποτελεί ένα κοινό είδος μικροάλγης το οποίο ευνοεί την παραγωγή biodiesel από αυτό. Παρά το γεγονός ότι δεν είναι το περιεκτικότερο είδος σε λιπίδια υπάρχουν και άλλα στοιχεία τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη για την τελική επιλογή, όπως για παράδειγμα οι συνθήκες ανάπτυξης. Η Chlorella σύμφωνα με την βιβλιογραφία αποτελεί ένα ανθεκτικό είδος

μικροάλγης, τόσο σε υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, όσο και σε οξείδια αζώτου, θείου κλπ<sup>5,7,8,9,10</sup>. Στην παρούσα μελέτη οι μικροάλγεις θα τροφοδοτούνται με τα παραγόμενα καυσαέρια ενός ΑΗΣ, συνεπώς καλούνται να είναι ανθεκτικές σε ακραία περιβάλλοντα. Για τους παραπάνω λόγους η *Chlorella* θεωρείται πως θα αναπτυχθεί στην μελετώμενη μονάδα.

Ένα επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό των μικροαλγών είναι η μεγάλη περιεκτικότητά τους σε λιπαρά οξέα, καθώς αυτά επηρεάζουν άμεσα τον τύπο του βιοκαυσίμου<sup>1,2</sup>. Τα τελευταία αποτελούνται από κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα 12-22 ατόμων άνθρακα, μερικά από τα οποία κατατάσσονται στις κατηγορίες ω3 και ω6<sup>1</sup>. Η περιεκτικότητα των μικροαλγών σε λιπαρά οξέα επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, τις συνθήκες ανάπτυξης και τις φάσεις ανάπτυξης αυτών.

Στον Πίνακα 2 φαίνονται περισσότερα φυτικά είδη τα οποία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή biodiesel. Όπως είναι σαφές οι μικροάλγεις κατέχουν την πρώτη θέση στην παραγωγή του.

Πιν.2 Χαρακτηριστικά φυτικών ειδών προς παραγωγή biodiesel<sup>1</sup>.

| Είδος   | Περιεκτικότη<br>τα σε έλαια<br>(%) | Παραγωγή<br>ελαίου<br>(l/εκτάριο<br>έτος) | Χρήση γης<br>(m <sup>2</sup> /kg<br>ελαίου) | Παραγωγικότ<br>ητα biodiesel<br>(kg/εκτάριο<br>έτος) |
|---|------------------------------------|---|---|--|
| <b>Καλαμπόκι</b>  | 44                                 | 172                                       | 66  | 152  |
| <b>Σόγια</b>  | 18                                 | 636                                       | 18  | 562  |
| <b>Ηλιοτρόπιο</b>   | 40                                 | 1070                                      | 11  | 946  |
| <b>Φοινικέλαιο</b>  | 36                                 | 5366                                      | 2   | 4747   |
| <b>Μικροάλγη (μέσης<br/>περιεκτικότητας σε<br/>λιπίδια)</b>   | 50                                 | 97800                                     | 0,1   | 86515  |
| <b>Μικροάλγη (μεγάλης<br/>περιεκτικότητας σε<br/>λιπίδια)</b> | 70                                 | 136900                                    | 0,1   | 121104   |

#### 2.4. Αλυσίδα παραγωγής βιοκαυσίμου από μικροάλγεις

Παρά το γεγονός της σχετικά εύκολης ανάπτυξης τους οι μικροάλγεις δεν παύουν να αποτελούν έναν υδρόβιο οργανισμό ο οποίος για την ορθή ανάπτυξη και περαιτέρω χρήση του απαιτεί κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης καθώς και κατάλληλο εξοπλισμό καλλιέργειας, διαχωρισμού και επεξεργασίας του.

Η γραμμή παραγωγής του βιοκαυσίμου αποτελείται αρχικά από την καλλιέργεια των μικροαλγών. Στην συνέχεια απαιτείται ο διαχωρισμός τους από το υπόλοιπο διάλυμα, και η οδήγηση τους στην μονάδα επεξεργασίας τους. Στο

σημείο αυτό υπάρχουν διάφορες μέθοδοι παραγωγής του βιοκαυσίμου, όπως φυγοκέντριση ή χημική διεργασία, ενώ ακόμα και σήμερα<sup>2</sup> αναπτύσσονται καινούριοι τρόποι εξαγωγής των απαραίτητων ελαίων.

## **2.5. Επιλογή μικροαλγών και κριτήρια βιωσιμότητας καλλιέργειας**

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία για να μπορέσει μια μονάδα παραγωγής μικροαλγών να είναι βιώσιμη, πρέπει να πληρεί κάποια βασικά κριτήρια. Μέσα σε αυτά συμπεριλαμβάνεται η δυνατότητα εύκολης τροφοδοσίας της καλλιέργειας με νερό, με τα απαραίτητα στις μικροάλγεις θρεπτικά συστατικά καθώς και η ύπαρξη ευνοϊκών κλιματολογικών και γεωφυσικών χαρακτηριστικών<sup>1</sup>.

Μια δεύτερη παράμετρος σημαντική για την μονάδα παραγωγής μικροαλγών αποτελεί η απόφαση λειτουργίας σε συνεχόμενη βάση ή κατά διαστήματα. Βασικό ρόλο στην επιλογή αυτή διαδραματίζει η ηλιακή ενέργεια. Έτσι για την εφαρμογή της πρώτης εναλλακτικής θα πρέπει να εγκατασταθούν μηχανήματα δέσμευσης και αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας, έτσι ώστε αυτή να είναι διαθέσιμη όλο το εικοσιτετράωρο στην καλλιέργεια. Σε αντίθετη περίπτωση οι μικροάλγεις θα φωτοσυνθέτουν, και συνεπώς θα αναπτύσσονται, μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας και συγκεκριμένα τις ώρες της ηλιοφάνειας.

Επίσης πρέπει να επιλεγεί εξαρχής το αν οι μικροάλγεις θα αναπτυχθούν σε κλειστά ή ανοιχτά συστήματα. Και οι δύο προηγούμενες παράμετροι εξαρτώνται άμεσα από το κόστος της εγκατάστασης καθώς και από τον σκοπό που αυτή θα εξυπηρετεί. Πέραν όμως του μηχανολογικού εξοπλισμού πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του είδους της μικροάλγης που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και των θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται. Συνήθως επιλέγονται είδη των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι ήδη γνωστά.

Βασικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να είναι γνωστά πριν την επιλογή του είδους μικροάλγης είναι τα εξής<sup>1</sup>:

- Παραγωγικότητα, συνήθως μετρούμενη ως βιομάζα ανά όγκο και χρόνο.
- Περιεκτικότητα σε λιπίδια και λιπαρά οξέα, δηλαδή στα στοιχεία τα οποία επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα του παραγόμενου βιοκαυσίμου.
- Αντοχή σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως υψηλή θερμοκρασία, υψηλή περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα ή οξειδία αζώτου κλπ.
- Δεσμευτική ικανότητα διοξειδίου του άνθρακα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπως αυτή που μελετάται, όπου βασικό στόχο αποτελεί η δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από τα παραγόμενα καυσαέρια ενός ΑΗΣ.
- Ευκολία διαχωρισμού βιομάζας από το διάλυμα.
- Πιθανότητα επιπλέον χρήσεων.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την σωστή επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού και σωστό σχεδιασμό της μονάδας μπορούν να οδηγήσουν σε κερδοφόρα αποτελέσματα.

## **2.6. Καλλιέργεια μικροαλγών**

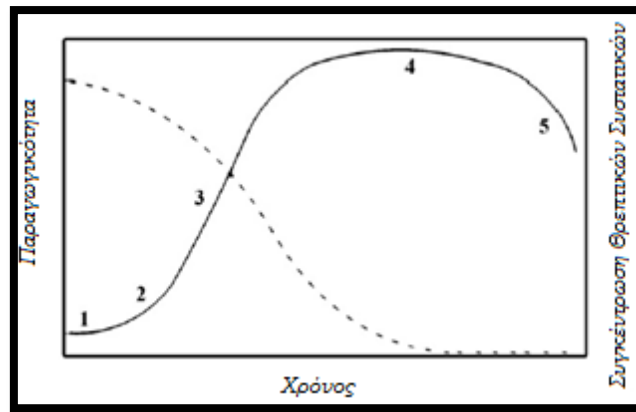
Οι μικροάλγεις αποτελούν οργανισμούς οι οποίοι έχουν την δυνατότητα προσαρμογής στο περιβάλλον που αναπτύσσονται, με απαραίτητα συστατικά της ανάπτυξής τους, την ηλιακή ενέργεια και μια πηγή διοξειδίου του άνθρακα<sup>5,8</sup>.

Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη της καλλιέργειας, μετά από την ηλιακή ενέργεια, κατέχει η θερμοκρασία αυτής. Πάρα το γεγονός ότι σε εργαστηριακό επίπεδο, η επιρροή της θερμοκρασίας είναι γνωστή και προβλέψιμη, δεν μπορεί να ειπωθεί το ίδιο για τα μεγάλα συστήματα καλλιέργειας. Για παράδειγμα, οι περισσότερες μικροάλγεις έχουν την δυνατότητα βέλτιστης ανάπτυξης σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των δεκαπέντε βαθμών κελσίου (°C), σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος, χωρίς αυτό να προϋποθέτει πως μια πιθανή αύξηση 2 βαθμών δεν θα οδηγούσε στον θάνατο της καλλιέργειας<sup>1</sup>. Συνεπώς η ρύθμιση της θερμοκρασίας πρέπει σε κάθε περίπτωση να εναρμονίζεται με το είδος και τον τρόπο καλλιέργειας.

Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά μιας καλλιέργειας αποτελούν η περιεκτικότητα σε άλατα του διαλύματος καθώς και η, πολλές φορές, απαιτούμενη ανάδευση του διαλύματος. Συνήθως, όπως και στην περίπτωση που μελετάται, αυτό επιτυγχάνεται με την παροχή αέριου μίγματος υπό πίεση μέσα στο διάλυμα.

Πέραν από παροχή των απαραίτητων συστατικών ανάπτυξης τους, οι μικροάλγεις χρειάζονται τον κατάλληλο συνδυασμό αυτών ώστε να μπορέσουν να αναπτυχθούν. Κάτω από κατάλληλες συνθήκες οι μικροάλγεις έχουν την δυνατότητα διπλασιασμού τους μέσα σε 24 ώρες ή μέσα σε 3,5 ώρες όταν βρίσκονται στην αιχμή της παραγωγικότητάς τους<sup>1</sup>.

Οι φάσεις από τις οποίες διέρχεται μια καλλιέργεια μικροαλγών είναι οι ακόλουθες πέντε (Σχήμα 2):



Σχ.2 Φάσεις ανάπτυξης καλλιέργειας μικροαλγών<sup>13</sup>.

1. Φάση καθυστέρησης ανάπτυξης - Αναμονή.
2. Εκθετικό ποσοστό αύξησης μάζας, αντιπροσωπεύοντας την φάση με την μεγαλύτερη παραγωγικότητα, στις κατάλληλες συνθήκες.
3. Γραμμικό ποσοστό αύξησης μάζας.
4. Στάσιμη φάση ανάπτυξης.
5. Φάση μείωσης μάζας ή θανάτου.

Το ποσοστό των απαιτούμενων θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα των μικροαλγών ακολουθεί αντίθετη πορεία από αυτήν της ανάπτυξης, όπως φαίνεται και στο σχήμα (διακεκομμένη γραμμή).

## 2.7. Συγκομιδή μικροαλγών

Η συγκομιδή των μικροαλγών ουσιαστικά χαρακτηρίζεται από την απαγωγή του υγρού μέρους του διαλύματος, στο οποίο αναπτύσσονται. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα ή σε περισσότερα στάδια, ενώ από άποψη κόστους είναι δυνατόν να φτάσει το 20% της διαδικασίας παραγωγής βιοκαυσίμου<sup>2</sup>.

Οι πιο κοινές μέθοδοι συγκομιδής είναι η φυγοκέντριση, η ιζηματογένεση και το φιλτράρισμα. Η χρήση φιλτρόπρεσων αποτελεί μια σχετικά κοινή εφαρμογή αν και αντενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου οι διαστάσεις των μικροαλγών είναι πολύ μικρές. Εναλλακτικά, η μικροδιήθηση μεμβρανών είναι άλλη πιθανή εναλλακτική λύση για την ανάκτηση της φυκώδους βιομάζας, η οποία είναι καταλληλότερη για εύθραυστα κύτταρα και μικρής κλίμακας διαδικασίες παραγωγής. Επιπλέον αυτή η διαδικασία διήθησης είναι ακριβότερη ειδικά λόγω της ανάγκης αντικατάστασης της μεμβράνης και των απαιτήσεων άντλησης.

Σε κάθε περίπτωση ύστερα από τον διαχωρισμό της βιομάζας αυτή πρέπει να οδηγηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα προς περαιτέρω επεξεργασία ώστε να μην καταστραφούν τα πολύτιμα συστατικά της, πιθανόν από υψηλές θερμοκρασίες.

## **2.8. Συστήματα καλλιέργειας μικροαλγών**

### **2.8.1. Είδη συστημάτων**

Οι μικροάλγεις έχουν την δυνατότητα καλλιέργειας και ανάπτυξης είτε σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες είτε σε ανοικτά συστήματα. Τα ανοικτά συστήματα καλλιέργειας χαρακτηρίζονται, συνήθως, από χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, ενώ ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα τους είναι η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων καλλιεργειών, σε σύγκριση με τα κλειστά συστήματα<sup>11</sup>. Στα ανοικτά αυτά συστήματα χρησιμοποιούνται δεξαμενές το ύψος των οποίων δεν πρέπει να ξεπερνά τις μερικές δεκάδες εκατοστά. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η πρόσδοση ηλιακής ενέργειας σε όλο τον όγκο της καλλιέργειας. Μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων αποτελούν η έκθεση, και συνεπώς η επιρροή τους, από τις συνθήκες περιβάλλοντος, η αυξημένη πιθανότητα εξάτμισης του διαλύματος καθώς και η αδυναμία ελέγχου της θερμοκρασίας και της προσδοσμένης ηλιακής ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι έχουν την δυνατότητα παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας, το γεγονός της απαραίτητα χαμηλής στάθμης των δεξαμενών, επιβάλλει την χρήση μεγάλων εκτάσεων γης ενώ είναι αυξημένος ο κίνδυνος μόλυνσης των καλλιεργειών από άλλα βακτηρίδια ή μικροοργανισμούς. Επιπλέον, γνωρίζοντας ότι η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα δεν ξεπερνάει το 0,03-0,06%, η ανάπτυξη της καλλιέργειας είναι αργή, γεγονός που αποτελεί βασικό μειονέκτημα σε μια συνεχώς αυξανόμενη αγορά<sup>3</sup>.

Οι βιοαντιδραστήρες, που χρησιμοποιούνται στα κλειστά συστήματα, είναι περισσότερο ελέγξιμοι, καθώς οι συνθήκες καλλιέργειας είναι εύκολο να οριστούν συναρτήσει των εκάστοτε απαιτήσεων<sup>16</sup>. Η ύπαρξη τοιχωμάτων αποτρέπει την μόλυνση της καλλιέργειας ενώ ταυτόχρονα βοηθά στην διάχυση του ηλιακού φωτός μέσα σε αυτήν<sup>12</sup>. Βασικά πλεονεκτήματα των βιοαντιδραστήρων, σε σχέση με τα ανοικτά συστήματα είναι η δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών ανάπτυξης (pH, θερμοκρασία, παροχή και περιεκτικότητα CO<sub>2</sub> κα.), η αδυναμία εξάτμισης του διαλύματος, η δυνατότητα διατήρησης υψηλής συγκέντρωσης διαλύματος καθώς και η προστασία της καλλιέργειας από εξωγενείς παράγοντες<sup>13</sup>.

Παρά τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι βιοαντιδραστήρες δεν αναμένεται να αποτελέσουν το μοναδικό μέσο καλλιέργειας μικροαλγών στο άμεσο μέλλον καθώς αντιμετωπίζουν και σημαντικά μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι η υπερθέρμανση, η συσσώρευση οξυγόνου, το υψηλό κόστος εγκατάστασης, η δυσκολία καθαρισμού τους, η καταστροφή λόγω αυξημένης πίεσης κα.

Η σύγκριση των δύο συστημάτων, δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί καθώς εξαρτάται κάθε φορά από το είδος της καλλιέργειας, την παραγωγικότητα και τον τρόπο καλλιέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί παράμετροι για την αξιολόγηση της καλλιέργειας, οι οποίοι παρατίθενται παρακάτω:

1. Ογκομετρική παραγωγικότητα, που εκφράζει την παραγωγικότητα ως μάζα ανά όγκο (gr/lit/d).

2. Επιφανειακή παραγωγικότητα, που εκφράζει την παραγωγικότητα ως μάζα ανά τετραγωνικό εγκατάστασης ( $\text{gr}/\text{m}^2/\text{d}$ ).
3. Ηλιακή επιφανειακή παραγωγικότητα, που εκφράζει την παραγωγικότητα ως μάζα ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας εκτεθειμένης στην ηλιακή ενέργεια ( $\text{gr}/\text{m}^2/\text{d}$ ).

Στον Πίνακα3 παρουσιάζεται μια συνοπτική σύγκριση ανάμεσα στα δύο διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας.

Πιν.3, Σύγκριση ανοικτού και κλειστού συστήματος καλλιέργειας μικροαλγών<sup>1</sup>.

|                                   | <b>Βιοαντιδραστήρες</b> | <b>Ανοικτές δεξαμενές</b> |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| <b>Έλεγχος μολύνσεων</b>          | Εύκολος                 | Δύσκολος                  |
| <b>Κίνδυνος μολύνσεων</b>         | Μειωμένος               | Αυξημένος                 |
| <b>Αποστείρωση</b>                | Εφικτή                  | Αδύνατη                   |
| <b>Έλεγχος διαδικασίας</b>        | Εύκολος                 | Δύσκολος                  |
| <b>Έλεγχος μικροαλγών</b>         | Εύκολος                 | Δύσκολος                  |
| <b>Ανάδευση</b>                   | Ομοιογενής              | Ανομοιογενής              |
| <b>Χρόνος λειτουργίας</b>         | Συνεχής ή Διακοπτόμενος | Διακοπτόμενος             |
| <b>Πληθυσμός μικροαλγής</b>       | Αυξημένος               | Χαμηλός                   |
| <b>Επένδυση</b>                   | Ακριβή                  | Φθηνότερη                 |
| <b>Λειτουργικά κόστη</b>          | Μεγάλα                  | Μικρά                     |
| <b>Δέσμευση ηλιακής ενέργειας</b> | Υψηλή                   | Χαμηλή                    |
| <b>Ρύθμιση θερμοκρασίας</b>       | Εφικτή                  | Ανέφικτη                  |
| <b>Παραγωγικότητα</b>             | 3-5 φορές υψηλότερη     | Χαμηλή                    |
| <b>Έλεγχος παροχής</b>            | Εφικτός                 | Ανέφικτος                 |

### **2.8.2. Ανοικτά και κλειστά συστήματα καλλιέργειας**

Τα συστήματα καλλιέργειας και ανάπτυξης των μικροαλγών είναι δυνατόν να ποικίλλουν σε σχήμα, μέγεθος, υλικά κατασκευής, αντοχή, κόστος κλπ. Η ποικιλία αυτή οφείλεται κυρίως στην διαφοροποίηση που απαιτείται αναλόγως των συνθηκών ανάπτυξης, των απαιτήσεων της καλλιέργειας, των απαιτήσεων ανάπτυξης κα.

Όσον αφορά τα ανοικτά συστήματα καλλιέργειας αυτά χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες<sup>1,3,11</sup>:

1. Ελλειψοειδής δεξαμενές, με συνεχόμενη ανάδευση, προκαλούμενη από μετακινούμενα μηχανικά συστήματα στην βάση αυτών.
2. Κυκλικές δεξαμενές, με συνεχή ανάδευση, προκαλούμενη από μια νοητή κινούμενη ακτίνα.
3. Επικλινείς δεξαμενές, στις οποίες η ανάδευση επιτυγχάνεται μέσω της άντλησης και στην συνέχεια της βαρύτητας.



Τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας, οι βιοαντιδραστήρες, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες<sup>1,3,12</sup>:

1. Επίπεδα ή σωληνοειδή.
2. Οριζόντια, επικλινή, κάθετα ή σπειροειδή.
3. Πολλαπλά.

Κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις μπορεί με την σειρά της να διαφοροποιείται σχετικά με την κλίση των αντιδραστήρων ή την θέση που έχουν. Οι σωληνοειδής αντιδραστήρες είναι κατάλληλοι για εξωτερική χρήση, παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής, ενώ η παραγωγικότητα τους θεωρείται αυξημένη. Ως μειονεκτήματα έχουν την αυξημένη πιθανότητα εναπόθεσης βρωμιάς στα τοιχώματα, με δυσμενείς συνέπειες για την ανάπτυξη των μικροαλγών, καθώς και την αυξημένη συγκέντρωση οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα.

Οι κάθετοι σωληνοειδής αντιδραστήρες που λειτουργούν με την έκχυση αερίων υπό μορφή φουσκάλων μπορούν να παρουσιάσουν μεγαλύτερα ποσοστά παραγωγικότητας δεδομένης της συνεχούς και ομοιόμορφης ανάδευσης, η οποία επιτρέπει την επαφή όλου του διαλύματος τόσο με τα τοιχώματα, συνεπώς και με την ηλιακή ενέργεια, όσο και με τα απαιτούμενα για την φωτοσύνθεση αέρια. Στα μειονεκτηματά τους συγκαταλέγεται το υψηλό κόστος κατασκευής, η πολύπλοκη σχεδίαση, η μικρή επιφάνεια συναλλαγής με την ηλιακή ενέργεια, καθώς και το ότι δεδομένου των μικρών διατάσεων του είναι απαραίτητη η χρήση περισσότερων μονάδων.

Γενικά οι αντιδραστήρες μπορούν να κατασκευαστούν με περισσότερους τρόπους, ανάλογα την απαιτούμενη ηλιακή ενέργεια και τις απαιτήσεις ανάδευσης και κυκλοφορίας του διαλύματος, όπως για παράδειγμα με αντλίες, ανάμεικτες ή διασκορπιστήρες αερίων κλπ.

Επίσης βασικό χαρακτηριστικό των αντιδραστήρων, αποτελεί το υλικό από το οποίο θα κατασκευαστούν. Έτσι με δεδομένη, την απαραίτητα μεγάλη επιφάνεια αποδοχής ηλιακής ενέργειας καθώς και την απαίτηση μηδενικής τοξικότητας, συνήθη υλικά είναι τα διαφορά πλαστικά, τα πολυμερή τους ή το γυαλί. Η επιλογή εξαρτάται από την θερμοκρασία, το μέγεθος, την πίεση, τον τύπο, την αντοχή και το κόστος. Επίσης ένα θέμα που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη πριν την επιλογή είναι η δυνατότητα που παρέχεται από τους αντιδραστήρες για τον καθαρισμό τους, καθώς αυτός αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της υγιούς ανάπτυξης της καλλιέργειας.

## **2.9. Χρόνος λειτουργίας εγκατάστασης καλλιέργειας μικροαλγών**

Ο χρόνος λειτουργίας της εγκατάστασης είναι δυνατόν να ρυθμιστεί μόνο στα κλειστά συστήματα, καθώς τα ανοιχτά συστήματα είναι εκτεθειμένα στην

ηλιακή ακτινοβολία συγκεκριμένες ώρες την ημέρα. Συνεπώς μόνο τα κλειστά συστήματα έχουν την δυνατότητα συνεχόμενης ή διακοπτόμενης λειτουργίας.

Υπάρχουν μερικά πλεονεκτήματα της συνεχόμενης λειτουργίας της εγκατάστασης σε σχέση με την διακοπτόμενη, δηλαδή μόνο κατά την διάρκεια ηλιοφάνειας, και δίνονται παρακάτω<sup>1</sup>.

- Η συνεχόμενη λειτουργία παρέχει αυξημένη δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών της καλλιέργειας.
- Τα ποσοστά αύξησης μπορούν να ρυθμιστούν και να διατηρηθούν όπως και η συγκέντρωση βιομάζας.
- Η ελεγχόμενη λειτουργία της εγκατάστασης επιτρέπει την αυξημένη ποιότητα της παραγόμενης βιομάζας.
- Γίνεται εύκολη η δυνατότητα έρευνας και ανάλυσης της καλλιέργειας.

Βασικό μειονέκτημα της συνεχόμενης λειτουργίας αποτελεί η αυξημένη πιθανότητα ανάπτυξης άλλων μικροοργανισμών παράλληλα με τη μικροάλγεις, γεγονός που μπορεί να καθυστερήσει την ανάπτυξη των δεύτερων. Υπάρχει επίσης η πιθανότητα μόλυνσης της καλλιέργειας των μικροαλγών από τους μικροοργανισμούς αυτούς ενώ ακόμα και αν κάτι τέτοιο δεν συμβεί η συνεχής ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει σε «λέρωμα» των αντιδραστήρων το οποίο δυσχεραίνει τις όποιες διαδικασίες.

## **2.10. Διάφορες εφαρμογές και χρήσεις των μικροαλγών**

Οι μικροάλγεις σε γενικές γραμμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιβαλλοντικές εφαρμογές καθώς αποτελούν μέρος της μελλοντικής πράσινης ενέργειας. Βασικές εφαρμογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι καλλιέργειες μικροαλγών, πέρα από την παραγωγή βιομάζας και βιοκαυσίμων είναι<sup>1,13,14</sup>:

- Η δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από τα καυσαέρια μονάδων παραγωγής ενέργειας.
- Ο καθαρισμός λυμάτων.
- Η χημική παραγωγή προϊόντων με βάση τα μικροφύκη.
- Οι εφαρμογές στο τομέα της υγείας.
- Η παραγωγή ζωοτροφών.

Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με μερικές από τις παραπάνω εφαρμογές δίνονται παρακάτω..

### **2.10.1. Καθαρισμός λυμάτων<sup>1</sup>**

Το άζωτο και ο φώσφορος που υπάρχουν στα λύματα αποτελούν θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των μικροαλγών. Βέβαια, εργοστασιακά λύματα που περιέχουν ραδιενεργά ισότοπα δεν είναι δυνατόν να αποτελέσουν

κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Επιπλέον, οι μικροάλγεις μπορούν να μετριάσουν τον βαθμό μόλυνσης που προκαλείται από τα απόβλητα αποχέτευσης και βιομηχανίας, όπως εκείνων που προέρχονται από την κατεργασία ύδατος ή την υδατοκαλλιέργεια ψαριών. Συγχρόνως συμβάλλουν στη βιοποικιλότητα του εκάστοτε οικοσυστήματος. Τέλος, αφαιρώντας το άζωτο και τον άνθρακα από το νερό, οι μικροάλγεις μπορούν να βοηθήσουν στην μείωση του ευτροφισμού του υδρόβιου περιβάλλοντος.

### **2.10.2. Χημική επεξεργασία μικροαλγών<sup>1</sup>**

Ανάλογα με το είδος των μικροαλγών, από αυτές μπορούν να εξαχθούν διάφορες χημικές ενώσεις όπως μερικές χρωστικές ουσίες, τα αντιοξειδωτικά, οι β-καροτίνες, οι πολυσακχαρίτες, τα τριγλυκερίδια, τα λιπαρά οξέα και οι βιταμίνες, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε διαφορετικούς βιομηχανικούς τομείς, όπως για παράδειγμα στην φαρμακευτική βιομηχανία, στην κοσμετολογία κ.α. Επειδή η παραγωγή αυτών των χημικών ουσιών και των βιοενεργών ενώσεων απαιτεί τη χρήση ελεγχόμενων συστημάτων καλλιέργειας με υψηλές παραγωγικότητες, έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί μεγάλα συστήματα βιοαντιδραστήρων.

### **2.10.3. Εφαρμογές στον τομέα της υγείας<sup>1,3</sup>**

Τις τελευταίες δεκαετίες ο άνθρωπος ανησυχεί περισσότερο για την υγεία του και κυρίως για προβλήματα που συνδυάζουν το σώμα με την διατροφή του. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος που πλέον έχουν ενταχθεί στην διατροφή καθημερινά φυτικά συμπληρώματα διατροφής τα οποία βοηθούν σε διάφορες τομείς του ανθρώπινου συστήματος. Τα μικροφύκη αποτελούν εδώ και καιρό βασικό συστατικό των συμπληρωμάτων αυτών. Πολλά από τα βασικά και πιο γνωστά ήδη φυκιών, όπως η *Spirulina*, φαίνεται να περιέχουν συστατικά τα οποία υποβοηθούν το ανοσοποιητικό ανθρώπινο σύστημα για αυτό και η παραγωγή τους ολοένα και αυξάνεται. Διάφορες μελέτες και έρευνες έχουν αναδείξει και άλλες παρόμοιες ενέργειες των συστατικών των μικροαλγών στον άνθρωπο.

Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι πως η τιμή πώλησης των μικροαλγών εξαρτάται από την μελλοντική τους χρήση. Την πρωτιά στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπως θα αναμενόταν άλλωστε, καταλαμβάνουν οι μικροάλγεις που προωθούνται στον τομέα της υγείας, της φαρμακευτικής και των καλλυντικών.

### **3. Βιοκαύσιμα (Biodiesel)**

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, όπως προαναφέρεται, η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών πηγών έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνολογιών για την παραγωγή καυσίμων με πρώτη ύλη τους φυτικούς οργανισμούς. Η συμπεριφορά του biodiesel κατά την καύση του σε μηχανές, παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά των συμβατικών καυσίμων, με επιπλέον πλεονέκτημα τις μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση του, στις μέρες μας, είναι ευρεία και δεν αποτελεί μέρος μόνο ερευνητικών προγραμμάτων.

Σε συνδυασμό με την συνεχώς αυξανόμενη χρήση του, η παραγωγή biodiesel ολοένα και αυξάνεται. Η Ευρώπη και η Αμερική κατέχουν τους ηγετικούς ρόλους στην παραγωγή του ενώ βασικός ρόλος της αύξησης είναι η βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των χρησιμοποιούμενων φυτικών οργανισμών, ή ακόμα και η ανακάλυψη καινούριων ειδών, που μπορούν να παράγουν βιοκαύσιμο<sup>14</sup>.

Το biodiesel μπορεί να παραχθεί από οποιοδήποτε υλικό περιέχει λιπαρά οξέα, για τον λόγο αυτό μια μεγάλη ποικιλία από φυτικά έλαια, ζωικά λίπη και απόβλητα επεξεργασία λαδιού είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του. Η τελική επιλογή της πρώτης ύλης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η διαθέσιμη έκταση, το κόστος και η απαιτήσεις στην ποιότητα καυσίμου.

#### **3.1. Παραγωγή βιοκαυσίμου**

Το biodiesel είναι ένα μίγμα αλκυλικών εστέρων λιπαρού οξέος, παραγόμενοι από την εστεροποίηση φυτικών ή ζωικών λιπών. Αποτελούνται σε ποσοστό 90-98% από τριγλυκερίδια και μικρά ποσοστό μονό και διγλυκεριδίων ενώ το υπόλοιπο μέρος τους απαρτίζεται από ελευθέρα λιπαρά οξέα (1,5%), ενώσεις θείου, ίχνη νερού κ<sup>2</sup>.

Η εστεροποίηση είναι μια διεργασία αποτελούμενη από περισσότερα στάδια εν σειρά, όπου τα τριγλυκερίδια μετατρέπονται σε διγλυκερίδια, τα διγλυκερίδια σε μονογλυκερίδια και αυτά με την σειρά τους μετατρέπονται σε εστέρες (biodiesel) και γλυκερίνη (παραπροϊόν)<sup>2</sup>. Για την αντίδραση της εστεροποίησης χρησιμοποιείται καταλύτης, συνήθως μεθανόλη ή υδροξείδιο νατρίου (NaOH).

Πρόσφατα προτάθηκαν κάποιες βελτιώσεις στην διαδικασία της παραπάνω αντίδρασης με στόχο την συνεχόμενη λειτουργία της και την μείωση του χρόνου πραγματοποίησής της, όπως η ανάδευση, η χρήση μικροκυμάτων, οι αντιδραστήρες κοιλότητας, οι υπερηχητικοί αντιδραστήρες κ.α<sup>2</sup>. Η επιλογή της αντίδρασης εξαρτάται από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται καθώς και από την ποιότητα που την χαρακτηρίζει. Η επιλογή αυτής επηρεάζει άμεσα και το κόστος παραγωγής. Σε κάθε περίπτωση πάντως το κόστος μιας τέτοιας διεργασίας για την παραγωγή βιοκαυσίμου χωρίζεται στο αρχικό κεφάλαιο και στο λειτουργικό κόστος, το οποίο και επηρεάζει περισσότερο το σύνολο.

## 4. Περιγραφή εγκατάστασης καλλιέργειας μικροαλγών

### 4.1. Αρχικό στάδιο

Η γενική ιδέα ενός αντίστοιχου μοντέλου κατακράτησης του CO<sub>2</sub> συνοψίζεται στα εξής:

1. Επιλογή κατάλληλου είδους μικροαλγών προς καλλιέργεια από μια αρκετά μεγάλη ποικιλία,
2. Ανάλυση και επιλογή συνθηκών ανάπτυξης.
3. Επιλογή τρόπου οδήγησης καυσαερίων στις μικροάλγεις.

Αναλυτικά:

1. Σύμφωνα με την αναγνωσμένη βιβλιογραφία είναι πολλά τα είδη μικροαλγών τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καλλιέργειες κατακράτησης CO<sub>2</sub>. Συγκεκριμένα αναφέρονται τα παρακάτω είδη: *Synechococcus*<sup>3,14</sup>, *Chlamydomonas*<sup>3,14</sup>, *Botryococcus braunii*<sup>3</sup>, *Chlorella*<sup>3,7,14,15</sup>, *Chlamydomonas reinhardtii*<sup>3,14</sup>, *Haematococcus*<sup>7,14</sup>, *Dunaliella*<sup>7,9,14</sup>, *Murcia*<sup>7</sup>, *Tetraselmis*<sup>3,7,4,10,14,16,17</sup>, *Nannochloropsis*<sup>3,4,7,10,14,16,17</sup>, *Spirulina*<sup>3</sup>, *Scenedesmus obliquus*<sup>14,15</sup>, *Isochrysis*<sup>10,14,16</sup>. Κάθε ένα από τα είδη αυτά διαφέρει στις βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης, στην δυνατότητα ανάπτυξης σε περιβάλλον αυξημένης συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> κ.α. Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο κωρίο στην μελέτη που πραγματοποιείται, ως καλλιεργήσιμο είδος θα θεωρηθεί η *Chlorella*.
2. Βασικό παράγοντα της ανάπτυξης των μικροαλγών αποτελεί το φως, καθώς και το pH του διαλύματος μέσα στο οποίο αναπτύσσονται. Η ποσότητα του φωτός που φτάνει στις μικροάλγεις, είτε πρόκειται για τεχνητό είτε για φυσικό, καθορίζεται συνήθως από το σχήμα των ponds ή των αντιδραστήρων (photobioreactors)<sup>3,4,8</sup>. Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται και συλλέκτες φωτός για την μετέπειτα διοχέτευσή του στις μικροάλγεις, χαρακτηριστικά αναφέρονται τρία συστήματα συλλογής του ηλιακού φωτός<sup>1</sup>: χρήση κυρτών κατόπτρων (the plate type), χρήση «αναδευτήρα» φωτός (the internally luminous stirrer type) και χρήση πολλαπλών κατόπτρων (the fountain type). Αξίζει να σημειωθεί πως η σωστή συλλογή και μεταφορά του φωτός μπορεί να επιφέρει έως και 55% αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών<sup>5</sup>. Στην συγκεκριμένη μελέτη δεν θα χρησιμοποιηθεί ηλιακός συλλέκτης, αλλά η λειτουργία της μονάδας θα εξαρτάται από την ηλιοφάνεια.

Ένα δεύτερο στοιχείο που επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροαλγών είναι το pH του διαλύματος, το οποίο καθορίζεται κυρίως από την περιεκτικότητα του σε CO<sub>2</sub>, ενώ στη βιβλιογραφία αναφέρεται πως

ανάλογα με το είδος μικροάλγης που καλλιεργείται, το βέλτιστο pH κυμαίνεται σε τιμές υψηλότερες του ουδέτερου, πιο συγκεκριμένα παίρνει τιμές ανάμεσα σε 6,5 και 8<sup>3,4,10,14,16,17</sup>.

Επίσης, ένας παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροαλγών είναι τα επίπεδα περιεκτικότητας του διαλύματος σε NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub><sup>11,17,18</sup>, στοιχεία τα οποία, για τα περισσότερα από τα είδη μικροαλγών αποτελούν θρεπτικό συστατικό, σε συγκεκριμένες ποσότητες, ενώ μεγάλη αύξηση αυτών μπορεί να οδηγήσει σε δηλητηρίαση των καλλιεργειών.

Τέλος βασικό χαρακτηριστικό αποτελεί η θερμοκρασία ανάπτυξης της καλλιέργειας<sup>4</sup> γνωρίζοντας πως τα καυσαέρια που θα εισέρχονται σε αυτήν θα έχουν υψηλή θερμοκρασία, γεγονός απαγορευτικό για πολλούς από τους φυτικούς οργανισμούς. Πειραματικές διαδικασίες έδειξαν ότι ορισμένα είδη μικροαλγών έχουν την δυνατότητα ανάπτυξης σε θερμοκρασίες που φτάνουν τους 80 °C<sup>4</sup>. Παρά το γεγονός αυτό τα παραγόμενα καυσαέρια, στην συγκεκριμένη μελέτη θα ψύχονται και στην συνέχεια θα οδηγούνται στην καλλιέργεια των μικροαλγών.

3. Υπάρχουν δύο εκδοχές οδήγησης του παραγόμενου CO<sub>2</sub> στις καλλιέργειες μικροαλγών. Ο πρώτος είναι η απευθείας μεταφορά των, παραγόμενων από την μονάδα, καυσαερίων και ο δεύτερος η προεπεξεργασία αυτών και η απομόνωση του CO<sub>2</sub> προς μεταφορά στις καλλιέργειες. Ειδοποιός διαφορά των δύο πρακτικών είναι η ποσοστιαία σύσταση του οδηγούμενου αερίου, που όπως είναι φανερό στην δεύτερη περίπτωση ανέρχεται σε 100%. Στην πρώτη περίπτωση, ανάλογα το καύσιμο που χρησιμοποιείται από την μονάδα και τον τρόπο καύσης του, το ποσοστό περιεκτικότητας CO<sub>2</sub> κυμαίνεται στα πλαίσια του 15%.<sup>18</sup>

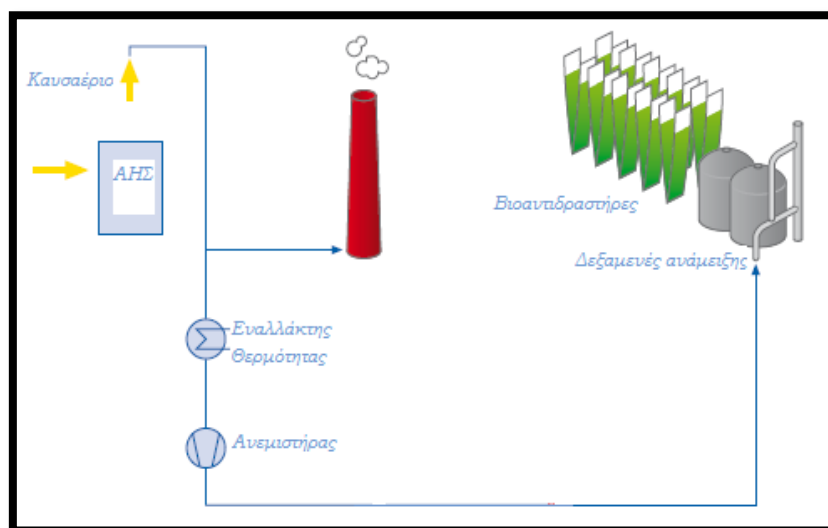
Η ποιοτική διαφορά που παρατηρείται σε σχέση με τις δύο μεθόδους είναι η απόδοση των μικροαλγών όσον αφορά την απορρόφηση του CO<sub>2</sub>. Δεν έχει όμως καταστεί απόλυτα σαφές ποια από τις δύο αποδίδει καλύτερα. Θα μπορούσε να γραφεί πως η επικρατέστερη άποψη είναι πως η οδήγηση καθαρού CO<sub>2</sub> είναι αποδοτικότερη, χωρίς όμως να ξεπερνά κατά πολλές ποσοστιαίες μονάδες την εναλλακτική περίπτωση. Στη βιβλιογραφία, σε μερικές μελέτες, αναφέρεται πως σε σύγκριση με το αυξημένο κόστος που απαιτεί ο προδιαχωρισμός του μίγματος των καυσαερίων, συμφέρει η απευθείας οδήγηση του μίγματος στις καλλιέργειες<sup>3</sup>. Στην παρούσα μελέτη, κυρίως για λόγους κόστους αλλά και συναρτήσει τη πιθανής δηλητηρίασης της καλλιέργειας από μεγάλη ποσότητα διοξειδίου, δεν θα χρησιμοποιηθεί διαχωριστής. Τα παραγόμενα καυσαέρια από την μονάδα θα οδηγούνται κατευθείαν στην καλλιέργεια.

## 4.2. Περιγραφή εγκατάστασης Bergheim – Niederaussem

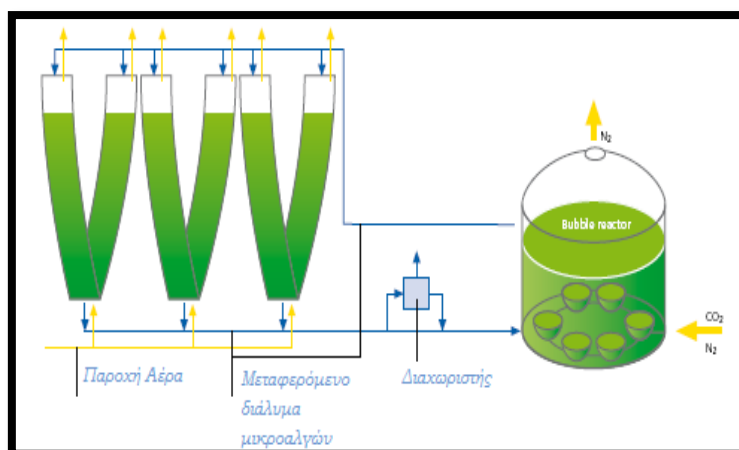
Στον σχεδιασμό της εγκατάστασης που θα αναλυθεί λήφθηκαν υπόψη τόσο οι παρεχόμενες από την βιβλιογραφία γνώσεις όσο και η μελέτη μιας παρόμοιας μονάδας η οποία ήδη λειτουργεί στο Bergheim - Niederaussem της Γερμανίας. Μια σύντομη αναφορά σε αυτήν την εγκατάσταση γίνεται παρακάτω.

Σε αυτήν την ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση, τα καυσαέρια μεταφέρονται από την μονάδα παραγωγής ενέργειας, μέσω αγωγού. Ο αγωγός αυτός είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο (PE), εξαιτίας της αντοχής του στην διάβρωση. Κατά μήκος του αγωγού είναι τοποθετημένος ένας εναλλάκτης ενέργειας, ο οποίος ψύχει τα καυσαέρια, μειώνοντας την θερμοκρασία τους και ταυτόχρονα αφαιρώντας τους την υγρασία. Εν σειρά με τον εναλλάκτη είναι επίσης τοποθετημένος ένας ανεμιστήρας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την αναρρόφηση των καυσαερίων.

Τα μεταφερόμενα καυσαέρια καταλήγουν μέσα σε δεξαμενές, οι οποίες περιέχουν διάλυμα μικροαλγών, και διοχετεύονται μέσα σε αυτές με την χρήση διασκορπιστήρων. Στην συνέχεια, με την βοήθεια δικτύου σωληνώσεων, το μίγμα καυσαερίων- μικροαλγών οδηγείται στους βιοαντιδραστήρες στους οποίους και λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης. Οι βιοαντιδραστήρες είναι επίσης φτιαγμένοι από PE ενώ χαρακτηριστικό τους αποτελεί η ευκαμψία και το σχήμα τους. Είναι τοποθετημένοι σε σχήμα V. Μια μικρογραφία της εγκατάστασης δίνεται στα σχήματα 3 και 4.



Σχ.3 Απεικόνιση της εγκατάστασης στο Bergheim – Niederaussem<sup>19</sup>.



Σχ.4 Απεικόνιση διαδρομής διαλύματος μικροαλγών- καυσαερίου στο Bergheim – Niederaussem<sup>19</sup>.

Το διάλυμα κατά την επιστροφή του στις δεξαμενές είναι δυνατόν να περάσει από έναν διαχωριστή ώστε να διαχωριστούν και να συλλεχθούν οι ανεπτυγμένες άλγεις.

Η εγκατάσταση θεωρείται ότι παράγει έξι τόνους ξηρής βιομάζας ενώ δεσμεύει δώδεκα τόνους διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος. Η επιφάνεια που καλύπτει η εγκατάσταση είναι εξακόσια τετραγωνικά μέτρα ενώ ο συνολικός όγκος του διακινούμενου διαλύματος είναι πενήντα δύο κυβικά μέτρα.

#### 4.3. Περιγραφή μελετώμενης εγκατάστασης , σε λιγνιτική μονάδα ΑΗΣ.

Η εγκατάσταση που θα μελετηθεί στην Πτολεμαΐδα θα είναι παρόμοια με αυτήν που περιγράφηκε πριν. Αναλυτικότερα :

Μέρος των παραγομένων καυσαερίων θα αποσπάται από τον Ατμοηλεκτρικό σταθμό μέσω ενός αγωγού, με κατεύθυνση την καλλιέργεια των μικροαλγών. Τα καυσαέρια που θα δεσμεύονται θεωρείται ότι έχουν θερμοκρασία 180 °C. Για τον λόγο αυτό, όπως επεξηγείται και παρακάτω το πρώτο τμήμα του αγωγού μεταφοράς θα είναι μεταλλικό. Στην συνέχεια, θα τοποθετηθεί ένας εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος θα αφαιρεί από τα καυσαέρια την υγρασία τους και θα τα ψύχει. Ο εναλλάκτης αυτός θα χρησιμοποιεί ως ψυκτικό μέσο το νερό. Η ψύξη των καυσαερίων χρησιμοποιείται τόσο για την μείωση της θερμοκρασίας τους όσο και για την αφαίρεση της υγρασίας τους, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιά σε διάφορα μηχανολογικά εξαρτήματα, βλ. διάβρωση κλπ. Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων θα θεωρηθεί ίση με τους 40 °C.

Στην συνέχεια τοποθετείται ένας ανεμιστήρας ο οποίος καλείται να υπερνικήσει τις απώλειες σωλήνωσης καθώς και το απαιτούμενο ύψος ανύψωσης των καυσαερίων. Το τμήμα του αγωγού μετά τον εναλλάκτη θερμότητας θα είναι από PE. Οι λόγοι επεξηγούνται αναλυτικότερα παρακάτω.



Ο αγωγός των καυσαερίων θα τελειώνει στην είσοδο των δεξαμενών, στις οποίες θα υπάρχει το διάλυμα των μικροαλγών. Η μίξη των καυσαερίων με το διάλυμα θα γίνεται μέσω της χρήσης διασκορπιστήρων. Έτσι στην βάση κάθε δεξαμενής διασκορπιστήρες θα διοχετεύουν το καυσαέριο σε όλο τον όγκο του διαλύματος με την μορφή φυσαλίδων.

Στην συνέχεια το μίγμα θα διοχετεύεται στους βιοαντιδραστήρες οι οποίοι, όπως και στην εγκατάσταση της Γερμανίας, θα είναι εύκαμπτοι και τοποθετημένοι σε σχήμα V. Το διάλυμα θα διοχετεύεται σε αυτούς μέσα από ένα δίκτυο σωληνώσεων από PE. Συγκεκριμένα η διάταξη των αγωγών θα είναι παράλληλη με αυτή των αντιδραστήρων, θεωρώντας πως αυτοί θα σχηματίζουν σειρές. Ο υπολογισμός αυτών γίνεται σε παρακάτω χωρίο. Η επιστροφή του μίγματος στις δεξαμενές θα γίνεται επίσης με αγωγούς PE τοποθετημένους παράλληλα με τους βιοαντιδραστήρες, με την μόνη διαφορά πως αυτοί θα είναι στην βάση τους.

Κατά την διαδρομή επιστροφής του, το μίγμα είναι δυνατόν να περνάει μέσα από έναν διαχωριστή. Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρείται πως το διάλυμα πραγματοποιεί 3 κύκλους στο διάστημα μιας ημέρας λειτουργίας, και πως θα περάσει από τον διαχωριστή τουλάχιστον μία φορά. Δεν αποκλείεται βέβαια λόγω μειωμένης ηλιοφάνειας να μην υπάρχει η απαραίτητη ανάπτυξη και ο διαχωριστής να μην τεθεί καθόλου σε λειτουργία. Ο λόγος που πραγματοποιείται συγκομιδή των ανεπτυγμένων μικροαλγών, πέρα από την μετέπειτα χρήση τους, είναι πως η δεσμευτική ικανότητα τους μειώνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή τους. Έτσι για να αποφευχθούν όποιες καθυστερήσεις το μίγμα πρέπει να διατηρεί μια μέση πυκνότητα.

Οι βιοαντιδραστήρες, πέραν των αγωγών του βασικού μίγματος θα συνδέονται με δύο ακόμα ομάδες αγωγών. Η πρώτη θα είναι οι αγωγοί αναρρόφησης των παραγόμενων καυσαερίων από την διαδικασία της φωτοσύνθεσης μαζί με τα κατάλοιπα των αρχικά εισαγόμενων καυσαερίων, ενώ η δεύτερη θα τροφοδοτεί τις μικροάλγεις με ατμοσφαιρικό αέρα.

Σε κάθε μια από τις προηγούμενες ομάδες αγωγών θα χρησιμοποιηθούν και μέσα οδήγησης των μετακινούμενων ρευστών. Έτσι οι αγωγοί βασικού μίγματος θα συνοδεύονται από κατάλληλες αντλίες, μια σε κάθε είσοδο και έξοδο από δεξαμενή. Επίσης οι αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίων και αέρα θα συνοδεύονται από αντίστοιχο ανεμιστήρα.

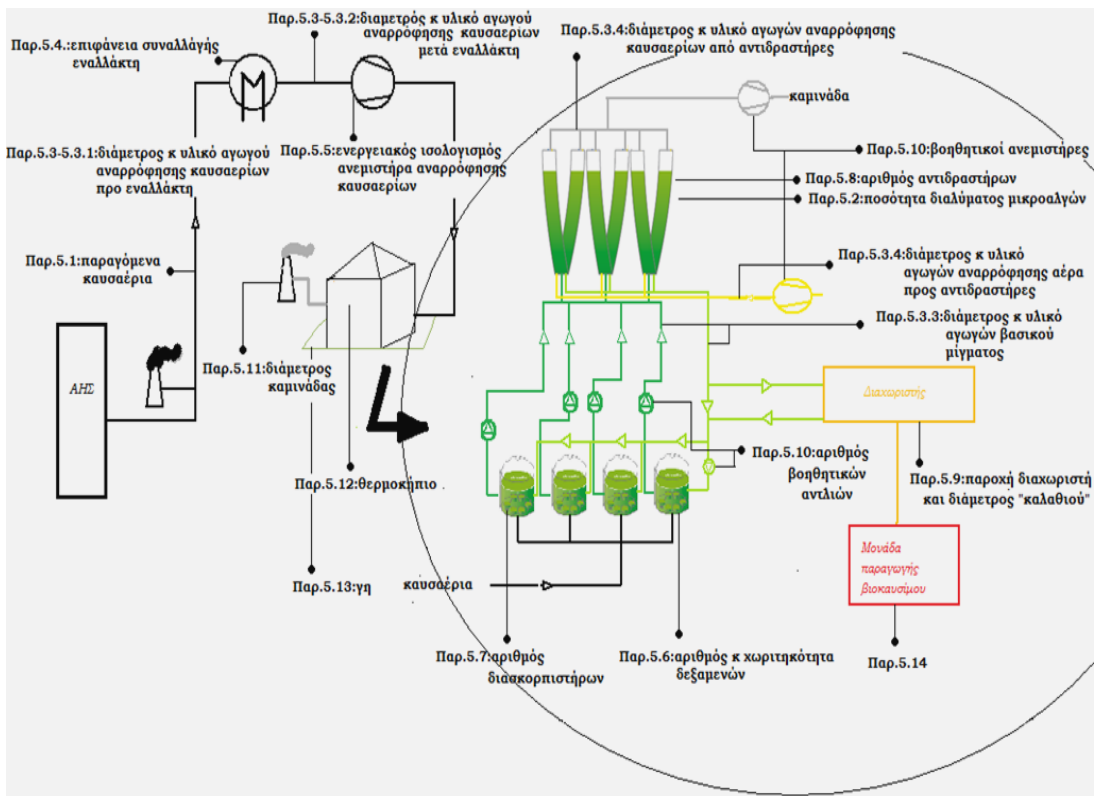
Τα παραγόμενα καυσαέρια θα οδηγούνται σε καμινάδα, η οποία θα είναι από ανοξείδωτο χάλυβα, μονωμένη κατάλληλα. Ολόκληρη η εγκατάσταση θα στεγάζεται μέσα σε θερμοκήπιο ώστε να είναι δυνατή η παραλαβή της ηλιακής ενέργειας από τις μικροάλγεις. Η κατασκευή του θερμοκηπίου θα θεωρηθεί συμβατική.

Η εγκατάσταση θα θεωρηθεί ότι λειτουργεί οκτώ ώρες ανά ημέρα, και 360 ημέρες ανά έτος. Η πρώτη θεώρηση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις ώρες ηλιοφάνειας τον χειμώνα και το καλοκαίρι, που είναι, 5 και 11 αντίστοιχα. Τελικά λήφθηκε υπόψη ένας μέσος όρος. Οι ημέρες λειτουργίας θεωρήθηκαν

τόσες λόγω της συνεχόμενης λειτουργίας της εγκατάστασης. Ο τρόπος υπολογισμού του κόστους κάθε επιμέρους τμήματος της εγκατάστασης περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

## 5. Υπολογισμός παραμέτρων εξοπλισμού μελετώμενης εγκατάστασης

Στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού θα παρουσιαστεί ο υπολογισμός των παραμέτρων του εξοπλισμού που απαρτίζει την μελετώμενη εγκατάσταση. Συγκεκριμένα ο εξοπλισμός, αυτός καθώς και οι παράγραφοι υπολογισμού των επιμέρους στοιχείων τους, εμφανίζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ.5, Σχηματική απεικόνιση μελετώμενης εγκατάστασης με αναφορές στις παραγράφους του κειμένου.

Για την δυνατότητα επιλογής κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων καθώς και λοιπών μηχανολογικών στοιχείων που αποτελούν την μελετώμενη εγκατάσταση θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όγκος καυσαερίων που παράγεται από τον Ατμοηλεκτρικό σταθμό και στην συνέχεια ο όγκος καυσαερίων που είναι δυνατόν να δεσμευτεί από την μονάδα της καλλιέργειας μικροαλγών.

Ο συνδυασμός των παραπάνω περιγραφόμενων υπολογισμών θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό στοιχείων όπως οι διάμετροι των χρησιμοποιούμενων από την εγκατάσταση σωληνώσεων, οι βιοαντιδραστήρες και οι δεξαμενές φιλοξενίας του διαλύματος μικροαλγών, η απαραίτητη ισχύς του ανεμιστήρα μεταφοράς των καυσαερίων μέσα από τον αγωγό αναρρόφησης, η απαραίτητη ισχύς του χρησιμοποιούμενου εναλλάκτη θερμότητας κλπ. Συγκεκριμένες αναλύσεις και υπολογισμοί εμφανίζονται παρακάτω.

### 5.1. Υπολογισμός παραγόμενων καυσαερίων

Για τον υπολογισμό των παραγόμενων καυσαερίων και συνεπώς και του παραγομένου διοξειδίου του άνθρακα ακολουθείται η παρακάτω περιγραφόμενη διαδικασία. Βάση της σύστασης του καυσίμου υπολογίζονται οι ποσότητες mol των συστατικών του ανά κιλό καυσίμου. Στην συνέχεια με την χρήση των αντιδράσεων της καύσης υπολογίζονται τα mol των παραγόμενων συστατικών. Επίσης βάση των αντιδράσεων της καύσης υπολογίζονται τα mol του καιόμενου οξυγόνου και συνεπώς του απαραίτητου αέρα. Στην συνέχεια θεωρείται περίσσεια 1,5 αέρα άρα επαναυπολογίζονται οι ποσότητες αέρα και αζώτου. Τελικά αθροίζονται τα ίδια συστατικά και βρίσκεται το επιθυμητό αποτέλεσμα σε mol ανά κιλό καιόμενου καυσίμου. Τα αποτελέσματα δίνονται Πίνακα 4.

Για τον υπολογισμό του όγκου των παραγόμενων καυσαερίων θα χρησιμοποιηθεί η καταστατική εξίσωση αερίων με δεδομένη την πίεση ( $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$ ), την σταθερά R ( $8,314 \text{ J/K mol}$ ), τον αριθμό των mol και την θερμοκρασία (T). Συγκεκριμένα για την θερμοκρασία θα υπολογιστούν δύο διαφορετικές τιμές. Η πρώτη θα αντιστοιχεί σε υγρό καυσαέριο  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  και η δεύτερη σε ξηρό καυσαέριο  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή πίνακα (Πίνακας 6).

Για τον υπολογισμό της παροχής καυσαερίου και διοξειδίου του άνθρακα αρκεί να υπολογιστεί η παροχή καυσίμου σε  $\text{kg/s}$  και στην συνέχεια να πολλαπλασιαστεί με τους προηγούμενως υπολογισμένους αριθμούς. Η παροχή αυτή θα βρεθεί σύμφωνα με την θερμογόνο ικανότητα του λιγνίτη, την απόδοση της μονάδας και την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ, συγκεκριμένα η σχέση που ισχύει είναι  $P_{el} = \eta(Hu * \dot{m})$ , σε μονάδες SI. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 5.

Για τον υπολογισμό της παροχής σε μάζα/ χρόνο χρησιμοποιήθηκε η πυκνότητα της αντίστοιχης ουσίας. Οι τιμές αυτές θεωρήθηκαν:

- υγρό καυσαέριο  $180 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 0,727 \text{ kg/m}^3$ ,
- ξηρό καυσαέριο  $40 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 1,183 \text{ kg/m}^3$ ,
- ξηρό  $\text{CO}_2$   $40 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 1,8 \text{ kg/m}^3$ .

Πιν.4, Δεδομένα καύσης λιγνίτη.

| Αντιδρώντα     | kg/kg καυσίμου | mol/kg καυσίμου | οξυγόνο καύσης (mol) / kg καυσίμου | Αέρας καύσης (mol)/ kg καυσίμου χωρίς<br>περίσσεια | Αέρας καύσης (mol)/ kg καυσίμου με<br>περίσσεια 1,5 | mol N2 στον αέρα καύσης | mol O2 στον αέρα καύσης | Τελικά mol καυσαερίου / kg καυσίμου | Τελικά mol ξηρού<br>καυσαερίου / kg καυσίμου |
|----------------|----------------|-----------------|------------------------------------|--|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| α<br>(τέφρα)   | 0,18           | 1,022           |                                    | 73,378   | 110,068   | 84,521                  | 8,515                   | 147,164                             | 109,664                                      |
| W<br>(υγρασία) | 0,54           | 30              |                                    |  |   |                         |                         |                                     |  |
| C              | 0,18           | 15              | 15                                 |  |   |                         |                         |                                     |  |
| H              | 0,015          | 7,5             | 3,75                               |  |   |                         |                         |                                     |  |
| S              | 0,01           | 0,3125          | 0,312                              |  |   |                         |                         |                                     |  |
| O              | 0,065          | 2,031           | -2,03                              |  |   |                         |                         |                                     |  |
| N              | 0,005          | 0,178           |                                    |  |   |                         |                         |                                     |  |
| CO2            | 0,005          | 0,113           |                                    |  |   |                         |                         |                                     |  |
| Σύνολο         | 1              | 56,15           | 17,03                              |  |   |                         |                         |                                     |  |

Πιν.5, Παροχή μάζας καυσίμου.

| Hu (kcal/kg) | Hu (MJ/kg) | η    | Pel (MW) | Pth         | m (kg/s)           |
|--------------|------------|------|----------|-------------|--------------------|
| <b>1300</b>  | 5,439      | 0,33 | 300      | 909,0909091 | <b>167,1368784</b> |

Πιν.6, Όγκος παραγόμενων καυσαερίων.

| Τύπος καυσαερίου |                 | P (Pa) | n (mol/s) | R (J/Kmol) | T (K) | V (m <sup>3</sup> /s) | ρ (kg/m <sup>3</sup> ) | m (kg/s) |
|------------------|-----------------|--------|-----------|------------|-------|-----------------------|------------------------|----------|
| Υγρό             | Flue gas        | 100000 | 24596,63  | 8,314472   | 453   | <b>926,42</b>         | 0,727                  | 673,50   |
|                  | CO <sub>2</sub> | 100000 | 2526,046  | 8,314472   | 453   | <b>95,14</b>          | 1,19                   | 113,21   |
| Ξηρό             | Flue gas        | 100000 | 18329     | 8,314472   | 313   | <b>476,99</b>         | 1,179                  | 562,38   |
|                  | CO <sub>2</sub> | 100000 | 2526,046  | 8,314472   | 313   | <b>65,73</b>          | 1,722                  | 113,20   |

## 5.2. Υπολογισμός ποσότητας διαλύματος μικροαλγών

Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως η τελική παροχή μάζας διοξειδίου του άνθρακα, από την μονάδα ανέρχεται σε 113,219 kg/s, ή 407,58 tn/h, με δεδομένη την λειτουργία της μονάδας 24 ώρες την ημέρα και 360 ημέρες τον χρόνο. Η παραπάνω ποσότητα όμως δεν είναι δυνατόν να δεσμευτεί εξ ολοκλήρου από μια συμβατική μονάδα κατακράτησης του. Ο υπολογισμός του ποσοστού δέσμευσης και ταυτόχρονα της ποσότητας μικροαλγών, που συνδέεται άμεσα με τον απαιτούμενο χώρο εγκατάστασης, θα γίνει παρακάτω.

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές οι μικροάλγεις έχουν την δυνατότητα δέσμευσης μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα, με παράλληλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε<sup>23</sup> υπολογίστηκε πως μικροάλγεις έχουν την δυνατότητα δέσμευσης έως και 0,72 gr/lt/h. Οι τιμές δέσμευσης σε λοιπές έρευνες κυμαίνονται από 0,221 gr/lt/h έως και την προηγούμενη τιμή. Στην συγκεκριμένη μελέτη μη έχοντας ακριβή τιμή για την ποσότητα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα από τις άλγεις που θα καλλιεργηθούν θα χρησιμοποιηθεί η μεγαλύτερη τιμή, έχοντας ως δεδομένη την ανάγκη υψηλής δεσμευτικής ικανότητας, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται. Βάση αυτής της πληροφορίας θα γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί.

Η δεσμευόμενη ποσότητα των 0,7 gr/lt/h είναι ίση με 700 gr/m<sup>3</sup>/h ή 0,7 kg/m<sup>3</sup>/h. Άρα κάθε κυβικό μέτρο διαλύματος μικροάλγης έχει την δυνατότητα να δεσμεύσει 0,7 kg διοξειδίου του άνθρακα σε διάστημα μιας ώρας. Αν ο αριθμός αυτός πολλαπλασιαστεί με τα κυβικά μέτρα που θα εγκατασταθούν είναι δυνατόν να βρεθεί η συνολική παροχή διοξειδίου του άνθρακα ανά ώρα, δηλαδή τι ποσοστό από τα απαγόμενα καυσαέρια είναι δυνατόν να οδηγηθούν προς την μελετώμενη μονάδα. Διαφορετικά αν διαιρεθεί με τον αριθμό αυτό το

ποσό διοξειδίου του άνθρακα που παρέχεται είναι δυνατόν να βρεθούν τα απαραίτητα κυβικά μέτρα.

Το στοιχείο όμως που θα αποτελέσει βασικό άξονα για τους τελικούς υπολογισμούς θα αποτελέσει η δεσμευόμενη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Με δεδομένη την μελέτη παρόμοιας εγκατάστασης είναι δεδομένο πως 52 κυβικά μέτρα έρχονται να καλύψουν επιφάνεια ίση με 600 τετραγωνικά μέτρα<sup>19</sup>. Συνεπώς με μια απλή αναγωγή υπολογίζεται πως κάθε κυβικό μέτρο διαλύματος μικροαλγών καλύπτει 11,5 τετραγωνικά μέτρα<sup>19</sup>. Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό ο αριθμός αυτός δεν αναφέρεται αποκλειστικά και μόνο σε ένα κυβικό μέτρο διαλύματος αλλά σε ολόκληρη την εγκατάσταση συμπεριλαμβανομένου των απαραίτητων εξαρτημάτων. Σε κάθε περίπτωση τα  $11,5 \text{ m}^2 \text{ επιφάνειας} / \text{m}^3 \text{ διαλύματος}$  θα αποτελέσουν βασική παράμετρο για τον σχεδιασμό της εγκατάστασης.

Στην συγκεκριμένη μελέτη θα αναλυθούν περισσότερα από ένα σενάρια ξεκινώντας από την μικρότερη δυνατή μονάδα που θα δεσμεύει ένα πολύ μικρό ποσοστό από τα παραγόμενα καυσαέρια και θα εκτίνεται σε 1000 τετραγωνικά μέτρα, και καταλήγοντας στην μεγαλύτερη μονάδα. Η μονάδα αυτή θα δεσμεύει όλη την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται στα καυσαέρια του ΑΗΣ κατά την διάρκεια της λειτουργίας της. Έτσι η δεδομένη διάρκεια 8 ωρών έχει ως αποτέλεσμα την δέσμευση του 33,33% του συνολικά παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Σε περίπτωση που επιθυμείται μεγαλύτερο ποσοστό δέσμευσης είναι δυνατή η χρήση ηλιακών συλλεκτών οι οποίοι θα διοχετεύουν ηλιακή ενέργεια στις μικροάλγεις και κατά τις περιόδους που αυτό δεν είναι δυνατόν με φυσικό τρόπο μέσα από το θερμοκήπιο.

Για την τελευταία, αυτή περίπτωση, με δεδομένη την παροχή 407,58 tn/h , όπως προηγούμενα υπολογίστηκε, καθώς και την κατανάλωση διοξειδίου του άνθρακα από τις μικροάλγεις,  $0,7 \text{ kg} / \text{m}^3 / \text{h}$ , υπολογίζεται ότι είναι απαραίτητα  $582.257 \text{ m}^3$  διαλύματος μικροαλγών. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί σε 6.695.957 τετραγωνικά μέτρα.

Τα αποτελέσματα αναλυτικά για κάθε περίπτωση έκτασης εγκατάστασης δίνονται συνολικά, στον Πίνακα 7.

Πιν.7, Ποσότητα δεσμευόμενου διοξειδίου του άνθρακα ανά έκταση εγκατάστασης.

| Έκταση εγκατάστασης (m <sup>2</sup> ) | Όγκος διαλύματος μικροαλγών (m <sup>3</sup> ) | Δέσμευση CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> /h) | Μάζα δεσμευμένου kg CO <sub>2</sub> /h | Ώρες λειτουργίας/έτος | Μάζα δεσμευμένου tn CO <sub>2</sub> /έτος | Ποσοστό επί του παραγόμενου CO <sub>2</sub> (%) |
|---------------------------------------|---|---|--|-----------------------|---|---|
| 1000                                  | 86,96   | 0,7   | 60,87                                  | 2880                  | 175,30                                    | 0,005   |
| 500000                                | 43478,26                                      | 0,7   | 30434,78                               | 2880                  | 87652,17                                  | 2,48  |
| 1000000                               | 86956,52                                      | 0,7   | 60869,57                               | 2880                  | 175304,35                                 | 4,97  |
| 3348000                               | 291130,43                                     | 0,7   | 203791,30                              | 2880                  | 586918,96                                 | 16,66   |
| 6695957                               | 582257,13                                     | 0,7   | 407579,99                              | 2880                  | 1173830,37                                | 33,33   |

### 5.3. Υπολογισμός Διαμέτρου αγωγών

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου αγωγών θα χρησιμοποιηθεί η εμπειρική σχέση<sup>20</sup>  $D_{i,opt} = 0.363q_f^{0.45} \rho^{0.13} \mu_c^{0.025}$ , για τυρβώδη ροή, όπου,  $q_f$  παροχή όγκου σε (m<sup>3</sup>/s),  $\mu_c$  το ιξώδες σε μονάδες (Pa s) και  $\rho$  η πυκνότητα σε (kg/m<sup>3</sup>), και η σχέση<sup>21</sup>  $D_{i,opt} = 0.863q_f^{0.36} \mu_c^{0.18}$ , για στρωτή ροή με ίδιες αντιστοιχίες συμβόλων. Το ιξώδες του καυσαερίου θα θεωρηθεί 0,0000224 Pas για υγρό καυσαέριο και 0,0000185 Pas για ξηρό καυσαέριο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω εξίσωση αποτελεί αποτέλεσμα προηγούμενης μορφής στην οποία έχουν αντικατασταθεί κάποιες βασικές παράμετροι οι οποίοι δεν θεωρείται ότι επηρεάζουν το τελικά αποτέλεσμα. Δηλαδή η εξίσωση δεν είναι «ευαίσθητη» στους παράγοντες αυτούς. Η συγκεκριμένη αναφορά αυτών δεν θεωρείται απαραίτητη στην συγκεκριμένη μελέτη, αλλά είναι δυνατή η εύρεση τους στην βιβλιογραφία που δίνεται<sup>20</sup>.

Οι παραπάνω μαθηματικές σχέσεις ισχύουν για διαμέτρους μεγαλύτερες των 0.0254 m, όπως άλλωστε είναι αναμενόμενο, λόγω της μεγάλης παροχής καυσαερίων<sup>20</sup>.

Η ροή μέσα στον αγωγό θα θεωρηθεί τυρβώδης ή στρωτή σε αντίθετη περίπτωση. Η κατάσταση της ροής θα προσδιοριστεί σε γενικές γραμμές από το μήκος του αγωγού ή από το σημείο ροής. Έτσι σε μεγάλου μήκους αγωγό η ροή θα θεωρείται στρωτή ενώ σε μικρού μήκους αγωγούς ή σε εισόδους αγωγών τυρβώδης.



Η διάμετρος του αγωγού θα υπολογιστεί για υγρό και ξηρό καυσαέριο, έχοντας ως δεδομένο την χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας στην διαδρομή του καυσαερίου, που θα το ψύξει και θα το ξηράνει. Έτσι μετά ο πέρασ αυτού, τα καυσαέρια θα έχουν διαφορετική σύσταση, διαφορετικές ιδιότητες και διαφορετική –χαμηλότερη- θερμοκρασία.

Τελικά υπολογίζεται:

Πιν.8, Υπολογισμός διαμέτρου αγωγού κατάθλιψης διοξειδίου του άνθρακα από ΑΗΣ.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Ροή      | Καυσαέριο    | Συνολική παροχή μάζας CO2 από ΑΗΣ(kg/s) | Ποσοστό δεσμευόμενου CO2 επί του παραγόμενου CO2 | τελική παροχή μάζας CO2 προς μικροάλλεγεις (kg/s) | Τελική παροχή μάζας καυσαερίου προς μικροάλλεγεις (kg/s) | Τελική παροχή όγκου καυσαερίου προς μικροάλλεγεις (m3/s) | D i,opt (m) |
|---------------------------|----------|--------------|---|--|---|--|--|-------------|
| 0,05                      | τυρβώδης | Υγρό (180oC) | 113,21                                  | 0,00005  | 0,0056  | 0,0335   | 0,0461   | 0,067       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 0,0056  | 0,0280   | 0,0237   | 0,052       |
|                           | στρωτή   | Υγρό (180oC) | 113,21                                  |  | 0,0056  | 0,0335   | 0,0461   | 0,037       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 0,0056  | 0,0280   | 0,0237   | 0,028       |
| 2,48                      | τυρβώδης | Υγρό (180oC) | 113,21                                  | 0,02489064                                       | 2,8181  | 16,7641  | 23,0592  | 1,094       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 2,8181  | 13,9981  | 11,8728  | 0,860       |
|                           | στρωτή   | Υγρό (180oC) | 113,21                                  |  | 2,8181  | 16,7641  | 23,0592  | 0,349       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 2,8181  | 13,9981  | 11,8728  | 0,265       |
| 4,97                      | τυρβώδης | Υγρό (180oC) | 113,21                                  | 0,04978128                                       | 5,6362  | 33,5281  | 46,1184  | 1,494       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 5,6362  | 27,9961  | 23,7456  | 1,175       |
|                           | στρωτή   | Υγρό (180oC) | 113,21                                  |  | 5,6362  | 33,5281  | 46,1184  | 0,448       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 5,6362  | 27,9961  | 23,7456  | 0,340       |
| 16,66                     | τυρβώδης | Υγρό (180oC) | 113,21                                  | 0,16666773                                       | 18,8700   | 112,2521   | 154,4045   | 2,574       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 18,8700   | 93,7310  | 79,5004  | 2,023       |
|                           | στρωτή   | Υγρό (180oC) | 113,21                                  |  | 18,8700   | 112,2521   | 154,4045   | 0,693       |
|                           |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21                                  |  | 18,8700   | 93,7310  | 79,5004  | 0,526       |

|       |          |              |        |             |         |          |          |       |
|-------|----------|--------------|--------|-------------|---------|----------|----------|-------|
| 33,33 | τυρβώδης | Υγρό (180oC) | 113,21 | 0,333333332 | 37,7398 | 224,5027 | 308,8070 | 3,516 |
|       |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21 |             | 37,7398 | 187,4607 | 158,9997 | 2,764 |
|       | στρωτή   | Υγρό (180oC) | 113,21 |             | 37,7398 | 224,5027 | 308,8070 | 0,889 |
|       |          | Ξηρό (40oC)  | 113,21 |             | 37,7398 | 187,4607 | 158,9997 | 0,675 |

|   |
|---|
| χρωματικός χαρακτηρισμός τυρβώδους ροής   |
| χρωματικός χαρακτηρισμός στρωτής ροής     |
| χρωματικός χαρακτηρισμός ξηρού καυσαερίου |
| χρωματικός χαρακτηρισμός υγρού καυσαερίου |

### 5.3.1. Αγωγός αναρρόφησης καυσαερίων προ εναλλάκτη θερμότητας

Για τους αγωγούς μεταφοράς καυσαερίων από την μονάδα ηλεκτροπαραγωγής έως την μελετώμενη μονάδα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μεταλλικό ή μη μεταλλικό υλικό. Στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως, και κυρίως λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί στα καυσαέρια που μεταφέρονται θα χρησιμοποιηθούν μεταλλικοί αγωγοί. Δύο είναι άλλωστε τα πλαστικά υλικά που αντέχουν: το Teflon (TFE) με αντοχή έως τους 260 °C και ένα πολυμερές του, το FEP, με παρόμοιες ιδιότητες με το προηγούμενο υλικό και αντοχή σε θερμοκρασία που φτάνει τους 200 °C. Η χρήση αυτών δεν συνιστάται καθώς στο εμπόριο κυκλοφορούν με μέγιστη διάμετρο 25 mm, γεγονός μη αποδεκτό (βλ. πίνακα 8). Συγκεκριμένα οι αγωγοί θα είναι από ανοξείδωτο ατσάλι (stainless steel) για να επιτευχθεί μεγάλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες που εμφανίζονται. Είναι πιθανή η αντικατάσταση του παραπάνω υλικού μετά από τον εναλλάκτη θερμότητας, οποίος θα τοποθετηθεί κατά μήκος του αγωγού αναρρόφησης. Το παραπάνω θα λάβει χώρα διότι η θερμοκρασία των καυσαερίων θα μειωθεί στους 40 °C περίπου και με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατή η χρήση φθηνότερων υλικών για το τελικό κομμάτι μεταφοράς των καυσαερίων. Γενικά χαρακτηριστικά ανά τύπο αγωγού περιγράφονται παρακάτω.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι κράματα με βάση τον σίδηρο που περιέχουν συνήθως χρώμιο σε ποσοστό τουλάχιστον 11,5%. Άλλα στοιχεία, με σημαντικότερο το νικέλιο, είναι δυνατόν να προστεθούν έτσι ώστε σε συνδυασμό με το χρώμιο να αποφέρουν ειδικά χαρακτηριστικά. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί στη διάβρωση και στην οξείδωση από υψηλές θερμοκρασίες. Σε γενικές γραμμές, η αντίσταση στη διάβρωση και οξείδωση αυξάνεται σταδιακά, αν και όχι αναλογικά, με την αύξηση της περιεκτικότητας σε χρώμιο. Συνήθως χρησιμοποιούνται για ποικίλους λόγους: σε συνθήκες πιθανής διάβρωσης και οξείδωσης, σε υψηλές θερμοκρασίες, για λόγους καθαρότητας και χαμηλών δαπανών συντήρησης καθώς και για διατήρηση της καθαρότητας των υλικών που έρχονται σε επαφή με τον αγωγό. Τα χαρακτηριστικά του ανοξείδωτου

χάλυβα επιτρέπουν την κατασκευή λεπτών τοιχωμάτων σωλήνωσης χωρίς φόβο καταστροφής λόγω διάβρωσης<sup>21</sup>.

Ο τύπος 304 είναι ευρύτατα χρησιμοποιημένος σε διαβρωτικές εφαρμογές, χρησιμοποιείται στις χημικές εγκαταστάσεις, σε εγκαταστάσεις καθαρισμού και σε βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων. Ο τύπος 304 έχει μια μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα της τάξης του 0.8%. Δεν συστήνεται για τη χρήση σε θερμοκρασίες μεταξύ 420°C και 900°C λόγω πιθανής διάβρωσης και πρόωρης καταστροφής του<sup>21</sup>. Ο τύπος 304L είναι ίδιος με τον 304 εκτός από το ότι η μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι 0.3% γεγονός που επιτρέπει την χρήση του σε συνθήκες με εντονότερα διαβρωτικά στοιχεία<sup>21</sup>.

Ο τύπος 318 είναι ανθεκτικότερος στη διάβρωση από άλλα κράματα νικελίου - χρωμίου λόγω της προσθήκης του μολυβδαίνιου σε ποσοστό 2% με 3%. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός σε οξέα, ύδωρ θείου, νερό της θάλασσας ή σε άλατα αλογόνου<sup>21</sup>.

Ο τύπος 316 χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία χαρτιού, θειώδους άλατος καθώς και για την κατασκευή των χημικών συσκευών εγκαταστάσεων, επίσης χρησιμοποιείται σε φωτογραφικό εξοπλισμό και σε πλαστικά<sup>21</sup>. Ο τύπος 316L, όπως και ο 304L, αγγίζει μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα 0.3%<sup>21</sup>.

Για την συγκεκριμένη μελέτη θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος 304L, αφού παρουσιάζει χαρακτηριστικά ανθεκτικά στις συνθήκες που επικρατούν στα μεταφερόμενα καυσαέρια και έχουν χαμηλότερο κόστος από τους άλλους τύπους αγωγών.

### **5.3.2. Αγωγός αναρρόφησης καυσαερίων μετά εναλλάκτη θερμότητας**

Όπως αναφέρεται και προηγουμένως, τα καυσαέρια ύστερα από τον εναλλάκτη θερμότητας θα βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Για τον λόγο αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πλαστικοί σωλήνες οι οποίοι πέραν του πολύ χαμηλότερου κόστους παρουσιάζουν ευκολία στην τοποθέτηση και στην συντήρηση.

Συγκεκριμένα ανάμεσα στα είδη πλαστικών σωλήνων που κυκλοφορούν στην αγορά και είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά ξηρών καυσαερίων θερμοκρασίας 40 °C θα επιλεγούν αγωγοί πολυαιθυλενίου (PE). Οι σωλήνες PE παρέχουν ακεραιότητα, ανθεκτικότητα, ευελιξία, και χαμηλός βάρος. Οι παράγοντες αυτοί κάνουν τη χρήση επίσης πρακτική για υπέργειες εφαρμογές. Η ευκολία εγκατάστασης και η εξαιρετική ανθεκτικότητα των αγωγών PE επίσης καθιστούν πρακτικούς για τη συλλογή και μεταφορά πετρελαίου και καυσαερίων.

Ένα δεύτερο υλικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για το συγκεκριμένο κομμάτι του αγωγού είναι το PVC, το οποίο παρουσιάζει όμοια χαρακτηριστικά με το επιλεγέν υλικό. Επίσης η τιμή του είναι σχετικά χαμηλότερη από αυτή των αγωγών PE. Όμως η αντοχή που παρουσιάζουν οι τελευταίοι σε συνδυασμό

με το χαμηλότερο κόστος συντήρησης των πρώτων οδηγούν στην τελική επιλογή. Αναφέρεται επίσης ότι οι αγωγοί PVC σε υψηλές θερμοκρασίες είναι δυνατόν να απελευθερώσουν χημικά στοιχεία βλαβερά τόσο για το περιβάλλον όσο και για το μεταφερόμενο προϊόν.

Όπως παρουσιάζεται και σε προηγούμενο χωρίο περιγραφής της εγκατάστασης, τα απαγόμενα από την μονάδα καυσαέρια μετά την θερμική επεξεργασία τους θα οδηγηθούν στην μονάδα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα. Εκεί θα οδηγηθούν σε δεξαμενές, στις οποίες θα υπάρχει το διάλυμα μικροαλγών, όπου και θα αναμειγνύονται. Στην συνέχεια με δίκτυο σωληνώσεων που θα αναλυθεί παρακάτω θα διοχετεύονται στους αντιδραστήρες (PBR) όπου και θα λαμβάνει χώρα η διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Για λόγους ευχρηστίας και λειτουργικότητας οι δεξαμενές υποδοχής των καυσαερίων θα είναι περισσότερες από μια αναγκάζοντας έτσι τον κύριο αγωγό μεταφοράς να διασπαστεί σε μικρότερους. Ο αριθμός των διασπάσεων αυτών, και συνεπώς και των μικρότερης διαμέτρου αγωγών θα καθοριστεί από τον όγκο του απαιτούμενου διαλύματος μικροαλγών, και υπολογίζεται παρακάτω.

### **5.3.3. Αγωγοί βασικού μίγματος**

Οι αγωγοί βασικού μίγματος θα είναι αυτοί οι οποίοι θα μεταφέρουν το διάλυμα μικροαλγών και διαλυμένου καυσαερίου από τις δεξαμενές στους αντιδραστήρες ώστε να λάβει χώρα το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης και να δεσμευτεί το διοξείδιο του άνθρακα από τα καυσαέρια, ενώ στην συνέχεια θα συμβάλλουν στην επανακυκλοφορία του διαλύματος με αντίθετη φορά από την προηγούμενη. Οι αγωγοί αυτοί θα είναι σε αριθμό όσες και οι σειρές που θα δημιουργήσουν οι αντιδραστήρες, ενώ η τροφοδοσία ή η αναρρόφηση προς και από τους αντιδραστήρες θα γίνεται με ακροφύσια. Ο αριθμός των σειρών επιλέχθηκε τυχαία. Ο ακριβής υπολογισμός του μήκους κάθε σειράς δίνεται σε μορφή πίνακα σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα ακροφύσια κατάθλιψης θα συνδέονται στην κορυφή των αντιδραστήρων ενώ τα ακροφύσια αναρρόφησης θα βρίσκονται στην βάση τους. Η διάμετρος των αγωγών θα υπολογιστεί για τυρβώδη ροή, με πυκνότητα  $1100 \text{ kg/m}^3$  και ιξώδες  $0,631 \text{ Pas}$ . Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν χονδρικά έχοντας ως βάση τις αντίστοιχες τιμές για το νερό σε θερμοκρασία  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Η πυκνότητα θεωρήθηκε μεγαλύτερη λόγω των μικροαλγών ενώ το ιξώδες θεωρήθηκε ίσο με δεδομένη την ταυτόχρονη ύπαρξη μικροαλγών αλλά και καυσαερίων. Η παροχή κάθε αγωγού σε κάθε σενάριο θα υπολογιστεί θεωρώντας έναν αριθμό σειρών, στην διάταξη των αντιδραστήρων μέσα στο θερμοκήπιο. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 9.

Πιν.9, Υπολογισμός διαμέτρου αγωγών βασικού μίγματος.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | Πραγματικός Αριθμός PBR | Αριθμός σειρών | Αριθμός αγωγών | Συνολική παροχή (m <sup>3</sup> /s) | Παροχή ανά αγωγό (m <sup>3</sup> /s) | D i, opt (m) |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| 0,005                                 | 588                     | 10             | 20             | 0,009                               | 0,00045                              | 0,02789      |
| 2,48                                  | 289855                  | 500            | 1000           | 4,529                               | 0,00452                              | 0,07861      |
| 4,97                                  | 579710                  | 700            | 1400           | 9,058                               | 0,00646                              | 0,09229      |
| 16,66                                 | 1940869                 | 1400           | 2800           | 30,326                              | 0,01083                              | 0,11638      |
| 33,33                                 | 3881714                 | 2000           | 4000           | 60,652                              | 0,015162                             | 0,13540      |

#### 5.3.4. Αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίων από τους αντιδραστήρες

Όπως αναφέρεται και στην περιγραφή της εγκατάστασης ύστερα από την διαδικασία της φωτοσύνθεσης όσα παραγόμενα αέρια η κατάλοιπα καυσαερίου μένουν θα διοχετεύονται μέσω αγωγών εκτός του θερμοκηπίου. Η διαδικασία αυτή θα γίνεται μέσω αγωγών οι οποίοι μέσω ακροφυσίων στο πάνω μέρος των αντιδραστήρων θα αναρροφούν τα παραγόμενα καυσαέρια.

Οι αγωγοί αυτοί όπως και οι προηγούμενοι θα είναι από PE και η διάμετρος τους θα καθοριστεί συναρτήσει της παροχής και του αριθμού τους. Η παροχή θα θεωρηθεί χονδρικά ίση με αυτήν την αναρρόφησης από τον ΑΗΣ με δεδομένη την πρόσδοση αέρα στο διάλυμα. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 10.

Πιν.10, Υπολογισμός διαμέτρου αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων από βιοαντιδραστήρες.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | Πραγματικός Αριθμός PBR | Αριθμός σειρών | Αριθμός αγωγών | Συνολική παροχή (m <sup>3</sup> /s) | Παροχή ανά αγωγό (m <sup>3</sup> /s) | D i, opt |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------|
| 0,005                                 | 588                     | 10             | 10             | 0,0237                              | 0,002374563                          | 0,01862  |
| 2,48                                  | 289855                  | 500            | 500            | 11,8728                             | 0,023745634                          | 0,05249  |
| 4,97                                  | 579710                  | 700            | 700            | 23,7456                             | 0,033922334                          | 0,06163  |
| 16,66                                 | 1940869                 | 1400           | 1400           | 79,5004                             | 0,056785987                          | 0,07771  |
| 33,33                                 | 3881714                 | 2000           | 2000           | 158,9997                            | 0,079499872                          | 0,09041  |

### 5.3.5. Αγωγοί αναρρόφησης αέρα προς τους αντιδραστήρες

Οι αγωγοί αυτοί θα μεταφέρουν αέρα στους αντιδραστήρες με σκοπό την τροφοδοσία του διαλύματος μικροαλγών με οξυγόνο για την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Οι αγωγοί θα είναι ίσοι με τις σειρές των αντιδραστήρων όπως και οι αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίων από αυτούς και η παροχή τους θα θεωρηθεί για λόγους απλότητας ίση με το μισό της παροχής των καυσαερίων. Ο πίνακας που διαμορφώνεται τελικά είναι όμοιος με αυτόν των αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων από τους αντιδραστήρες και δίνεται παρακάτω (πίνακα 11).

Πιν.11, Υπολογισμός διαμέτρου αγωγών αναρρόφησης αέρα προς βιοαντιδραστήρες.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | Πραγματικός Αριθμός PBR | Αριθμός σειρών | Αριθμός αγωγών | Συνολική παροχή (m <sup>3</sup> /s) | Παροχή ανά αγωγό (m <sup>3</sup> /s) | D i, opt |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------|
| 0,005                                 | 588                     | 10             | 10             | 0,011873                            | 0,001187282                          | 0,01367  |
| 2,48                                  | 289855                  | 500            | 500            | 5,936408                            | 0,011872817                          | 0,03852  |
| 4,97                                  | 579710                  | 700            | 700            | 11,87282                            | 0,016961167                          | 0,04523  |
| 16,66                                 | 1940869                 | 1400           | 1400           | 39,75019                            | 0,028392994                          | 0,05703  |
| 33,33                                 | 3881714                 | 2000           | 2000           | 79,49987                            | 0,039749936                          | 0,06635  |

#### 5.4. Εναλλάκτης θερμότητας (dry cooler)

Για την αποφυγή συμπύκνωσης των υδρατμών που περιέχονται στα καυσαέρια θα χρησιμοποιηθεί σχετική διάταξη διαχωρισμού του παραπάνω συστατικού από το μίγμα καυσαερίων. Υπάρχουν δύο τρόποι να επιτευχθεί το παραπάνω, ή με την χρήση μεμβρανών είτε με ψύξη των καυσαερίων. Στην συγκεκριμένη μελέτη θα αναλυθεί η χρήση ψυκτικού μέσου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που χαρακτηρίζει τα εξερχόμενα καυσαέρια. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται και ο διαχωρισμός του καυσαερίου μίγματος από τα στοιχεία νερού, αλλά και η μείωση της θερμοκρασίας αυτού, δημιουργώντας ευνοϊκότερες συνθήκες για την περαιτέρω διαδικασία. Για την παρούσα μελέτη θα θεωρηθεί δεδομένο πως στην έξοδο του εναλλάκτη θερμότητας το ξηρό καυσαέριο θα έχει θερμοκρασία που θα φτάνει τους 40 °C.

Για τον υπολογισμό του κόστους του εναλλάκτη θα χρησιμοποιηθεί διάγραμμα που το συσχετίζει με την επιφάνεια συναλλαγής. Για τον υπολογισμό της επιφάνειας θεωρήθηκε  $U = 56,745 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ,<sup>27</sup> έτσι ώστε

$$A = \frac{Q}{U \Delta T}, \text{ όπου}$$

$$Q = Ch(Thi - Tho) = Cp_h \dot{m}_h (Thi - Tho) = Cp_c \dot{m}_c (Tco - Tci) = Cc(Tco - Tci)$$

$$\Delta T = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}}, \text{ με } \Delta T_a = Thi - Tci \text{ και } \Delta T_b = Tho - Tco.<sup>29</sup>$$

Με  $Thi$  συμβολίζεται η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων (180 °C), με  $Tho$  η θερμοκρασία εξόδου αυτών (40 °C), με  $Tci$  η θερμοκρασία εισόδου του νερού (10°C) (ψυκτικό μέσο) και με  $Tco$  θερμοκρασία εξόδου του. Με  $m_h$  συμβολίζεται η παροχή μάζας καυσαερίου και με  $m_c$  η παροχή μάζας νερού.

Για τους απαραίτητους υπολογισμούς θα υποτεθούν η παροχή του νερού σε κάθε περίπτωση καθώς και η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού. Τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή πίνακα (πίνακας 12).

Πιν.12, Απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής εναλλάκτη θερμότητας.

| <b>mh<br/>(kg/s)</b> | <b>mc<br/>(kg/s)</b> | <b>Ch<br/>(KW/K)</b> | <b>Cc<br/>(KW/K)</b> | <b>Q (KW)</b> | <b>Tco<br/>(K)</b> | <b>Δτα</b> | <b>Δtb</b> | <b>A (m2)</b> |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|--------------------|------------|------------|---------------|
| 0,034                | 0,03                 | 0,04                 | 0,12                 | 5,6           | 431,9              | 123,1      | 30         | 1,5           |
| 16,764               | 15,5                 | 20,1                 | 62                   | 2816,3        | 430,4              | 124,5      | 30         | 747,1         |
| 33,528               | 30                   | 40,2                 | 120                  | 5632,7        | 431,9              | 123,0      | 30         | 1505          |
| 112,252              | 100                  | 134,7                | 400                  | 18858,3       | 432,1              | 122,8      | 30         | 5045,8        |
| 224,500              | 200                  | 269,4                | 800                  | 37716         | 432,1              | 122,8      | 30         | 10091         |

Θεωρώντας ότι η μέγιστη επιφάνεια που μπορεί να καλύψει ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι τα 1250 τετραγωνικά μέτρα, και πως το εύρος κάθε εναλλάκτη, όσον αφορά την επιφάνεια αυτή, αλλάζει ανά τετραγωνικό μέτρο, υπολογίζεται ο αριθμός των απαιτούμενων εναλλακτών ανά περίπτωση, καθώς και η επιφάνεια συναλλαγής που καλύπτει ο καθένας.

Πιν.13, Απαραίτητος αριθμός εναλλακτών.

| Ποσοστό δέσμησης CO <sub>2</sub> (%) | Αριθμός εναλλακτών | Επιφάνεια συναλλαγής |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------|
| 0,005                                | 1                  | 1x1,5                |
| 2,48                                 | 1                  | 1x747                |
| 4,97                                 | 2                  | 1x1250 + 1x256       |
| 16,66                                | 5                  | 4x1250 + 1x46        |
| 33,33                                | 9                  | 8x1250 + 1x92        |

### 5.5. Ανεμιστήρας (Fan)

Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο χωρίο στην διαδρομή των καυσαερίων έως την είσοδο τους στις δεξαμενές του διαλύματος μικροαλγών, όπου και αναμιγνύονται με αυτό, έρχονται σε επαφή με έναν ανεμιστήρα ο οποίος και τους παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για να ξεπεράσουν οποιοδήποτε απώλειες και υψομετρικές διαφορές. Βάση βιβλιογραφίας είναι γνωστό πως οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν αύξηση πίεσης μικρότερης των 3 kPa<sup>30</sup>. Παρακάτω θα γίνει ο απαραίτητος υπολογισμός.

Σύμφωνα με την σχέση του Bernoulli που δίνει τον ενεργειακό ισολογισμό ανάμεσα στην αρχική και τελική κατάσταση του ρευστού, ή αλλιώς την απαιτούμενη ενέργεια για την μετακίνηση του ρευστού, ισχύει:

$$W = (z_2 - z_1)g + (p_2 v_2 - p_1 v_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} + \Sigma F,^{20}$$

Όπου z το ύψος σε m, g η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s<sup>2</sup>, p η πίεση σε Pa, v ο ειδικός όγκος ρευστού σε m<sup>3</sup>/kg, V η ταχύτητα του ρευστού σε m/s, και ΣF το σύνολο των απωλειών.

Στην περίπτωση που μελετάται, οι απώλειες που θα ληφθούν υπόψη είναι αυτές που ισχύουν για ροή σε ευθύγραμμο αγωγό, και δίνονται συγκεκριμένα από τον τύπο:  $\Sigma F = \frac{2\lambda V^2 L}{D}$ ,<sup>20</sup> όπου λ συντελεστής τριβής, V η ταχύτητα του ρευστού σε m/s, L το μήκος του αγωγού σε m, D η διάμετρος του αγωγού σε m. Εδώ λόγω του μεγάλου μήκους του αγωγού και για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς,



θα θεωρηθεί στρωτή η ροή συνεπώς η τιμή του συντελεστή τριβής δίνεται από την σχέση  $\lambda = \frac{16\mu}{D\nu\rho}$ ,<sup>20</sup> όπου  $\mu$  το ιξώδες του ρευστού και οι λοιπές τιμές όπως προηγουμένως.

Για την εύρεση της διαφοράς πίεσης θα εξισωθεί η ενεργειακή απαίτηση ανάμεσα σε δύο διαφορετικές καταστάσεις. Η πρώτη είναι αυτή ανάμεσα στην είσοδο στον αγωγό και την τελική έξοδο των καυσαερίων στην επιφάνεια των δεξαμενών, και η δεύτερη ανάμεσα στις θέσεις προ και μετά τον ανεμιστήρα. Στην πρώτη περίπτωση θεωρείται μηδενική η διαφορά πίεσης και η διαφορά ταχύτητας ενώ υπολογίζονται οι απώλειες, ενώ στην δεύτερη περίπτωση θεωρείται μηδενική η υψομετρική διαφορά, η διαφορά ταχύτητας ανάμεσα στις δύο φάσεις και οι απώλειες του ανεμιστήρα. Τελικά η εξίσωση έχει την παρακάτω μορφή:  $(z_2 - z_1)g + \Sigma F = (p_2 v_2 - p_1 v_1)$ .<sup>20</sup>

Πριν την αντικατάσταση των παραπάνω μεγεθών γίνονται η παρακάτω επεξηγήσεις. Ως ιξώδες καυσαερίου θα θεωρηθεί μια μέση τιμή ανάμεσα στις δύο τιμές και συγκεκριμένα  $20,45 \times 10^{-6}$  Pa s. Ως διάμετρος αγωγού θα θεωρηθεί ή μεγαλύτερη τιμή αυτού έτσι ώστε να καλύπτεται η δυσμενέστερη περίπτωση, συγκεκριμένα 0,67 m. Η ταχύτητα του καυσαερίου θα υπολογιστεί από την σχέση  $V = \frac{\dot{m}}{\rho A}$ , όπου η παροχή ίση με μια μέση παροχή, 187,46 kg/s, πυκνότητα ίση με μια μέση πυκνότητα 0,955 kg/m<sup>3</sup> και διατομή ανάλογη της προεπιλεγμένης διαμέτρου, 0,352 m<sup>2</sup>. Ο ειδικός όγκος του ρευστού θα θεωρηθεί ίδιος για κάθε κατάσταση 1 και 2 και ίσος με 8,4 m<sup>3</sup>/kg, ενώ ως μήκος αγωγού θα υπολογιστεί η μεγαλύτερη τιμή του, δηλαδή 10 km, και πάλι για τον υπολογισμό της δυσμενέστερης περίπτωσης.

Τελικά υπολογίζεται ότι η διαφορά πίεσης ανέρχεται 1 kPa, γεγονός που επιτρέπει την χρήση ανεμιστήρα για τις ανάγκες της εγκατάστασης. Για την πλήρωση απαιτήσεων χαμηλού κόστους θα επιλεγεί ο ανεμιστήρας που παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές σε αυτόν τον τομέα και αυτός είναι ο απλός ανεμιστήρας αξονικής ροής. Σε περίπτωση που χρειαζόταν η επιλογή ενός ακριβότερου τύπου ανεμιστήρα τότε η επιλογή των τιμών των παραμέτρων, όπως περιγράφεται παραπάνω θα έπρεπε να διαχωριστεί υπολογίζοντας μια καινούρια τιμή για ένα πιο «εύκολο σενάριο». Από την στιγμή που αυτό δεν είναι απαραίτητο τότε η αρχική υπόθεση χρήσης των μεγαλύτερων τιμών στις εκάστοτε παραμέτρους είναι σωστή.

## 5.6. Δεξαμενές (tanks)

Σε κάθε μια από τις προηγούμενες περιπτώσεις όπως αυτές περιγράφηκαν, η ανάμειξη του διαλύματος μικροαλγών και καυσαερίων θα γίνεται μέσα σε δεξαμενές διαλύματος. Ο αριθμός αυτών θα καθοριστεί από τον απαιτούμενο όγκο διαλύματος και τον αντίστοιχο δικό τους όγκο. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να παρατηρηθεί πως το μέγεθος κάθε τέτοιας δεξαμενής θα επηρεάσει και την τιμή του ανεμιστήρα, ο οποίος αντλεί τα καυσαέρια μέσα από τον σωλήνα αναρρόφησης.

Το ύψος των δεξαμενών αυτών θα καθοριστεί στα 6 μέτρα τόσο για λόγους εύκολης διαχείρισης του όσο και για οικονομικούς λόγους που αφορούν τις δεξαμενές και τον ανεμιστήρα της εγκατάστασης.

Συγκεκριμένα όσον αφορά τις ίδιες τις δεξαμενές ένα λογικό και σχετικά χαμηλό ύψος θα αντιστοιχεί σε χαμηλότερο κόστος δεδομένης της ευκολίας κατασκευής του κατά πάσα πιθανότητα σε σειρές παραγωγής. Όσον αφορά τον ανεμιστήρα, βασικό στοιχείο που επηρεάζει το κόστος του είναι η ισχύς του, η οποία εξαρτάται άμεσα από το ύψος που καλείται να υπερνικήσει το διακινούμενο μέσο. Συνεπώς χαμηλότερο ύψος συνεπάγεται χαμηλότερη απαιτούμενη ισχύ και χαμηλότερο κόστος.

Ανάλογα την μελετώμενη περίπτωση οι διαστάσεις των δεξαμενών καθώς και ο αριθμός αυτών δίνεται Πίνακα 14.

Πιν.14, Υπολογισμός αριθμού δεξαμενών

| <b>Όγκος διαλύματος μικροαλγών (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Ύψος δεξαμενής (m)</b> | <b>Ακτίνα βάσης (m)</b> | <b>Όγκος δεξαμενής (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Θεωρητικός Αριθμός δεξαμενών</b> | <b>Πραγματικός Αριθμός δεξαμενών</b> |
|--|---------------------------|-------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 86,96  | 6                         | 1,5                     | 42,41                                  | 2,05                                | 2                                    |
| 43478,26   | 6                         | 1,5                     | 42,41                                  | 1025,15                             | 1025                                 |
| 86956,52   | 6                         | 1,5                     | 42,41                                  | 2050,30                             | 2050                                 |
| 291130,43  | 6                         | 1,5                     | 42,41                                  | 6864,42                             | 6865                                 |
| 582257,13  | 6                         | 1,5                     | 42,41                                  | 13728,75                            | 13729                                |

Το κόστος των δεξαμενών εξαρτάται από το υλικό αυτών, το πάχος τοιχώματος και από την χωρητικότητά τους. Όσον αφορά την τρίτη παράμετρο είναι φυσιολογικό η αύξηση του περιεχομένου να επιφέρει σχεδόν γραμμική αύξηση του κόστους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάζεται η περίπτωση δεξαμενών χωρητικότητας 42,41 κυβικών μέτρων.

Στην μελετώμενη εγκατάσταση το πάχος του τοιχώματος των δεξαμενών δεν είναι ζωτικής σημασίας καθώς το διάλυμα μικροαλγών και καυσαερίου δεν απαιτεί ισχυρές δυνάμεις συγκράτησης. Έτσι θα επιλεγούν δεξαμενές λεπτού τοιχώματος, της τάξης των 6 χιλιοστών. Τέλος το υλικό των δεξαμενών θα είναι ΡΕ, όπως και των αγωγών για λόγους που αναφέρονται παραπάνω.

Σε αυτό το σημείο αναφέρεται πως ο αριθμός των δεξαμενών σε κάθε περίπτωση θα καθορίσει και τον αριθμό των μικρότερων αγωγών στους οποίους θα διασπαστεί ο αρχικά μοναδικός αγωγός αναρρόφησης καυσαερίων. Η διάμετρος κάθε ένα από τους αγωγούς υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο με τους προηγούμενους υπολογισμούς διαμέτρου, θεωρώντας την πυκνότητα και το

ιξώδες σε συνθήκες ξηρού καυσαερίου, τυρβώδους ροής. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 15.

Πιν.15, Υπολογισμός διαμέτρου αγωγού τελικού τμήματος, προ δεξαμενών.

| Αριθμός δεξαμενών | Αριθμός αγωγών | Τελική παροχή όγκου καυσαερίου (m <sup>3</sup> /s) | Παροχή καυσαερίου/αγωγό (m <sup>3</sup> /s) | D i, opt (m) |
|-------------------|----------------|--|---|--------------|
| 2                 | 2              | 0,023  | 0,012                                       | 0,038        |
| 1025              | 1025           | 11,872   | 0,012                                       | 0,038        |
| 2050              | 2050           | 23,745   | 0,012                                       | 0,038        |
| 6865              | 6865           | 79,500   | 0,012                                       | 0,038        |
| 13729             | 13729          | 158,999  | 0,012                                       | 0,038        |

Το κόστος των αγωγών αυτών θα υπολογιστεί από το διάγραμμα 3 όπως και αυτό του κύριου αγωγού PE, αφού θα είναι από το ίδιο υλικό.

### 5.7. Διασκορπιστήρες καυσαερίων

Όπως προαναφέρεται οι δεξαμενές θα αποτελούν το σημείο ανάμειξης του διαλύματος μικροαλγών με τα καυσαέρια. Η ανάμειξη αυτή θα γίνεται με την χρήση ενός διασκορπιστήρα καυσαερίου ο οποίος θα βρίσκεται τοποθετημένος στην βάση των δεξαμενών αυτών. Τα καυσαέρια θα εισέρχονται στο διάλυμα και θα διατρέχουν όλο τον όγκο του με την μορφή φυσαλίδων. Με τον τρόπο αυτό πέραν από την επαφή των δύο στοιχείων επιτυγχάνεται και η συνεχής ανάδευση του μίγματος, έτσι ώστε να αποφεύγεται η καθίζηση των μικροαλγών και η άμεση φραγή της εισόδου των καυσαερίων.

Η λειτουργία τους βασίζεται στην τοποθέτηση πορωδών υλικών στο τέλος των αγωγών κατάθλιψης, μέσα από το οποίο δημιουργούνται οι φυσαλίδες οι οποίες και διατρέχουν όλο τον όγκο της δεξαμενής φτάνοντας στην επιφάνεια του διαλύματος. Η προτεινόμενες παροχές είναι 0,004 m<sup>3</sup>/s, 0,008 m<sup>3</sup>/s και 0,02 m<sup>3</sup>/s για ήπια, μέση και έντονη αναταραχή αντίστοιχα<sup>20</sup>. Στην συγκεκριμένη μελέτη θα χρησιμοποιηθεί η μεγαλύτερη δυνατή ανατάραξη για να αποφευχθεί η καθίζηση των μικροαλγών αλλά και για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ανάμειξη. Με δεδομένη την παροχή του καυσαερίου θα υπολογιστεί ο αριθμός των αιτούμενων μηχανικών στοιχείων, τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 16.

Πιν.16, Υπολογισμός αριθμού διασκορπιστήρων.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Τελική παροχή όγκου καυσαερίου (m <sup>3</sup> /s) | Θεωρητικός αριθμός διασκορπιστήρων | Αριθμός δεξαμενών | Θεωρητικός Αριθμός διασκορπιστήρων / δεξαμενή | Πραγματικός Αριθμός διασκορπιστήρων / δεξαμενή | Πραγματικός αριθμός διασκορπιστήρων |
|---------------------------|--|------------------------------------|-------------------|---|--|-------------------------------------|
| <b>0,005</b>              | 0,023  | 1,2                                | 2                 | 0,593   | 1  | 2                                   |
| <b>2,48</b>               | 11,872   | 593,6                              | 1025              | 0,579   | 1  | 1025                                |
| <b>4,97</b>               | 23,745   | 1187,3                             | 2050              | 0,579   | 1  | 2050                                |
| <b>16,66</b>              | 79,500   | 3975,0                             | 6865              | 0,579   | 1  | 6865                                |
| <b>33,33</b>              | 158,999  | 7950,0                             | 13729             | 0,579   | 1  | 13729                               |

Το κόστος των συγκεκριμένων διασκορπιστήρων δεν θεωρείται σημαντικό για αυτό και θεωρείται ότι συνυπολογίζεται με το κόστος του ανεμιστήρα, ή γενικά οποιασδήποτε μηχανής συμπίεσεως που προπορεύεται αυτών, και το κόστος των δεξαμενών<sup>20</sup>.

### 5.8. Αντιδραστήρες (photobioreactors)

Οι αντιδραστήρες που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση δέσμευσης διοξειδίου του θα έχουν την μορφή σωλήνων, κατασκευασμένοι όμως από εύκαμπτο πλαστικό υλικό, παίρνοντας τελικά παρόμοια μορφή με αυτή των πλαστικών σάκων, όπως και προαναφέρεται στην περιγραφή της εγκατάστασης. Θα έχουν σχήμα ορθογώνιου παραλληλογράμμου, και θα τοποθετηθούν σε βάσεις παίρνοντας τελικά το σχήμα “V”, όπως φαίνεται και στην εικόνα.



Σχ.6, Αντιδραστήρες σε σχήμα σακούλας, τοποθετημένοι σε σχήμα V<sup>20</sup>.

Η χωρητικότητα των αντιδραστήρων θα καθοριστεί στα 150 lt συνεπώς ο αριθμός τους, ανάλογα το μελετώμενο σενάριο ποικίλει. Συγκεκριμένα οι ακριβής αριθμός τους δίνεται στον Πίνακα 17.

Πιν.17, Υπολογισμός πραγματικού αριθμού PBR.

| Όγκος διαλύματος μικροαλγών (m3) | Χωρητικότητα PBR (m3) | Θεωρητικός Αριθμός PBR | Πραγματικός Αριθμός PBR |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| 86,96                            | 0,15                  | 579,71                 | 588                     |
| 43478,26                         | 0,15                  | 289855,07              | 289855                  |
| 86956,52                         | 0,15                  | 579710,14              | 579710                  |
| 291130,43                        | 0,15                  | 1940869,57             | 1940869                 |
| 582257,13                        | 0,15                  | 3881714,20             | 3881714                 |

Μέσα στο κόστος των αντιδραστήρων υπολογίζεται και το κόστος των διασκορπιστήρων αέρα οι οποίοι βρίσκονται στη βάση των πρώτων και παρέχουν στην καλλιέργεια την απαραίτητη ποσότητα αέρα για την διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

### 5.9. Διαχωριστής (harvester)

Στην επιστροφή του μίγματος μικροαλγών στις δεξαμενές με σκοπό την επανακυκλοφορία τους είναι πιθανό το πέρασμα του μεταφερόμενου διαλύματος μέσα από έναν διαχωριστή ο οποίος θα απομακρύνει το μεγαλύτερο μέρος των ανεπτυγμένων άλγεων.

Ο διαχωριστής που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι φυγόκεντρος και το κόστος του δίνεται συναρτήσει της διαμέτρου του «καλαθιού» στο οποίο λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός. Η επιλογή αυτής της διαμέτρου θα γίνει βάση της παροχής του μίγματος. Για να υπολογιστεί η παροχή θα πρέπει να υπολογιστούν οι κύκλοι που πραγματοποιούνται συναρτήσει πάντα του ρυθμού ανάπτυξης των μικροαλγών.

Στην συγκεκριμένη μελέτη θα θεωρηθεί ότι ολόκληρος ο όγκος του διαλύματος μικροαλγών θα διέρχεται τουλάχιστον μία φορά από τον διαχωριστή. Με δεδομένο τον όγκο του διαλύματος σε κάθε εξεταζόμενο σενάριο και το χρονικό διάστημα λειτουργίας είναι δυνατόν να υπολογιστεί η παροχή προς τον διαχωριστή, τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 18.

Πιν.18, Υπολογισμός παροχής προς διαχωριστή.

| Όγκος διαλύματος μικροαλγών (m <sup>3</sup> ) | Ώρες λειτουργίας | Δευτερόλεπτα λειτουργίας | Παροχή (m <sup>3</sup> /s) |
|---|------------------|--------------------------|----------------------------|
| 86,96   | 8                | 28800                    | 0,00302                    |
| 43478,26                                      | 8                | 28800                    | 1,50966                    |
| 86956,52                                      | 8                | 28800                    | 3,01932                    |
| 291130,43                                     | 8                | 28800                    | 10,10870                   |
| 582257,13                                     | 8                | 28800                    | 20,21726                   |

Στην βιβλιογραφία δίνεται ο παρακάτω πίνακας, στον οποίο συσχετίζονται η παροχή, η διάμετρος του «καλαθιού» του διαχωριστή και λοιπά στοιχεία του τελευταίου.

Πιν.19, Χαρακτηριστικά διαχωριστή<sup>20</sup>.

| Centrifugal Bowl Diameter (m) | Solids Capacity (m <sup>3</sup> /s) | Power Required (kW) | Weight (kg) |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------|
| <b>0,46</b>                   | 0,000283                            | 11,2                | 1360        |
| <b>0,61</b>                   | 0,000614                            | 18,6                | 2495        |
| <b>0,91</b>                   | 0,00142                             | 44,7                | 5445        |
| <b>1,02</b>                   | 0,00472                             | 55,9                | 7710        |
| <b>1,37</b>                   | 0,0189                              | 111,8               | 14520       |

Η διάμετρος του «καλαθιού» για κάθε μια από τις περιπτώσεις παροχής του πρώτου πίνακα, θα υπολογιστεί με γραμμική παρεμβολή από τον δεύτερο πίνακα, όπως επίσης και η απαιτούμενη ισχύς λειτουργίας. Σε περίπτωση που αυτή υπερβαίνει τις συνήθεις διαμέτρους τότε θα χρησιμοποιηθούν περισσότεροι από ένας διαχωριστές. Τα αποτελέσματα δίνονται και αυτά σε μορφή πίνακα παρακάτω (Πίνακας 20).

Πιν.20, Υπολογισμός ισχύος διαχωριστή συναρτήσει της παροχής του.

| Παροχή (m <sup>3</sup> /s) | Αριθμός διαχωριστών | Διάμετρος «καλαθιού» (m) | Απαιτούμενη ισχύς (kW) |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 0,0030                     | 1                   | 0,460                    | 11,2                   |
| 1,5097                     | 1                   | 1,370                    | 111,8                  |
| 3,0193                     | 1                   | 1,370                    | 111,8                  |
| 10,1087                    | 3                   | 1,370                    | 111,8                  |
| 20,2173                    | 6                   | 1,370                    | 111,8                  |

Για λόγους αντοχής και ευκολίας συντήρησης, παρά το μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με τον κοινό κάλυβα, θα επιλεγεί ως υλικό του διαχωριστή ο ανοξείδωτος κάλυβας.

#### 5.10. Βοηθητικές Αντλίες και Ανεμιστήρες

Όπως γίνεται κατανοητό για την μεταφορά των εκάστοτε μίγματος είναι απαραίτητη η λειτουργία ενός αριθμού αντλιών. Έτσι θα χρειαστούν αντλίες για την αναρρόφηση του μίγματος μικροαλγών- καυσαερίου από τις δεξαμενές και την οδήγησή του στους αντιδραστήρες, καθώς και για την αντίστροφη πορεία.

Επίσης θα χρειαστούν ανεμιστήρες για την τροφοδοσία των αντιδραστήρων με αέρα καθώς και για την απαγωγή των εναπομεινάντων καυσαερίων από την εγκατάσταση.

Όσον αφορά τις αντλίες θα χρησιμοποιηθούν ειδικού τύπου μηχανές, ειδικά κατασκευασμένες για την μεταφορά μιγμάτων ημιστερεών, όπως λάσπη ή στην συγκεκριμένη περίπτωση διάλυμα μικροαλγών. Οι αντλίες αυτές ονομάζονται περισταλτικές και το κόστος τους υπολογίστηκε σύμφωνα με το κόστος αντλιών μεταφοράς υγρών μεγάλου ιξώδους (gear pumps). Το κάλυμμα της αντλίας θα είναι από χυτοσίδηρο, ο άξονας της καλύβδινος και τα στοιχεία της από σίδηρο. Ο λόγος που επιλέχτηκε αυτό το είδος αντλίας είναι το γεγονός της δυνατότητας υποστήριξης μεγαλύτερης παροχής .

Κάθε αντλία θα συνοδεύεται από έναν κινητήρα. Η απαιτούμενη ισχύς κάθε αντλίας συναρτήσει της μικρής παροχής και του μικρού απαιτούμενου ύψους θα θεωρηθεί ίση με την μικρότερη δυνατή τιμή, δηλαδή 1 KW.

Για τον υπολογισμό της παροχής κάθε αντλίας, με δεδομένο ότι θα αντιστοιχεί μια αντλία ανά δεξαμενή, θεωρήθηκε πως το διάλυμα των μικροαλγών θα κάνει 3 κύκλους κατά την διάρκεια λειτουργίας του μέσα σε μία ημέρα. Ο συνολικός αριθμός αντλιών ανά μονάδα θα είναι ίσος με τον διπλάσιο αριθμό των

δεξαμενών έχοντας ως δεδομένο πως η μια θα αντλεί το διάλυμα προς τους αντιδραστήρες και η δεύτερη θα βοηθά την αντίστροφη διαδρομή. Τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή πίνακα παρακάτω.(Πίνακας 21).

Πιν.21, Υπολογισμός αριθμού αντλιών.

| Όγκος διαλύματος μικροαλγών (m <sup>3</sup> ) | Πραγματικός Αριθμός δεξαμενών | Όγκος δεξαμενής (m <sup>3</sup> ) | Κύκλοι | Χρόνος κύκλου (s) | Συνολική παροχή (m <sup>3</sup> /s) | Παροχή ανά δεξαμενή (m <sup>3</sup> /s) | Αριθμός αντλιών |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|--------|-------------------|-------------------------------------|---|-----------------|
| 86,957  | 2                             | 43,478                            | 3      | 9600              | 0,009                               | 0,0045                                  | 4               |
| 43478,261                                     | 1025                          | 42,418                            | 3      | 9600              | 4,529                               | 0,0044                                  | 2050            |
| 86956,522                                     | 2050                          | 42,418                            | 3      | 9600              | 9,058                               | 0,0044                                  | 4100            |
| 291130,435                                    | 6865                          | 42,408                            | 3      | 9600              | 30,326                              | 0,0044                                  | 13730           |
| 582257,130                                    | 13729                         | 42,411                            | 3      | 9600              | 60,652                              | 0,0044                                  | 27458           |

Ο ανεμιστήρας που θα τοποθετηθεί στην απαγωγή των καυσαερίων θα είναι ίδιων χαρακτηριστικών με αυτόν που περιγράφεται παραπάνω, δεδομένου της παρόμοιας διαδρομής και της σχετικά μικρής διαφοράς παροχής καυσαερίων.

Ο ανεμιστήρας που θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία με αέρα του διαλύματος θα είναι επίσης ένας απλός ανεμιστήρας ίδιου τύπου με αυτούς που θα χρησιμοποιηθούν στην μεταφορά καυσαερίων παίρνοντας ως δεδομένο ότι παρουσιάζει το μικρότερο κόστος, αφού η παροχή αέρα θα είναι μισή σε σχέση με αυτήν των καυσαερίων.

### 5.11. Καμινάδα

Η παραπάνω ποσότητα καυσαερίων θα διοχετεύεται στο περιβάλλον μέσω καμινάδας, που θα βρίσκεται δίπλα στην μονάδα των μικροαλγών.

Το κόστος της καμινάδας θα υπολογιστεί με δεδομένο το υλικό κατασκευής της και την διάμετρό της. Χονδρικά θα θεωρηθεί πως απαιτείται μια καμινάδα δέκα μέτρων ανά εξήντα δεξαμενές. Υλικό κατασκευής θα θεωρηθεί ο ανοξείδωτος χάλυβας και στο κόστος αυτού θα προστεθεί το κόστος της μόνωσης. Η διάμετρος της καμινάδας θα καθοριστεί από την εκάστοτε παροχή καυσαερίου.

Συναρτήσει της παραπάνω θεώρησης αριθμού καμινάδων τελικά διαμορφώνεται ο Πίνακας 22.



Πιν.22, Υπολογισμός διαμέτρου καμινάδας.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | Αριθμός δεξαμενών | Αριθμός καμινάδων | Συνολική παροχή καυσαερίων (m <sup>3</sup> /s) | Παροχή ανά καμινάδα (m <sup>3</sup> /s) | D i, opt |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|--|---|----------|
| 0,005                                 | 2                 | 1                 | 0,024  | 0,024                                   | 0,165    |
| 2,48                                  | 1025              | 17                | 11,873   | 0,695                                   | 0,757    |
| 4,97                                  | 2050              | 34                | 23,746   | 0,695                                   | 0,757    |
| 16,66                                 | 6865              | 114               | 79,500   | 0,695                                   | 0,757    |
| 33,33                                 | 13729             | 229               | 159,000  | 0,695                                   | 0,757    |

### 5.12. Θερμοκήπιο (Greenhouse)

Η κτηριακή υποδομή της μονάδας θα είναι μια συμβατική κατασκευή θερμοκηπίου, επειδή οι μικροάλγεις για την αποδοτική λειτουργία της φωτοσυνθετικής τους ικανότητας έχουν την ανάγκη ηλιακής ενέργειας, την οποία και θα δέχονται μέσα από τα διαφανή τοιχώματα της εγκατάστασης.

Το κόστος της τιμής του θερμοκηπίου θα θεωρηθεί ίσο με 209,65 \$/m<sup>2</sup> (141,72 €/m<sup>2</sup>). Η τιμή αυτή δεν υπολογίστηκε αναλυτικά αλλά θεωρήθηκε, σύμφωνα με προσφορές της αγοράς.

### 5.13. Γη

Το κόστος αγοράς της απαιτούμενης έκτασης για την εγκατάσταση της μονάδας βρέθηκε βάση των τετραγωνικών μέτρων που απαιτεί η ορθή λειτουργία της μονάδας δέσμευσης CO<sub>2</sub>. Η τιμή της καθορίστηκε βάση του κόστους γης που ισχύει σήμερα στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, και συγκεκριμένα στην Πτολεμαΐδα, δεδομένου της ύπαρξης λιγνιτικών μονάδων ΑΗΣ στην περιοχή.. Η τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο ανέρχεται στα 10 €/m<sup>2</sup>.

### 5.14. Μονάδα παραγωγής Biodiesel

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία η διαφοροποίηση του κόστους έγκειται σε κάθε περίπτωση στην πρώτη ύλη καθώς και στις λειτουργικές διαδικασίες. Σε διάφορες αναλύσεις που έχουν γίνει έχει υπολογιστεί μια μέση τιμή ανά παραγόμενο λίτρο biodiesel το οποίο περιέχει την τιμή της πρώτης ύλης και το κόστος της παραγωγικής διαδικασίας. Η τιμή αυτή έχει, λοιπόν, υπολογιστεί

από τον Bender<sup>22</sup> (1999) στα 0,30 \$/lt με πρώτη ύλη την σόγια και σε 0,69 \$/lt με πρώτη ύλη τον σιναπόσπορο. Οι παραπάνω αυτές τιμές υπολογίστηκαν θεωρώντας την παροχή της πρώτης ύλης δεδομένη, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση που μελετάται όπου η πρώτη ύλη για την παραγωγή του βιοκαυσίμου θα είναι οι μικροάλγεις, οι οποίες θα καλλιεργούνται στην διπλανή μονάδα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα.

Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν η πρώτη ύλη δεν είναι εξασφαλισμένη αλλά πρέπει να αγοραστεί το τελικό κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου υπολογίστηκε 0,7 \$/lt στην περίπτωση της σόγιας<sup>23</sup>. Στην τιμή αυτή τα 0,158 \$/lt απαιτούνται για την παραγωγή του καυσίμου και 0,539 \$/lt για την προμήθεια της πρώτης ύλης.

Οι Canakci και Van Gerpen το 2001<sup>24</sup> υπολόγισαν πως για την παραγωγή βιοκαυσίμου με βάση την σόγια, σε ένα μικρό, πιλοτικό πρόγραμμα απαιτούνται 0,42 \$/lt, χωρίς τον συνυπολογισμό του αρχικού κεφαλαίου, ενώ οι Graboski και McCormick (1998)<sup>25</sup> υπολόγισαν την τιμή των 0,57 \$/lt για την ετήσια παραγωγή 37,8 εκατομμυρίων λίτρων βιοκαυσίμου. Αξίζει να παρατηρηθεί πως σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις μεγαλύτερο μέρος του τελικά υπολογισμένου κόστους καταλαμβάνει η προμήθεια της απαραίτητης πρώτης ύλης.

Στην μελέτη που πραγματοποιείται δεν θα γίνει αναλυτική περιγραφή της εγκατάστασης παραγωγής βιοκαυσίμου, αλλά αυτή θα θεωρηθεί ως «μαύρο κουτί». Για τους τελικούς υπολογισμούς του κόστους θα θεωρηθεί πως η τιμή παραγωγής βιοκαυσίμου είναι ίση με 0,70 €/lt. Η τιμή αυτή υπολογίστηκε θεωρώντας μια μέση τιμή παραγωγής το 1999 τα 0,4 \$/lt. Με την κατάλληλη αναγωγή σε σημερινά δεδομένα και την ισοτιμία €/ \$ τελικά υπολογίστηκε η προηγούμενη τιμή.

Οι ακριβείς τιμές παραγωγής βιοκαυσίμου, ανάλογα την έκταση της εγκατάστασης δίνονται παρακάτω (πίνακας 53).

## **6. Υπολογισμός κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης αυτού**

### **6.1. Θεωρητικά στοιχεία κατανομής και υπολογισμού δαπανών σταθερού κεφαλαίου**

Με σκοπό την ανάλυση του κόστους επένδυσης που είναι απαραίτητος για το στήσιμο μιας χημικής μονάδας επεξεργασίας πρέπει πρώτα να καθοριστούν όλα τα κόστη, άμεσα ή έμμεσα, και κάθε μέρος που τα απαρτίζει.

Στην συνέχεια της θεωρητικής ανάλυσης παρατίθεται ο τρόπος υπολογισμού κόστους γνωρίζοντας παλαιότερες τιμές αυτού (Cost Index) ή τιμές που αντιστοιχούν σε διαφορετικό μέγεθος εξοπλισμού.

#### **6.1.1. Διαχωρισμός κόστους επένδυσης σε άμεσο και έμμεσο κόστος.**

##### Άμεσο Κόστος

1. Δαπάνες Εξοπλισμού.
  - Εξοπλισμός.
  - Ξεχωριστά τμήματα εξοπλισμού ή μη εγκατεστημένα μέρη αυτού.
  - Δαπάνες φορτίου.
  - Φόροι, δασμοί, ασφάλεια.
2. Δαπάνες Εγκατάστασης εξοπλισμού.
  - Εγκατάσταση εξοπλισμού.
  - Δομική υποστήριξη.
  - Μόνωση και βάψιμο εξοπλισμού.
3. Δαπάνες οργάνωσης και ελέγχου Εξοπλισμού.
  - Αγορά αντίστοιχου εξοπλισμού ελέγχου.
  - Εγκατάσταση και βαθμονόμηση.
  - Ηλεκτρονικός έλεγχος και υποστήριξη software.
4. Δαπάνες δικτύου σωλήνωσης.
  - Επιλογή καταλλήλων υλικών κατασκευής δικτύου.
  - Βαλβίδες, hangers, fittings.
  - Μόνωση δικτύου.
5. Δαπάνες Ηλεκτρολογικού δικτύου.
  - Εξοπλισμός: διακόπτες, κινητήρες, αγωγοί, καλώδια, fittings, τροφοδότες, γειώσεις, καλωδίωση οργάνων και ελέγχου, φωτισμός, πίνακες ελέγχου.
  - Δαπάνες εγκατάστασης.
6. Δαπάνες κτηρίων.

- Κτήρια στέγασης κυρίων διαδικασιών: μικροκατασκευές, υπερκατασκευές, πλατφόρμες, βάσεις, κλιμακοστάσια, σκάλες, δίοδοι, γερανοί, μονότροχοι σιδηρόδρομοι, ανελκυστήρες.
- Βοηθητικά κτήρια Α: γραφεία διοίκησης, ιατρείο, κυλικείο, χώρος στάθμευσης, αποθήκες προϊόντων, αποθήκες ενδιάμεσων, στέγαση ασφάλειας, πυροσβεστικός σταθμός, αποδυτήρια, κτήριο προσωπικού, χώροι φορτοεκφορτώσεων, κτήρια έρευνας, εργαστήριο ελέγχου.
- Βοηθητικά κτήρια Β: αντλιοστάσιο, λεβητοστάσιο, μηχανοστάσιο.
- Χώροι συντήρησης.

#### 7. Δαπάνες εξωτερικών χώρων

- Περιοχές: καθαρισμού, στάθμευσης.
- Αποβάθρες.
- Υπαίθριοι χώροι στάθμευσης.
- Δρόμοι, ράγες, φράχτες.

#### 8. Δαπάνες εγκαταστάσεων υπηρεσιών.

- Χρήση: ατμός, νερό, δύναμη, ψύξη, συμπιεσμένος αέρας, καύσιμα, διάθεση αποβλήτων.
- Εγκαταστάσεις: αποτεφρωτήρας εγκαταστάσεων λεβήτων, φρεάτια, εισαγωγή ποταμών, κατεργασία ύδατος, δροσιζοντας πύργοι, αποθήκευση νερού, ηλεκτρικός υποσταθμός, εγκαταστάσεις ψύξης, εγκαταστάσεις αέρα, αποθήκευση καυσίμων, εγκαταστάσεις διάθεσης αποβλήτων, περιβαλλοντικοί έλεγχοι, πυροπροστασία.
- Εξοπλισμός εκτός χημικών διαδικασιών: έπιπλα γραφείου, εξοπλισμός κυλικείου, ιατρικά σύνεργα, εργαλεία επισκευής οχημάτων, εργαλεία συντήρησης εξωτερικών χώρων, εξοπλισμός εργαστηρίων, εξοπλισμός αποδυτηρίων, ράφια αποθηκών, παλέτες, περονοφόρα, σύνεργα καθαρισμού χώρων, πυροσβεστήρες.
- Διαχείριση προϊόντων και συσκευασία: πρώτη ύλη αποθήκευσης και εξοπλισμός χειρισμού προϊόντων, εξοπλισμός συσκευασίας προϊόντων, εγκαταστάσεις συνδυασμού.

#### 9. Δαπάνες γης.

- Κόστος ιδιοκτησίας.

### Επιμεσο Κόστος

#### 1. Δαπάνες μηχανικών και επίβλεψης.

- Δαπάνες Μηχανικών: διοικητικές, διαδικαστικές, σχεδιασμού, συμβουλευτικές, μετακίνησης, διαμονής.
- Επίβλεψης και επιθεώρησης.

## 2. Νομικές δαπάνες.

- Προσδιορισμός εφαρμόσιμων κρατικών και τοπικών κανονισμών.
- Προετοιμασία και υποβολή εντύπων που απαιτούνται από τις ρυθμιστικές αρχές.
- Έγκρισης διαδικασιών.
- Διακανονισμοί.

## 3. Δαπάνες κατασκευής.

- Κατασκευή και συντήρηση πρόσκαιρων κατασκευών, δικτύων, γραφείων, δρόμων, διαχωριστικών.
- Εργαλεία κατασκευής.
- Λογιστικά.
- Εργατικά.
- Ασφάλεια και Υγιεινή.
- Ειδικές άδειες.
- Φόροι και ασφάλειες.

Στην οικονομική ανάλυση της μελετώμενης εγκατάστασης δεν θα θεωρηθούν όλα τα προαναφερόμενα μεγέθη αλλά μόνο αυτά τα οποία σχετίζονται με αυτήν. Παραπάνω παρατέθηκαν όλα τα στοιχεία κόστους για λόγους πληρότητας.

### 6.1.2. Δείκτες Δαπανών (Cost Index)

Για την δημιουργία της οικονομοτεχνικής μελέτης απαραίτητες είναι οι πληροφορίες που φέρουν τα οικονομικά στοιχεία του επιμέρους εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί στην ανέγερση της χημικής μονάδας επεξεργασίας. Για την άντληση των πληροφοριών αυτών θα γίνει χρήση καταλόγων που έχουν συσταθεί και στους οποίους αναφέρεται το κόστος του εξοπλισμού. Δεδομένου όμως ότι θα γίνει χρήση καταλόγων που έχουν δημιουργηθεί κατά την διάρκεια περασμένων ετών και λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα σε ετήσιο, και όχι μόνο, επίπεδο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια σχέση η οποία θα αναγάγει το αναγραφόμενο στους καταλόγους κόστος σε σημερινά δεδομένα.

Για τον λόγο αυτό υπολογίζονται οι λεγόμενοι δείκτες δαπανών (cost index) σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, σε σχέση με μια συγκεκριμένη αρχική τιμή (κατά την αρχική χρονική στιγμή ή στιγμή δημιουργίας των δεικτών). Για τον υπολογισμό της τιμής σε σημερινά δεδομένα θα πολλαπλασιαστεί το αρχικό κόστος με το πηλίκο της τιμής του δείκτη στο παρόν προς την τιμή του δείκτη στην αρχική τιμή.

Συγκεκριμένα:

$$present\ cost = original\ cost \left( \frac{index\ value\ at\ present}{index\ value\ at\ time\ original\ cost\ was\ obtained} \right)^{20}$$

Πρέπει βέβαια να καταστεί σαφές πως κανένας δείκτης δαπανών όσο ενημερωμένος και αν είναι δεν είναι σε θέση να προβλέψει ακριβώς τις πιθανές

οικονομικές, τεχνολογικές ή ακόμα και πολιτικές αλλαγές που δύναται να συμβούν με άμεσο αντίκτυπο στο κόστος εξοπλισμού.

## 6.2. Υπολογισμός κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης αυτού

Στην ανάλυση κόστους που έχει πραγματοποιηθεί, οι αρχικές τιμές υπολογίστηκαν με βάση τις προσεγγίσεις των Max S.Peters, Klaus D. Timmerhaus και Ronald E. West, οι οποίες και δίνονται στο βιβλίο τους με τίτλο “Plant Design and Economics for Chemical Engineers”<sup>20</sup>, σε μορφή διαγραμμάτων τα οποία και παρατίθενται. Συγκεκριμένα για τον ακριβή υπολογισμό των τιμών χρησιμοποιήθηκε ο Υπολογιστής Κόστους ο οποίος δίνεται στην ιστοσελίδα που συμπληρώνει το βιβλίο: <http://www.mhhe.com/peters-timmerhaus/><sup>25</sup> και είναι με βάση τις τιμές του 2002, όπου η τιμή του Cost Index ήταν 390,4.

Κατά την διαδικασία συγκέντρωσης του κόστους του εξοπλισμού είναι δυνατόν να βρεθούν τιμές οι οποίες να αντιστοιχούν μεν στον απαραίτητο εξοπλισμό αλλά να αντιπροσωπεύουν μικρότερο μέγεθος ή χωρητικότητα. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει μαθηματική σχέση που μπορεί να δώσει με σχετικά μεγάλη ακρίβεια την σχέση της αρχικής με την ζητούμενη τιμή. Σημειώνεται ότι η ακρίβεια αυτή αγγίζει τα ανεκτά επίπεδα όταν η αύξηση μεγέθους δεν ξεπερνά τις δέκα φορές. Θεωρώντας  $a$  το ζητούμενο κόστος,  $b$  το γνωστό στον μηχανικό κόστος και  $X$  την επιθυμητή αύξηση τότε η σχέση που χρησιμοποιείται είναι:  $cost\ of\ equipment\ a = (cost\ of\ equipment\ b)X^k$ .<sup>20</sup> Ο συντελεστής  $k$  παίρνει διαφορετική τιμή ανάλογα τον εξοπλισμό που υπολογίζεται. Συνήθως ορίζεται  $k=0.6$ .

Τα βασικά τμήματα της εγκατάστασης είναι ο αγωγός μεταφοράς των καυσαερίων προς την μονάδα, ο μηχανολογικός εξοπλισμός που τον απαρτίζει – εναλλάκτης θερμότητας και ανεμιστήρας, οι αγωγοί που βρίσκονται εντός του θερμοκηπίου – αγωγοί βασικού μίγματος από και προς τις δεξαμενές, αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίων από τους αντιδραστήρες και αγωγοί αναρρόφησης αέρα προς τους αντιδραστήρες – ο μηχανολογικός εξοπλισμός εντός του θερμοκηπίου – αντλίες, ανεμιστήρες, κινητήρες, διαχωριστής-, το θερμοκήπιο αυτό κάθε αυτό καθώς και το κόστος γης.

Οι τιμές για το κόστος εγκατάστασης, υπολογίστηκαν ως ποσοστά του κόστους εξοπλισμού σύμφωνα με το παραπάνω βιβλίο. Οι συνήθειες τιμές αναφέρονται σε προηγούμενο χωρίο ενώ αναλυτικά και συγκεκριμένα, οι τιμές που επιλέχτηκαν σε κάθε περίπτωση εμφανίζονται σε κάθε επιμέρους τμήμα του εξοπλισμού.

Τα στοιχεία τα οποία θεωρήθηκαν σταθερά κατά τους υπολογισμούς δίνονται σε μορφή πίνακα παρακάτω (πίνακας 23). Η τιμή των Cost Index χρησιμοποιήθηκε για την αναγωγή των τιμών σε σημερινά επίπεδα.

Συγκεκριμένα οι τιμές που υπολογίστηκαν από τον Υπολογιστή Κόστους πολλαπλασιάστηκαν στην συνέχεια με το κλάσμα  $\frac{Cost\ Index\ 2009}{Cost\ Index\ 2002} = \frac{508,9}{390,4}$ .

Πιν.23, Σταθερές παράμετροι Υπολογισμού κόστους.

| <b>Παράμετρος</b>   | <b>Τιμή Παραμέτρου</b> |
|---|------------------------|
| Cost Index 2002   | 390,4                  |
| Cost Index 2009   | 508,9                  |
| Ισοτιμία (€/€)  | 0,676                  |
| Καταλαμβανόμενη έκταση διαλύματος (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | 11,5                   |

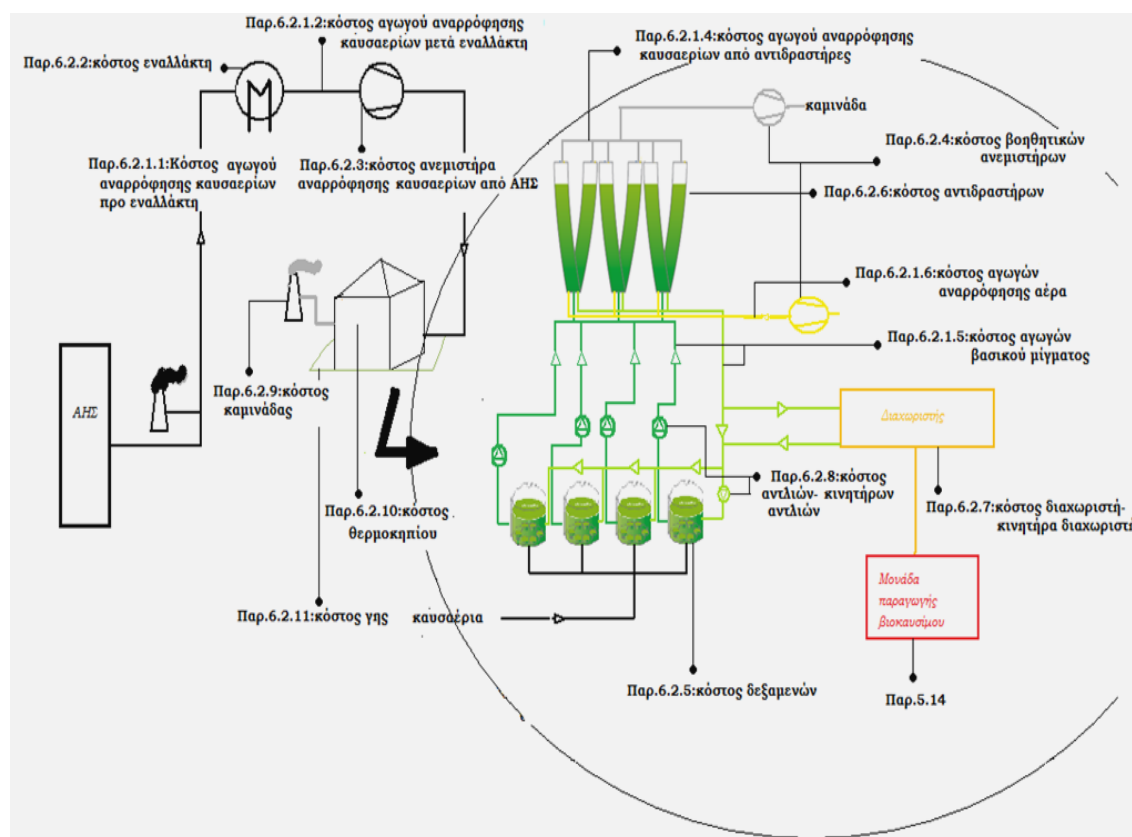
Στην συνέχεια παρατίθεται αναλυτικά το κόστος κάθε ενός τμήματος της εγκατάστασης. Σε κάθε ξεχωριστό τμήμα παρατίθεται ένας πίνακας ο οποίος παραθέτει τα απαραίτητα για τον υπολογισμό του κόστους στοιχεία, το κόστος σε \$ για το 2002, το αντίστοιχο κόστος σε € για το 2009, το κόστος της εγκατάστασης (€ 2009) καθώς και το άθροισμα αυτών. Οι παραπάνω πληροφορίες δίνονται για κάθε διαφορετική περίπτωση ποσοστού δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα. Η γενική μορφή των πινάκων δίνεται στον πίνακα 24.

Πιν.24, Μορφή πίνακα Κόστους επιμέρους τμημάτων Εγκατάστασης.

| <b>Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%)</b> | <b>Παράμετρος Κόστους 1</b> | <b>Παράμετρος Κόστους 2</b> | <b>Κόστος (\$ 2002)</b> | <b>Κόστος (€ 2009)</b> | <b>Ποσοστό εγκατάστασης</b> | <b>Κόστος Εγκατάστασης (€ 2009)</b> | <b>Συνολικό Κόστος (€ 2009)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| <b>0,005</b>                     |                             |                             |                         |                        |                             |                                     |                                 |
| <b>2,48</b>                      |                             |                             |                         |                        |                             |                                     |                                 |
| <b>4,97</b>                      |                             |                             |                         |                        |                             |                                     |                                 |
| <b>16,66</b>                     |                             |                             |                         |                        |                             |                                     |                                 |
| <b>33,33</b>                     |                             |                             |                         |                        |                             |                                     |                                 |

Συγκεκριμένα το κόστος του εξοπλισμού καθώς και οι παράγραφοι υπολογισμού των επιμέρους στοιχείων του, εμφανίζονται στο παρακάτω σχήμα. Τα

διαγράμματα που παρατίθενται πάρθηκαν από το βιβλίο των Peters – Tmmierhaus<sup>20</sup>.



Σχ.7, Σχηματική απεικόνιση μελετώμενης εγκατάστασης και του κόστους της με αναφορές στις παραγράφους του κειμένου.

## 6.2.1. Αγωγοί

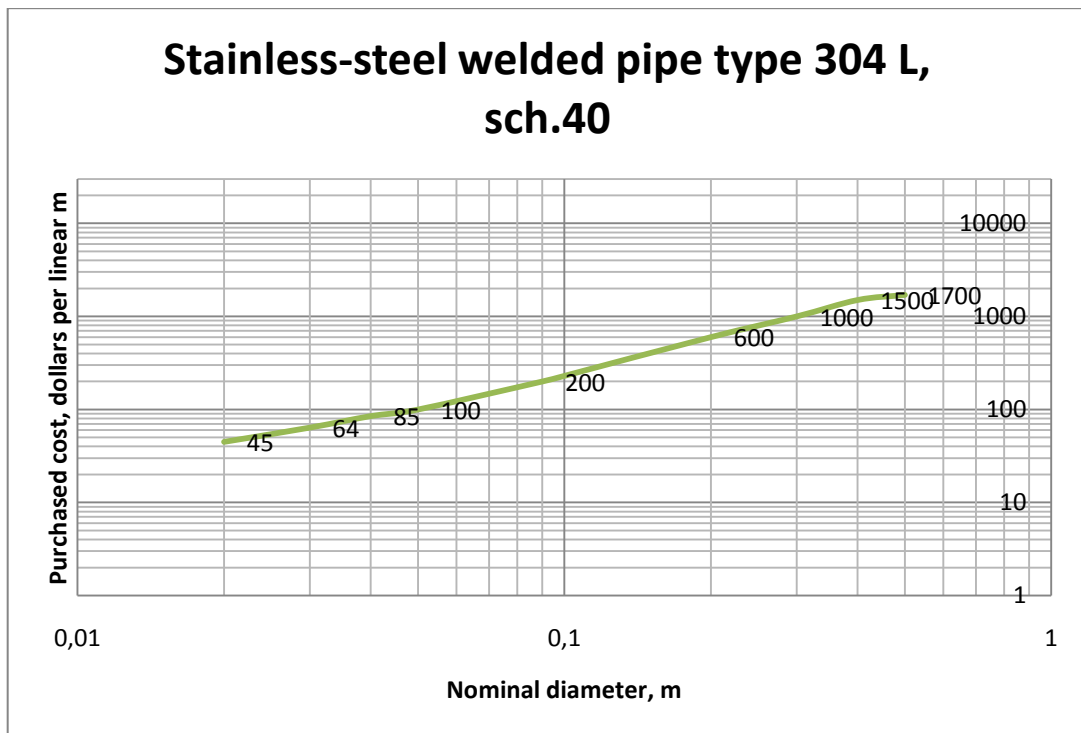
### 6.2.1.1. Αγωγός αναρρόφησης καυσαερίων προ εναλλάκτη θερμότητας

Ο αγωγός αυτός θα μεταφέρει υγρό καυσαέριο σε θερμοκρασία 180 °C. Είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα και η διάμετρος του, η οποία θα καθορίσει και το κόστος του, εξαρτάται από την παροχή του καυσαερίου και την κατάσταση της ροής αυτού. Η παροχή θα καθοριστεί συναρτήσει του μεγέθους της εγκατάστασης και συνεπώς της δεσμευτικής του ικανότητας. Στην συγκεκριμένη μελέτη οι εναλλακτικές είναι πέντε (5).

Σημειώνεται ότι θα θεωρηθεί πως ο εναλλάκτης θερμότητας θα τοποθετηθεί σε απόσταση 500 μέτρων από τον ΑΗΣ, ανεξαρτήτως της υπόλοιπης διαδρομής του. Στο συγκεκριμένο σημείο υπολογισμού και λόγω της μικρής διανυσομένης απόστασης η ροή θα θεωρηθεί και για τις δύο περιπτώσεις τυρβώδης.



Το διάγραμμα κόστους που δίνει την τιμή της σωλήνωσης ανά μέτρο συναρτήσει της διαμέτρου της, δίνεται παρακάτω (διάγραμμα 1). Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 31%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τελικά διαμορφώνεται ο πίνακας 25.



Διαγρ.1, Κόστος αγωγού από ανοξείδωτο χάλυβα<sup>20</sup>.

Πιν.25, Κόστος αγωγού κατάθλιψης προ εναλλάκτη.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Μήκος αγωγού κατάθλιψης καυσαερίου προ εναλλάκτη (m) | D (m) | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|--|-------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 500  | 0,067 | 6892,8                  | 6073,9          | 0,3                  | 1882,8                         | 7956,8                     |
| 2,48                      | 500  | 1,094 | 36907,8                 | 32522,7         | 0,3                  | 10082,0                        | 42604,8                    |
| 4,97                      | 500  | 1,494 | 44503,7                 | 39216,2         | 0,3                  | 12157,0                        | 51373,2                    |
| 16,66                     | 500  | 2,574 | 61672,0                 | 54344,7         | 0,3                  | 16846,8                        | 71191,5                    |
| 33,33                     | 500  | 3,516 | 74364,4                 | 65529,1         | 0,3                  | 20314,0                        | 85843,2                    |

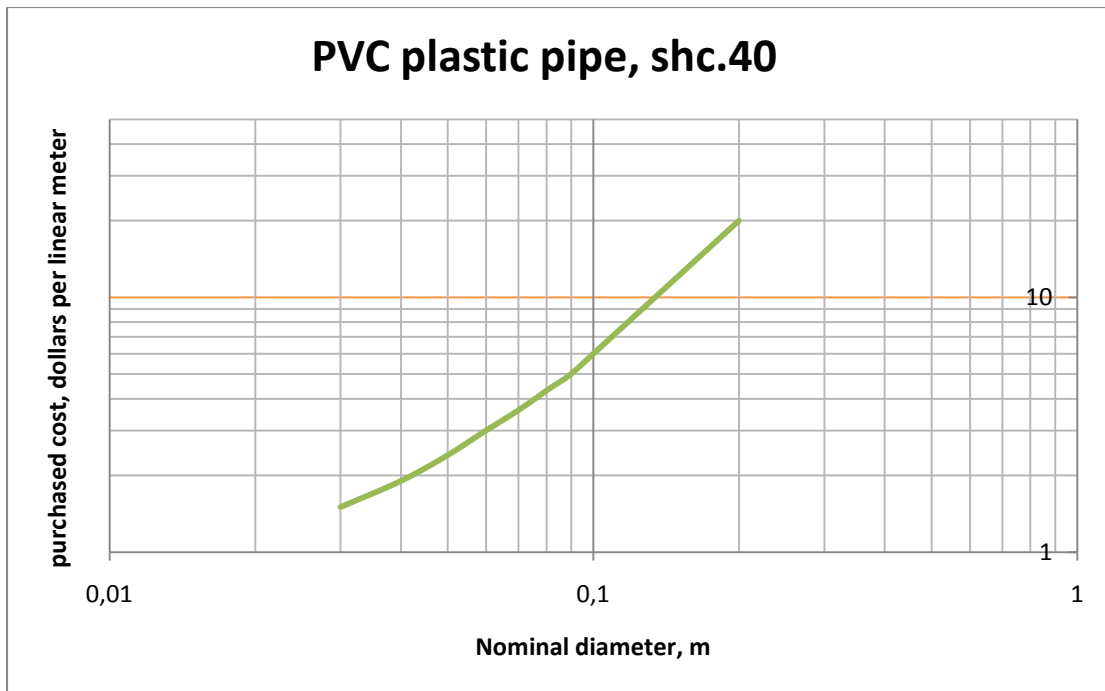
#### 6.2.1.2. Αγωγός αναρρόφησης μετά εναλλάκτη θερμότητας

Ο αγωγός αυτός θα μεταφέρει ξηρό καυσαέριο σε θερμοκρασία 40 °C. Είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο και η διάμετρος του, η οποία θα καθορίσει και το κόστος του, εξαρτάται από την παροχή του καυσαερίου και την κατάσταση της ροής αυτού. Η παροχή θα καθορισθεί, όπως και πριν από το μέγεθος της εγκατάστασης και συνεπώς της δεσμευτικής του ικανότητας. Στην συγκεκριμένη μελέτη οι εναλλακτικές είναι πέντε (5).

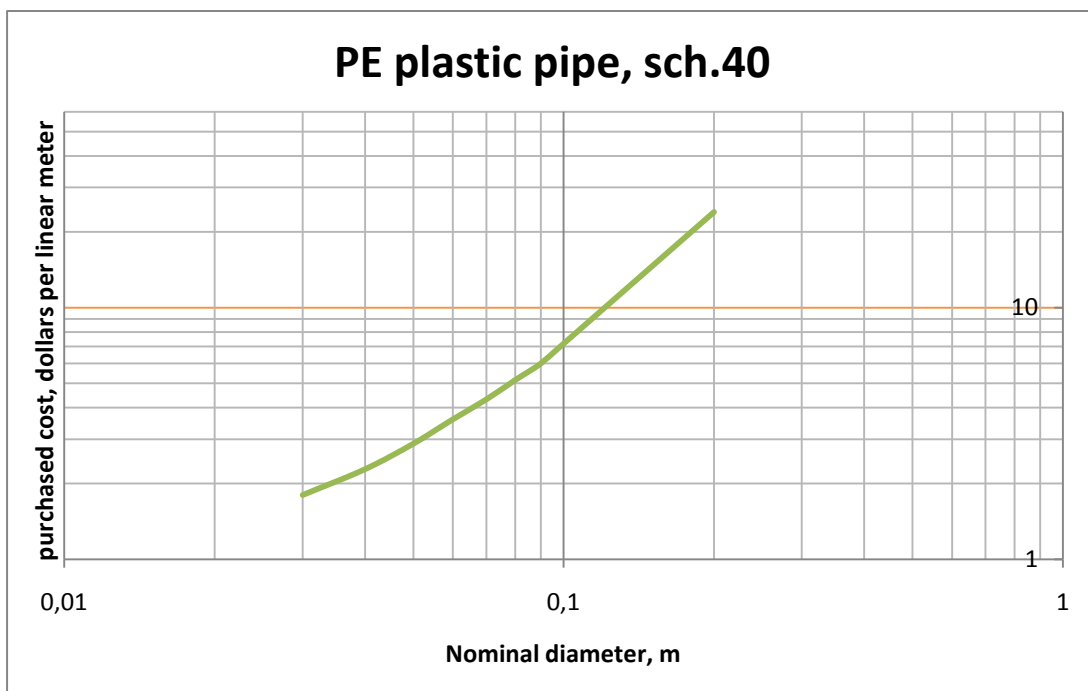
Όσον αφορά το μήκος του αγωγού, αυτός θα υπολογιστεί αφαιρώντας την απόσταση του μεταλλικού αγωγού προ εναλλάκτη από την όλη απόσταση. Η ροή και στις δύο περιπτώσεις θα θεωρηθεί στρωτή, λόγω του μήκους του αγωγού.

Για τον υπολογισμό της τιμής των αγωγών PE θα χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα κόστους αγωγών PVC – αυτό δίνεται παρακάτω (διάγραμμα 2)- προσαυξημένο κατά 20%, όσο είναι δηλαδή η αύξηση του κόστους των αγωγών PE σε σχέση με αυτών από PVC. Το τελικό διάγραμμα κόστους, συναρτήσει της διαμέτρου του αγωγού δίνεται παρακάτω (διάγραμμα 3).

Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 31%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τελικά διαμορφώνεται ο πίνακας 26.



Διαγρ.2, Κόστος αγωγού από PVC<sup>20</sup>.



Διαγρ.3, Κόστος αγωγού από PE.

Πιν.26, Κόστος αγωγού αναρρόφησης καυσαερίων μετά εναλλάκτη.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Μήκος αγωγού κατάθλιψης καυσαερίου μετά εναλλάκτη (m) | D (m) | Κόστος (\$) (Παν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|---|-------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 3500  | 0,028 | 991,2                   | 873,4           | 0,31                 | 270                            | 1144                       |
| 2,48                      | 3500  | 0,265 | 991,2                   | 2570,6          | 0,31                 | 796                            | 3367                       |
| 4,97                      | 3500  | 0,340 | 991,2                   | 873,4           | 0,31                 | 270                            | 1144                       |
| 16,66                     | 3500  | 0,526 | 991,2                   | 2570,6          | 0,31                 | 796                            | 3367                       |
| 33,33                     | 3500  | 0,675 | 991,2                   | 873,4           | 0,31                 | 270                            | 1144                       |

### 6.2.1.3. Τελικό τμήμα αγωγού αναρρόφησης καυσαερίων

Στο σημείο εισαγωγής των καυσαερίων στην μονάδα των μικροαλγών ο αγωγός μεταφοράς του θα διασπάται σε μικρότερους αγωγούς οι οποίοι με την σειρά τους θα εκκύνουν τα καυσαέρια στις δεξαμενές διαλύματος. Συνεπώς ο αριθμός των αγωγών θα είναι ίσος με τον αριθμό των δεξαμενών σε κάθε περίπτωση. Η παροχή κάθε αγωγού θα ισούται με την διαίρεση της αρχικής παροχής με τον αριθμό τους ενώ το μήκος τους θα οριστεί αυθαίρετα 30 μέτρα.

Το υλικό τους, όπως και του προηγούμενου τμήματος αγωγού θα είναι το πολυαιθυλένιο. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 31%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Το διάγραμμα κόστους είναι ίδιο με την προηγούμενη περίπτωση.

Πιν.27, Κόστος τελικού τμήματος αγωγού αναρρόφησης καυσαερίων.

| Ποσοστό<br>δέσμευσης CO2<br>(%) | D (m) | Κόστος μονάδας<br>(\$ (Ιαν. 2002) | Αριθμός αγωγών | Κόστος (\$) (Ιαν.<br>2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό<br>Εγκατάστασης | Κόστος<br>εγκατάστασης (€)<br>(2009) | Συνολικό Κόστος<br>(€) (2009) |
|---------------------------------|-------|-----------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 0,005                           | 0,038 | 9,6                               | 2              | 19,2                       | 16,9            | 0,31                    | 5,2                                  | 22,2                          |
| 2,48                            | 0,038 | 9,6                               | 1025           | 9840,0                     | 8670            | 0,31                    | 2687                                 | 11358                         |
| 4,97                            | 0,038 | 9,6                               | 2050           | 19680,0                    | 17341           | 0,31                    | 5375                                 | 22717                         |
| 16,66                           | 0,038 | 9,6                               | 6865           | 65904,0                    | 58073           | 0,31                    | 18002                                | 76076                         |
| 33,33                           | 0,038 | 9,6                               | 13729          | 131798,4                   | 116139          | 0,31                    | 36003                                | 152142                        |

#### 6.2.1.4. Αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίου από τους αντιδραστήρες

Οι αγωγοί αναρρόφησης καυσαερίου από τους αντιδραστήρες είναι επίσης κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο. Το κόστος τους εξαρτάται από την διάμετρο, η οποία εξαρτάται από την παροχή, και το μήκος τους.

Θα θεωρηθεί πως υπάρχει ένας αγωγός κατά μήκος μιας σειράς αντιδραστήρων, συνεπώς ο αριθμός τους εξαρτάται από τις σειρές που δημιουργούν οι αντιδραστήρες. Ο αριθμός των σειρών επιλέχτηκε τυχαία. Η παροχή που περνάει από κάθε αγωγό θα είναι ίση με την συνολική παροχή διαιρεμένη με τον αριθμό των αγωγών, ως συνολική παροχή για λόγους απλότητας θα θεωρηθεί η ίδια με αυτήν της κατάθλιψης.

Το μήκος του αγωγού υπολογίστηκε χονδρικά θεωρώντας πως κάθε αντιδραστήρας καταλαμβάνει ένα μέτρο μήκους περίπου. Γίνεται κατανοητό πως ο αριθμός αυτός δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα αλλά είναι ανοιγμένος σε ολόκληρη την επιφάνεια της εγκατάστασης. Έτσι, σε κάθε διαφορετικό σενάριο ο αριθμός των αντιδραστήρων χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των σειρών. Ο αριθμός αυτός επιλέχτηκε τυχαία, τείνοντας στην διατήρηση ενός τετραγωνικού σχήματος για την εγκατάσταση. Τελικά ο αριθμός των σειρών, υπολογίστηκε όπως φαίνεται στον πίνακα 28, για κάθε σενάριο ξεχωριστά.

Πιν.28, Υπολογισμός μήκους σειράς αντιδραστήρων.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | Έκταση (m <sup>2</sup> ) | Αριθμός PBR | αριθμός Σειρών | Αριθμός στηλών | Μήκος σειράς |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------|----------------|----------------|--------------|
| 0,005                                 | 1000                     | 588         | 10             | 59             | 100          |
| 2,48                                  | 500000                   | 289855      | 500            | 580            | 985          |
| 4,97                                  | 1000000                  | 579710      | 700            | 828            | 1408         |
| 16,66                                 | 3348000                  | 1940869     | 1400           | 1386           | 2357         |
| 33,33                                 | 6695957                  | 3881714     | 2000           | 1941           | 3300         |

Τελικά, το μήκος του αγωγού θα θεωρηθεί ίσο με το μήκος της σειράς, ενώ ο αριθμός των αγωγών θα είναι ίσος με τον αριθμό των σειρών, αφού η αντιστοιχία είναι ένας προς μια. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 31%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή πίνακα (πίνακας 29).

Πιν.29, Κόστος αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων από βιοαντιδραστήρες.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | D (m) | μήκος αγωγού (m) | Κόστος μονάδας (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός αγωγών | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------------------|-------|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                                 | 0,019 | 100              | 31                              | 10             | 312,0                   | 275             | 0,31                 | 85,2                           | 360                        |
| 2,48                                  | 0,052 | 985              | 302                             | 500            | 151200,0                | 133235          | 0,31                 | 41303                          | 174539                     |
| 4,97                                  | 0,062 | 1408             | 432                             | 700            | 302400,0                | 266471          | 0,31                 | 82606                          | 349078                     |
| 16,66                                 | 0,078 | 2357             | 724                             | 1400           | 1013040,0               | 892680          | 0,31                 | 276730                         | 1169411                    |
| 33,33                                 | 0,090 | 3300             | 1013                            | 2000           | 2025600,0               | 1784937         | 0,31                 | 553330                         | 2338268                    |

#### 6.2.1.5. Αγωγοί αναρρόφησης βασικού μίγματος

Οι αγωγοί αναρρόφησης του βασικού μίγματος είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο επίσης. Θα θεωρηθεί πως σε κάθε σειρά αντιδραστήρων αντιστοιχούν δύο αγωγοί αναρρόφησης βασικού μίγματος. Ο ένας βρίσκεται στην κορυφή των αντιδραστήρων και ο δεύτερος στην βάση τους. Συνεπώς ο

αριθμός των αγωγών θα υπολογιστεί στο διπλάσιο των σειρών των αντιδραστήρων σε κάθε περίπτωση. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 31%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 30.

Πιν.30, Κόστος αγωγών αναρρόφησης βασικού μίγματος.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | D (m) | μήκος αγωγού (m) | Κόστος μονάδας (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός αγωγών | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------------------|-------|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                                 | 0,028 | 100              | 31,2                            | 20             | 624                     | 549             | 0,31                 | 170                            | 720                        |
| 2,48                                  | 0,079 | 985              | 302,4                           | 1000           | 302400                  | 266471          | 0,31                 | 82606                          | 349078                     |
| 4,97                                  | 0,092 | 1408             | 432,0                           | 1400           | 604800                  | 532943          | 0,31                 | 165212                         | 698155                     |
| 16,66                                 | 0,116 | 2357             | 723,6                           | 2800           | 2026080                 | 1785360         | 0,31                 | 553461                         | 2338822                    |
| 33,33                                 | 0,135 | 3300             | 1012,8                          | 4000           | 4051200                 | 3569875         | 0,31                 | 1106661                        | 4676536                    |

#### 6.2.1.6. Αγωγοί αναρρόφησης αέρα

Οι αγωγοί αναρρόφησης αέρα είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο και παρουσιάζουν αντίστοιχα χαρακτηριστικά με αυτά των αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων από τους αντιδραστήρες. Το μήκος των αγωγών θα θεωρηθεί ίσο με το μήκος της σειράς αντιδραστήρων, ενώ ο αριθμός τους θα είναι ίσος με τον αριθμό των σειρών, με δεδομένο ότι ένας αγωγός θα μεταφέρει τον αέρα σε μια σειρά από αντιδραστήρες. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 31%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Το κόστος στους δίνεται σε μορφή πίνακα (πίνακας 31).

Πιν.31, Κόστος αγωγών αναρρόφησης αέρα.

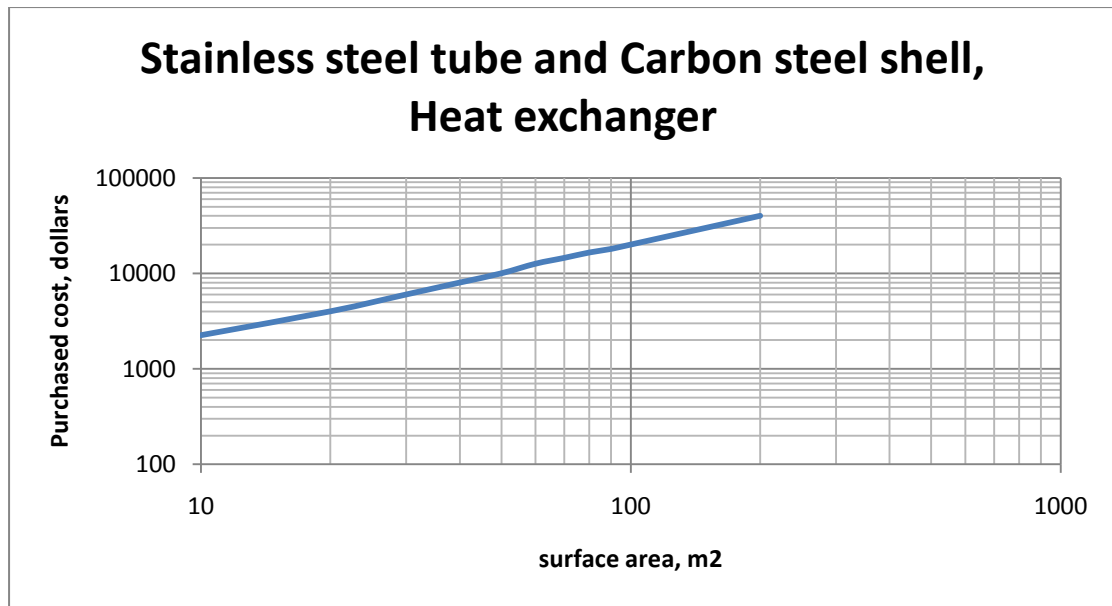
| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | D (m) | Μήκος αγωγού (m) | Κόστος μονάδας (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός αγωγών | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|-------|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 0,014 | 100              | 31,2                            | 10             | 312                     | 275             | 0,31                 | 85                             | 360,2                      |
| 2,48                      | 0,039 | 985              | 302,4                           | 500            | 151200                  | 133235          | 0,31                 | 41303                          | 174539                     |
| 4,97                      | 0,045 | 1408             | 432,0                           | 700            | 302400                  | 266471          | 0,31                 | 82606                          | 349078                     |
| 16,66                     | 0,057 | 2357             | 723,6                           | 1400           | 1013040                 | 892680          | 0,31                 | 276730                         | 1169411                    |
| 33,33                     | 0,066 | 3300             | 1012,8                          | 2000           | 2025600                 | 1784937         | 0,31                 | 553330                         | 2338268                    |

### 6.2.2. Εναλλάκτης θερμότητας

Το κόστος του εναλλάκτη θερμότητας εξαρτάται από την επιφάνεια συναλλαγής των δύο εμπλεκόμενων ρευστών. Η τιμή της επιφάνειας αυτής έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο χωρίο και είναι ανάλογη του μεγέθους της εγκατάστασης.

Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 30%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 32. Το κόστος για κάθε ένα από τα διαφορετικά σενάρια έκτασης δίνεται στον πίνακα 33. Ο λόγος διαφοροποίησης τους είναι η χρήση περισσότερων του ενός εναλλακτών όσο το μέγεθος της εγκατάστασης αυξάνεται. Ο ακριβής αριθμός αυτών ανά εγκατάσταση έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (πίνακας 13). Το διάγραμμα κόστους δίνεται παρακάτω.





Διαγρ.4, Κόστος εναλλάκτη από ανοξείδωτο χάλυβα<sup>20</sup>.

Πιν.32, Κόστος εναλλάκτη θερμότητας.

| Επιφάνεια<br>Συναλλαγής (m <sup>2</sup> ) | Κόστος (\$) (Ιαν.<br>2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό<br>Εγκατάστασης | Κόστος<br>εγκατάστασης (€)<br>(2009) | Συνολικό Κόστος<br>(€) (2009) |
|---|----------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1,5                                       | 424                        | 373,6           | 0,3                     | 112                                  | 485,                          |
| 748                                       | 66008,5                    | 58166,0         | 0,3                     | 17449                                | 75615                         |
| 1250                                      | 89826,6                    | 79154,2         | 0,3                     | 23746                                | 102900                        |
| 256                                       | 34689,9                    | 30568,3         | 0,3                     | 9170                                 | 39738                         |
| 46  | 9202                       | 8108,7          | 0,3                     | 2432                                 | 10541                         |
| 92  | 18175                      | 16015,6         | 0,3                     | 4804                                 | 20820                         |

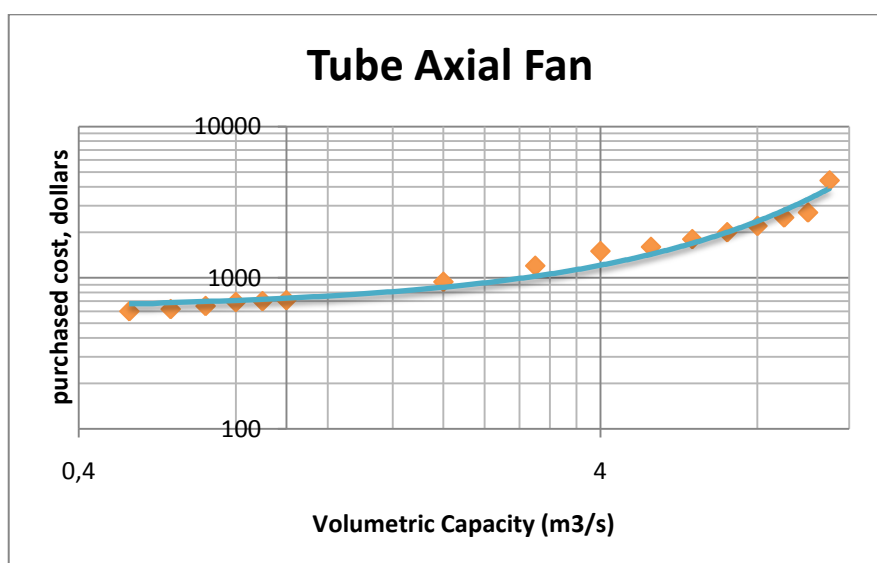
Πιν.33, Κόστος Εναλλακτών Θερμότητας συναρτήσει της έκτασης Εγκατάστασης.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Κόστος Εναλλακτών (€ 2009) | Κόστος Εγκατάστασης (€ 2009) | Συνολικό Κόστος (€ 2009) |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 0,005                     | 373                        | 112                          | 485                      |
| 2,48                      | 58166                      | 17449                        | 75615                    |
| 4,97                      | 109722                     | 32916                        | 142639                   |
| 16,66                     | 324725                     | 97417                        | 422143                   |
| 33,33                     | 649249                     | 194774                       | 844024                   |

### 6.2.3. Ανεμιστήρας αναρρόφησης καυσαερίων από ΑΗΣ

Το κόστος του ανεμιστήρα δίνεται σε συνάρτηση της παροχής που διέρχεται από αυτόν. Η παροχή, με την σειρά της, εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης. Θεωρείται ότι ο ανεμιστήρας αναρροφά ξηρά καυσαέρια 40 °C, τυρβώδους ροής.

Το κόστος του ανεμιστήρα δίνεται συναρτήσει της ογκομετρικής της ικανότητας, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5, στο κόστος συμπεριλαμβάνεται η τιμή του απαραίτητου ηλεκτροκινητήρα.



Διαγρ.5, Κόστος αξονικού ανεμιστήρα<sup>20</sup>.

Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 25%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 34.

Πιν.34, Κόστος ανεμιστήρα αναρρόφησης καυσαερίων από ΑΗΣ.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Παροχή καυσαερίου (m <sup>3</sup> /s) | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 0,02374                               | 506                     | 445             | 0,25                 | 111                            | 557                        |
| 2,48                      | 11,8728                               | 2766                    | 2437            | 0,25                 | 609                            | 3046                       |
| 4,97                      | 23,7452                               | 5013                    | 4417            | 0,25                 | 1104                           | 5521                       |
| 16,66                     | 79,5003                               | 25662                   | 22613           | 0,25                 | 5653                           | 28266                      |
| 33,33                     | 158,999                               | 151922                  | 133872          | 0,25                 | 33468                          | 167340                     |

#### 6.2.4. Βοηθητικοί ανεμιστήρες

Στην εγκατάσταση θα χρησιμοποιηθούν δύο βοηθητικοί ανεμιστήρες όμοιοι με αυτόν που προηγουμένως παρουσιάστηκε. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 25%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Το κόστος τους είναι ίδιο με αυτό του προηγούμενου και οι πίνακες δίνονται παρακάτω αποκλειστικά για λόγους πληρότητας. Το διάγραμμα κόστους είναι ίδιο με αυτό της περίπτωσης του ανεμιστήρα αναρρόφησης καυσαερίων από τον ΑΗΣ (διάγραμμα 5).

Πιν.35, Κόστος ανεμιστήρα αναρρόφησης καυσαερίων από αντιδραστήρες.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Παροχή καυσαερίου (m <sup>3</sup> /s) | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 0,023                                 | 506                     | 445             | 0,25                 | 111                            | 557                        |
| 2,48                      | 11,872                                | 2766                    | 2437            | 0,25                 | 609                            | 3.046                      |
| 4,97                      | 23,745                                | 5013                    | 4417            | 0,25                 | 1104                           | 5.521                      |
| 16,66                     | 79,500                                | 25662                   | 22613           | 0,25                 | 5653                           | 28.266                     |
| 33,33                     | 158,999                               | 151922                  | 133872          | 0,25                 | 33468                          | 167.340                    |

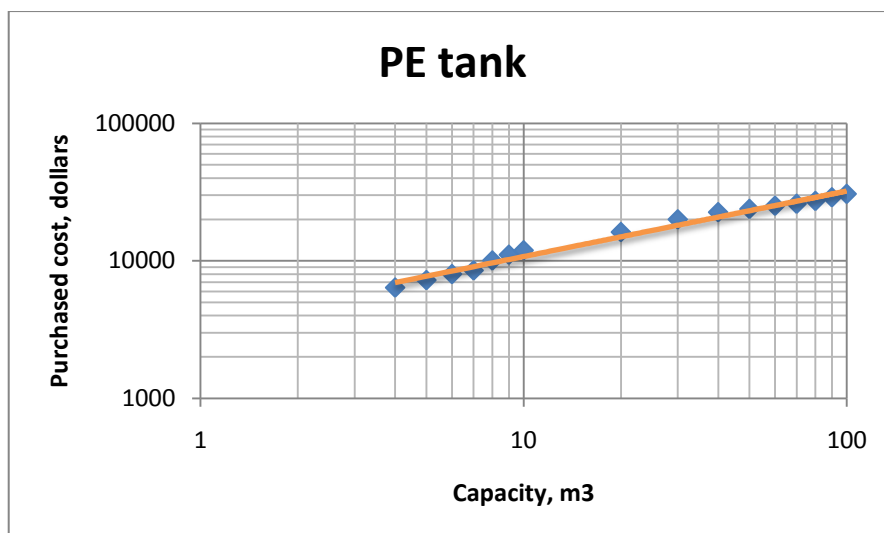
Πιν.36, Κόστος ανεμιστήρα αναρρόφησης αέρα.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Παροχή αέρα (m <sup>3</sup> /s) | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 0,011                           | 506                     | 445,            | 0,25                 | 111                            | 557                        |
| 2,48                      | 5,936                           | 1561                    | 1375            | 0,25                 | 343                            | 1719                       |
| 4,97                      | 11,872                          | 2766                    | 2437            | 0,25                 | 609                            | 3046                       |
| 16,66                     | 39,750                          | 8420                    | 7419            | 0,25                 | 1854                           | 9274                       |
| 33,33                     | 79,499                          | 25662                   | 22613           | 0,25                 | 5653                           | 28266                      |

#### 6.2.5. Δεξαμενές

Το κόστος των δεξαμενών εξαρτάται από την χωρητικότητά τους. Αυτή στην συγκεκριμένη μελέτη, παραμένει σταθερή ανεξάρτητα του πιθανού σεναρίου. Αυτό που αλλάζει σε κάθε περίπτωση είναι ο αριθμός απαιτούμενων δεξαμενών, συνεπώς και το κόστος σε κάθε διαφορετικό σενάριο. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 30%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 37.

Η συνάρτηση που περιγράφει το κόστος της δεξαμενής συναρτήσεως της χωρητικότητας υπολογίστηκε σε συνδυασμό με το κόστος των διασκορπιστήρων της βάσης της, όπως αναφέρεται και παρακάτω, σε αντίστοιχο χωρίο. Το διάγραμμα κόστους υπολογίστηκε ως το 85% του αντίστοιχου κόστους μιας δεξαμενής από χάλυβα. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω (διάγραμμα 6).



Διαγρ.6, Κόστος δεξαμενής από PE<sup>20</sup>.

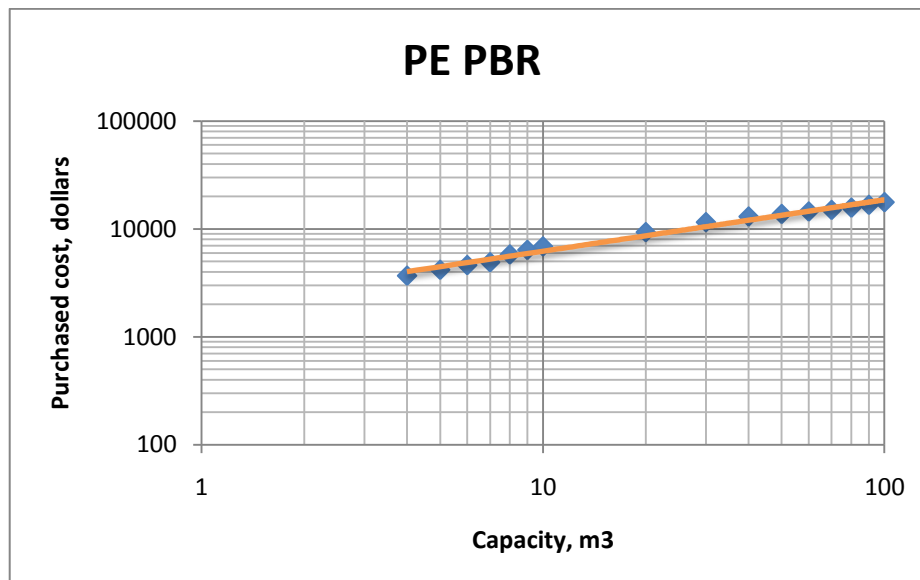
Πιν.37, Κόστος Δεξαμενών.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Χωρητικότητα (m3) | Κόστος μονάδας (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός δεξαμενών | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>0,005</b>              | 42,42             | 19042                           | 2                 | 38084                   | 33559           | 0,3                  | 10067                          | 43.627                     |
| <b>2,48</b>               | 42,42             | 19042                           | 1025              | 19518050                | 17199101        | 0,3                  | 5159730                        | 22.358.832                 |
| <b>4,97</b>               | 42,42             | 19042                           | 2050              | 39036100                | 34398203        | 0,3                  | 10319461                       | 44.717.664                 |
| <b>16,66</b>              | 42,42             | 19042                           | 6865              | 130723330               | 115192032       | 0,3                  | 34557610                       | 149.749.641                |
| <b>33,33</b>              | 42,42             | 19042                           | 13729             | 261427618               | 230367285       | 0,3                  | 69110185                       | 299.477.470                |

### 6.2.6. Αντιδραστήρες

Το κόστος των αντιδραστήρων είναι αρκετά δύσκολο να υπολογιστεί, με δεδομένο ότι δεν υπάρχει ακόμα κάποια ανεπτυγμένη θεωρία σχετικά με παρόμοιου τύπου υλικά και σχήματα. Για τον προσδιορισμό του όμως θα χρησιμοποιηθεί ως βάση το διάγραμμα κόστους δεξαμενών από κάλυβα πάχους έξι χιλιοστών, το οποίο και είναι ευαίσθητο στην αλλαγή πάχους τοιχώματος. Η πρώτη αλλαγή που θα γίνει θα είναι η μείωσή του κατά 85% έτσι ώστε να αναπαριστά τιμές υλικού PE και όχι κάλυβα. Στην συνέχεια η τιμή θα διαμορφωθεί πολλαπλασιάζοντας τις προηγούμενες τιμές με έναν

συντελεστή πάχους. Ο συντελεστής αυτός είναι το ποσοστό μείωσης του πάχους, υψωμένο στην 0,6. Το τελικό αποτέλεσμα θα διαμορφωθεί αυξάνοντας κατά 160% την προηγούμενη τιμή λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή ακριβή παραγωγή καθώς και την πολύπλοκη εγκατάσταση. Το τελικό αποτέλεσμα δίνεται στο Διάγραμμα 7.



Διαγρ.7, Κόστος βιοαντιδραστήρα από PE.

Στα αντίστοιχα διαγράμματα όμως η χωρητικότητα των δεξαμενών δεν είναι μικρότερη από 3,9 κυβικά μέτρα, όπως ζητείται στην μελετώμενη περίπτωση. Συνεπώς για τον τελικό υπολογισμό είναι και πάλι απαραίτητη η χρήση ενός συντελεστή ο οποίος θα αντιστοιχεί στο πηλίκο της πραγματικής προς την υπάρχουσα σε κόστος χωρητικότητα, υψωμένο στην 0,6.

Συγκεντρωμένα η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι: *κόστος υπάρχοντος* = *(γωνστό κόστος)*  $\times \frac{0,002^{0,6}}{0,0065} \times \frac{0,15^{0,6}}{3,9} \times 1,6$ .

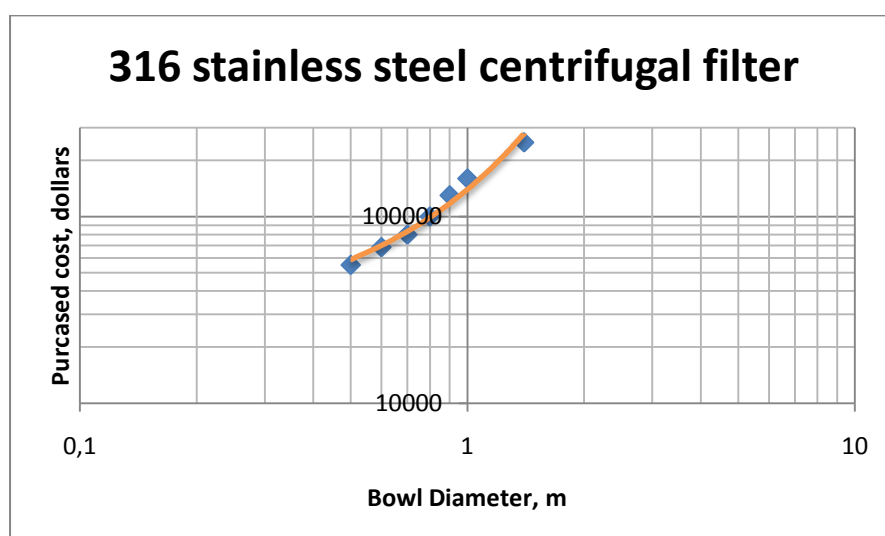
Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 38.

Πιν.38, Κόστος αντιδραστήρων.

| Ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> (%) | Χωρητικότητα (m <sup>3</sup> ) | Κόστος μονάδας (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός PBR | Συνολικό Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Έκταση εγκατάστασης (m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| <b>0,005</b>                          | 0,15                           | 522,8                           | 588,00      | 307406,4                         | 270883          | 1000                                  |
| <b>2,48</b>                           | 0,15                           | 522,8                           | 289.855     | 151536194                        | 133532110       | 500000                                |
| <b>4,97</b>                           | 0,15                           | 522,8                           | 579.710     | 303072388                        | 267064221       | 1000000                               |
| <b>16,66</b>                          | 0,15                           | 522,8                           | 1.940.869   | 1014686313                       | 894130974       | 3348000                               |
| <b>33,33</b>                          | 0,15                           | 522,8                           | 3.881.714   | 2029360079                       | 1788250893      | 6695957                               |

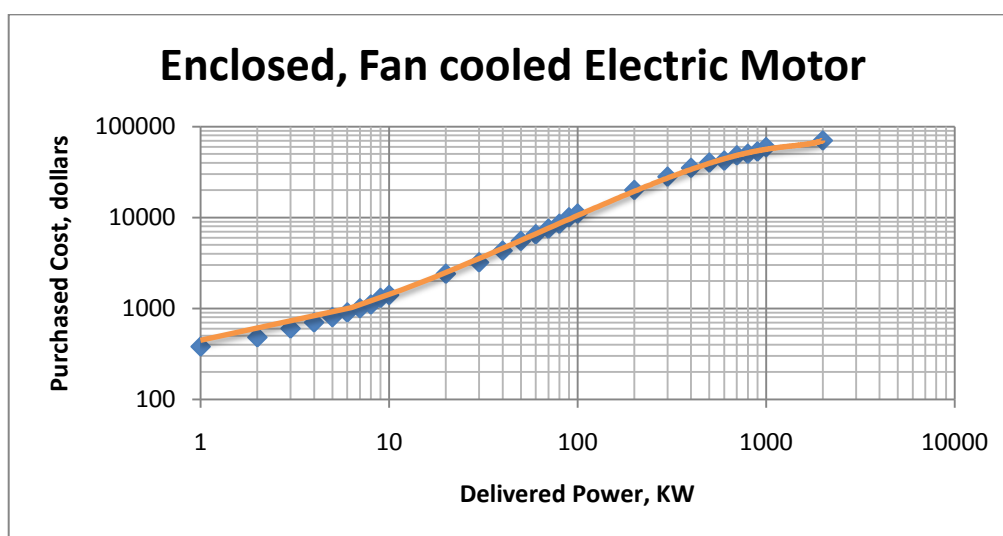
### 6.2.7. Διαχωριστής-Κινητήρας διαχωριστή

Το κόστος του διαχωριστή υπολογίζεται συναρτήσει της διαμέτρου του «καλαθιού» του. Το κόστος του κινητήρα του διαχωριστή υπολογίζεται συναρτήσει της ισχύος του η οποία και έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το κόστος αυτού συναρτήσει της διαμέτρου «καλαθιού» δίνεται σε μορφή διαγράμματος παρακάτω (διάγραμμα 8). Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 65%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Τα αποτελέσματα δίνονται στους πίνακες 39 και 40.



Διαγρ.8, Κόστος φυγοκεντρικού διαχωριστή από ανοξείδωτο χάλυβα<sup>20</sup>.

Το κόστος του κινητήρα δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα 9.



Διαγρ.9, Κόστος κινητήρα<sup>20</sup>.

Πιν.39, Κόστος διαχωριστή.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Διάμετρος "καλαθιού" (m) | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός Διαχωριστών | Κόστος | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>0,005</b>              | 0,460                    | 57399                   | 1                   | 57399  | 50579           | 0,65                 | 32876                          | 83456                      |
| <b>2,48</b>               | 1,370                    | 150480                  | 1                   | 150480 | 132601          | 0,65                 | 86190                          | 218792                     |
| <b>4,97</b>               | 1,370                    | 150480                  | 1                   | 150480 | 132601          | 0,65                 | 86190                          | 218792                     |
| <b>16,66</b>              | 1,370                    | 150480                  | 3                   | 451440 | 397804          | 0,65                 | 258572                         | 656376                     |
| <b>33,33</b>              | 1,370                    | 150480                  | 6                   | 902880 | 795608          | 0,65                 | 517145                         | 1312753                    |

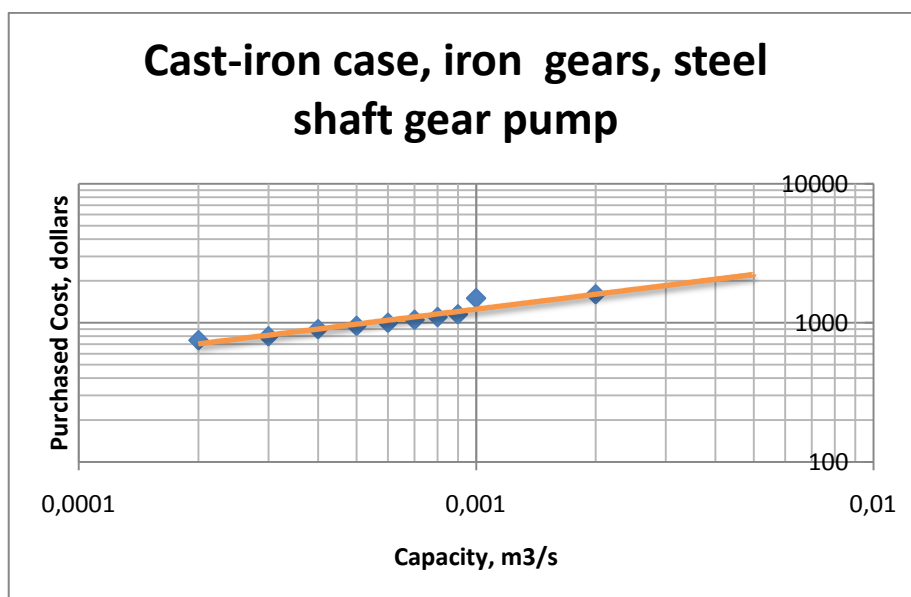


Πιν.40, Κόστος κινητήρα διαχωριστή.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Ισχύς (KW) | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός Κινητήρων | Συνολικό Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|------------|-------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------|
| <b>0,005</b>              | 11         | 1324                    | 1                 | 1324                             | 1166,6                     |
| <b>2,48</b>               | 111        | 11612                   | 1                 | 11612                            | 10232,3                    |
| <b>4,97</b>               | 111        | 11612                   | 1                 | 11612                            | 10232,3                    |
| <b>16,66</b>              | 111        | 11612                   | 3                 | 34836                            | 30697,1                    |
| <b>33,33</b>              | 111        | 11612                   | 6                 | 69672                            | 61394,2                    |

#### 6.2.8. Βοηθητικές αντλίες- Κινητήρες βοηθητικών αντλιών

Το κόστος των αντλιών υπολογίζεται συναρτήσει της παροχής τους η οποία και έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, όπως επίσης και η ισχύς των κινητήρων. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με το 35%<sup>20</sup> του συνολικού κόστους του αγωγού. Ο αριθμός των αντλιών, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κωρίο, είναι διπλάσιος από αυτόν των δεξαμεμών. Τα αποτελέσματα δίνονται στους παρακάτω πίνακες (πίνακας 41 και 42).



Διαγρ.10, Κόστος περισταλτικής αντλίας<sup>20</sup>.

Πιν.41, Κόστος αντλιών.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Παροχή (m <sup>3</sup> /s) | Κόστος μονάδας (\$) | αριθμός αντλιών | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 0,005                      | 1104                | 4               | 4416                    | 3891            | 0,35                 | 1361                           | 5253                       |
| 2,48                      | 0,004                      | 1104                | 2050            | 2263200                 | 1994308         | 0,35                 | 698007                         | 2692316                    |
| 4,97                      | 0,004                      | 1104                | 4100            | 4526400                 | 3988616         | 0,35                 | 1396015                        | 5384632                    |
| 16,66                     | 0,004                      | 1104                | 13730           | 15157920                | 13357000        | 0,35                 | 4674950                        | 18031950                   |
| 33,33                     | 0,004                      | 1104                | 27458           | 30313632                | 26712055        | 0,35                 | 9349219                        | 36061275                   |

Πιν.42, Κόστος κινητήρων αντλιών.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Ισχύς (KW) | Κόστος μονάδας (\$) (Ιαν. 2002) | Αριθμός κινητήρων αντλιών | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 |
|---------------------------|------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|
| 0,005                     | 1          | 280                             | 4                         | 1120                    | 987             |
| 2,48                      | 1          | 280                             | 2050                      | 574000                  | 505802          |
| 4,97                      | 1          | 280                             | 4100                      | 1148000                 | 1011605         |
| 16,66                     | 1          | 280                             | 13730                     | 3844400                 | 3387645         |
| 33,33                     | 1          | 280                             | 27458                     | 7688240                 | 6774796         |

### 6.2.9. Καμινάδα

Το κόστος της καμινάδας θα θεωρηθεί το αντίστοιχο κόστος ενός μονωμένου αγωγού από ανοξείδωτο χάλυβα. Το κόστος της εγκατάστασης θεωρείται ίσο με

το 50% του συνολικού κόστους του αγωγού. Ο λόγος που η εγκατάσταση της θεωρείται ακριβότερη από αυτήν ενός κοινού αγωγού είναι λόγω της μόνωσης που απαιτείται καθώς και της θέσης της. Τα συνολικά στοιχεία δίνονται στον πίνακα 43.

Πιν.43, Κόστος Καμινάδας.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | D (m) | Μήκος (m) | Κόστος μονάδας (\$) | Αριθμός καμινάδων | Κόστος (\$) (Ιαν. 2002) | Κόστος (€) 2009 | Ποσοστό Εγκατάστασης | Κόστος εγκατάστασης (€) (2009) | Συνολικό Κόστος (€) (2009) |
|---------------------------|-------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0,005                     | 0,166 | 10        | 206,4               | 1                 | 206                     | 182             | 0,5                  | 91                             | 272                        |
| 2,48                      | 0,757 | 10        | 206,4               | 17                | 3526                    | 3107            | 0,5                  | 1553                           | 4660                       |
| 4,97                      | 0,757 | 10        | 206,4               | 34                | 7052                    | 6214            | 0,5                  | 3107                           | 9321                       |
| 16,66                     | 0,757 | 10        | 206,4               | 114               | 23615                   | 20809           | 0,5                  | 10404                          | 31214                      |
| 33,33                     | 0,757 | 10        | 206,4               | 229               | 47227                   | 41616           | 0,5                  | 20808                          | 62424                      |

### 6.2.10. Θερμοκήπιο

Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο χωρίο για τον υπολογισμό της τιμής του θερμοκηπίου θεωρήθηκε μια σταθερή τιμή ίση με 209,65 \$/m<sup>2</sup>. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στην κατασκευή και εγκατάσταση ενός μεταλλικού θερμοκηπίου, όπως αυτή δίνεται σε αμερικάνικη ιστοσελίδα ενός καταστήματος κατασκευής θερμοκηπίων<sup>26</sup>. Όπως είναι κατανοητό η τιμή αποτελεί μια μέση τιμή του καταλόγου και χρησιμοποιήθηκε για την ευκολία των υπολογισμών. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 44.

Πιν.44, Κόστος Θερμοκηπίου.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Κόστος (\$/m <sup>2</sup> ) (2009) | Κόστος (\$) | Κόστος (€) |
|---------------------------|------------------------------------|-------------|------------|
| 0,005                     | 209,65                             | 209650      | 141723     |
| 2,48                      | 209,65                             | 104825000   | 70861700   |
| 4,97                      | 209,65                             | 209650000   | 141723400  |
| 16,66                     | 209,65                             | 701908200   | 474489943  |
| 33,33                     | 209,65                             | 1403807385  | 948973792  |

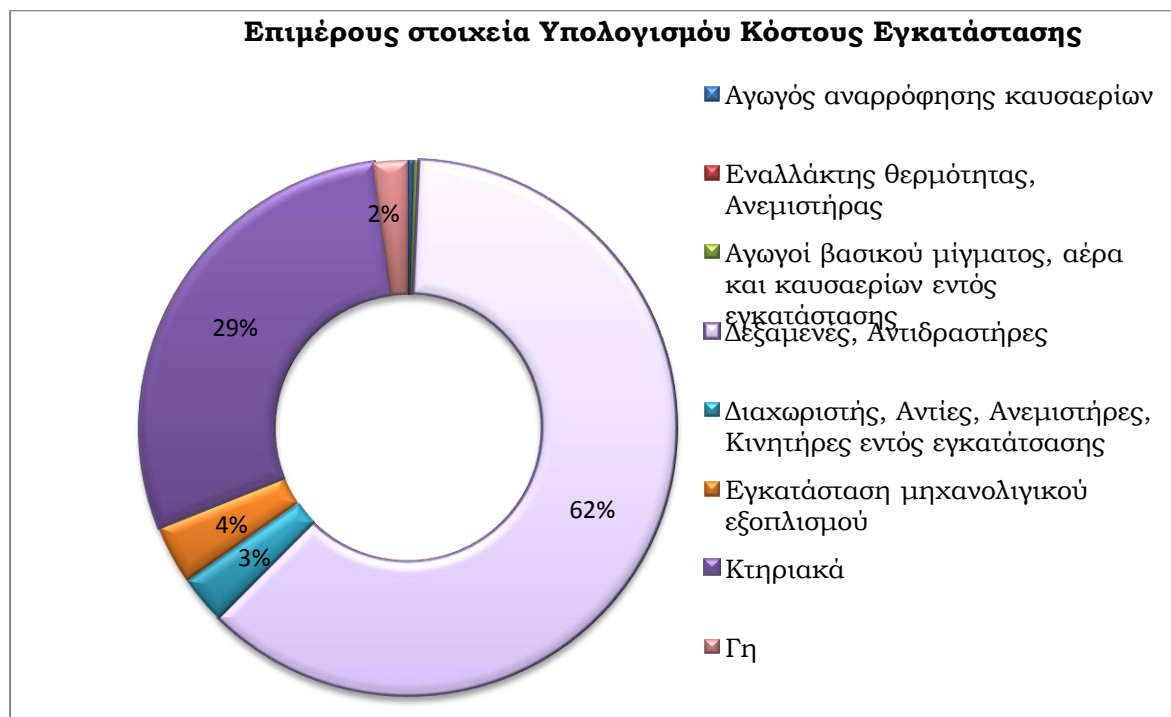
### 6.2.11. Γη

Το κόστος της γης, όπως προαναφέρεται ορίστηκε στα 10€/ τετραγωνικό μέτρο. Η τιμή αυτή αποτελεί μια μέση τιμή για εκτάσεις σε επαρχιακές περιοχές, εκτός σχεδίου πόλεων. Τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση δίνονται στον πίνακα 45.

Πιν.45, Κόστος γης.

| Έκταση εγκατάστασης (m2) | Κόστος (€/m2) (2009) | Κόστος (€) |
|--------------------------|----------------------|------------|
| 1000                     | 10                   | 10000      |
| 500000                   | 10                   | 5000000    |
| 1000000                  | 10                   | 10000000   |
| 3348000                  | 10                   | 33480000   |
| 6695957                  | 10                   | 66959570   |

Για την ευκολία ανάγνωσης και παρουσίασης των απαιτούμενων υπολογισμών παρατίθεται παρακάτω ένα διάγραμμα στο οποίο φαίνεται τι ποσοστό του συνολικού κόστους της εγκατάστασης καταλαμβάνει κάθε ένα από τα επιμέρους τμήματα. Τα ποσοστά που εμφανίζονται υπολογίστηκαν ως μέσες τιμές από το σύνολο των πέντε διαφορετικών περιπτώσεων.



Διαγρ.11, Επιμέρους Στοιχεία Υπολογισμού Κόστους Εγκατάστασης

## **7. Συνολικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας**

### **7.1. Κόστος επένδυσης**

#### **7.1.1. Θεωρητική επιμέρους ανάλυση στοιχείων κόστους επένδυσης**

Το κόστος του εξοπλισμού αποτελεί και το βασικό μέρος των συνολικών δαπανών μιας επένδυσης δημιουργίας μονάδα χημικής επεξεργασίας. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό του. Ένα από τα πρώτα και βασικά βήματα που πραγματοποιείται είναι ο διαχωρισμός του κόστους αυτού σε επιμέρους κατηγορίες για να καταστεί σαφέστερος και απλούστερος ο υπολογισμός του. Πρώτη κατηγορία αποτελεί ο εξοπλισμός των βασικών διεργασιών που θα πραγματοποιούνται, ή αλλιώς ο βαρύς εξοπλισμός, δεύτερη κατηγορία αποτελεί ο εξοπλισμός διαχείρισης και αποθήκευσης ενδιάμεσων προϊόντων και ακολουθεί η τρίτη και τελευταία κατηγορία, διαχείρισης και αποθήκευσης τελικών προϊόντων.

Σε κάθε περίπτωση όμως σημαντικότερο ρόλο παίζει το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά της διεργασίας ή των διεργασιών που θα πραγματοποιηθούν από την συγκεκριμένη μονάδα. Αυτά είναι και τα βασικά στοιχεία που πρέπει να λάβει υπόψη του ο σχεδιαστής- μηχανικός για να μπορέσει να εκτιμήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια το κόστος του εξοπλισμού. Ακριβέστερη μέθοδος υπολογισμού βέβαια δεν παύει να είναι η απευθείας παραλαβή προσφορών από τους προμηθευτές του εξοπλισμού, ακόμα και σε επίπεδο εκτιμήσεων –και όχι τελικής προσφοράς- ενώ μια λιγότερο ακριβής αλλά αξιόπιστη μέθοδος είναι η χρήση παλαιότερων αρχείων με καταγεγραμμένα τα κόστη του εξοπλισμού. Στην τελευταία αυτή περίπτωση ο μηχανικός θα πρέπει να λάβει υπόψη του πιθανές αλλαγές τιμών και για τον λόγο αυτό να κάνει χρήση του δείκτη δαπανών, όπως αυτός περιγράφεται παραπάνω.

Στο κόστος του εξοπλισμού πέρα από τον εξοπλισμό αυτόν κάθε αυτό έρχεται να προστεθεί και το κόστος μεταφοράς, εγκατάστασης και ελέγχου. Το κόστος μεταφοράς εξαρτάται από το μέγεθος του μεταφερόμενου εξοπλισμού καθώς επίσης από την απόσταση και τον τρόπο μεταφοράς. Σε γενική εκτίμηση το κόστος αυτό φτάνει το ποσοστό του 10% επί του συνολικού κόστους επένδυσης.

Το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού απαρτίζεται με την σειρά του από τα κόστη των βάσεων, των στηρίξεων και τα εργατικά. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας (πίνακας 46) στον οποίο δίνονται σε εκτίμηση τα ποσοστά που καταλαμβάνουν διάφορα είδη εξοπλισμού επί του κόστους εξοπλισμού, και όχι συνολικού κόστους επένδυσης.

Πιν.46, Κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού ως ποσοστό του κόστους εξοπλισμού<sup>20</sup>.

| <b>Είδος εξοπλισμού</b>   | <b>Ποσοστό κόστους εγκατάστασης</b> |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Φυγοκεντρικοί διαχωριστές | 20-60 %                             |
| Συμπιεστές                | 30-60 %                             |
| Αποξηραντές               | 25-60 %                             |
| Ατμοποιητές               | 25-90 %                             |
| Φίλτρα                    | 65-80 %                             |
| Ενναλάκτες Θερμότητας     | 30-60 %                             |
| Μηχανικοί Κρυσταλοποιητές | 30-60 %                             |
| Μεταλλικές δεξαμενές      | 30-60 %                             |
| Μίξερ                     | 20-40 %                             |
| Αντλίες                   | 25-60 %                             |
| Πύργοι                    | 60-90 %                             |
| Εύλινες δεξαμενές         | 30-60 %                             |

Ανακεφαλαιώνοντας το κόστος εξοπλισμού αναφέρεται ότι το συνολικό κόστος αυτού κυμαίνεται σε ποσοστό 65-80 % επί του συνολικού κόστους επένδυσης, τιμή που εξαρτάται από την πολυμορφία, το μέγεθος και την εξειδίκευση της απαιτούμενης διεργασίας. Το κόστος εγκατάστασης κυμαίνεται μεταξύ 25-55 % του κόστους εξοπλισμού ενώ το κόστος μόνο των εργατικών –της εγκατάστασης- κατέχει ποσοστό 8-9 % επί του εξοπλισμού ή 2% επί του συνόλου. Τέλος αναφέρεται συνοπτικά και το κόστος ελέγχου του εξοπλισμού το οποίο ξεκινά από 8% και μπορεί να αγγίξει το 50% του κόστους εξοπλισμού. Για μια συνήθη χημική μονάδα επεξεργασίας το ποσοστό αυτό μπορεί να ληφθεί με μεγάλη ακρίβεια στο 26% του εξοπλισμού, δηλαδή στο 5% του κόστους της όλης επένδυσης.

Ένα βασικό μέρος των δαπανών σε μια χημική μονάδα επεξεργασίας αποτελεί το σύστημα σωληνώσεων. Σε γενικές γραμμές όμως αναφέρεται πως το κόστος εργατικών εγκατάστασης κυμαίνεται στο 40-50% του συνολικού κόστους του δικτύου, ενώ το κόστος μόνωσης των σωληνώσεων ξεκινά από το 15% φτάνοντας το 25%, με απαραίτητη παρατήρηση πως επηρεάζεται πολύ εύκολα λόγω της ευαισθησίας της εγκατάστασης στις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας.

Το υπόλοιπο κόστος επιμερίζεται στο ηλεκτρολογικό δίκτυο, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 15-30% επί του εξοπλισμού και 4-8% επί του ολικού κόστους επένδυσης, στα κτήρια και τις υπηρεσίες, στο κόστος μηχανικού με αντίστοιχα ποσοστά 30% και 8%, στα νομικά κόστη - 1-3% επί του συνολικού κόστους επένδυσης- και στα κόστη απροόπτων με μια λογική τιμή στο 8% επί του συνολικού κόστους επένδυσης.

Σε περίπτωση που είναι γνωστό το κόστος του εξοπλισμού και μόνο είναι δυνατός ο υπολογισμός του αρχικού απαραίτητου κεφαλαίου, μέσω της χρήσης των κατάλληλων συντελεστών. Οι συντελεστές, όπως γίνεται κατανοητό σχετίζονται με το κόστος εξοπλισμού και δίνουν πολλαπλασιαζόμενοι με αυτό το επιθυμητό κόστος. Η τιμή των συντελεστών δίνεται στον Πίνακα 47.

Πιν.47 Ποσοστά επί του κόστους εξοπλισμού.<sup>20</sup>

|                               | <b>Ποσοστό επί του<br/>κόστους<br/>Εξοπλισμού</b> |
|-------------------------------|---|
| Κόστος εξοπλισμού             | 100   |
| Εγκατάσταση                   | 39  |
| Σωλήνωση                      | 31  |
| Κτηριακά                      | 29  |
| Έλεγχος και ΣΑΕ               | 26  |
| Ηλεκτρολογικά                 | 10  |
| Ενεργειακή κάλυψη             | 55  |
| <b>ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>           | <b>290</b>  |
| Τεχνικό μέρος και Επίβλεψη    | 32  |
| Νομικά έξοδα                  | 4   |
| <b>ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>          | <b>36</b>   |
| <b>TotalCapitalInvestment</b> | <b>326</b>  |

### 7.1.2. Υπολογισμός συνολικού κόστους επένδυσης

Όπως προαναφέρεται και στην περιγραφή των οικονομικών μεγεθών που παρατίθεται παραπάνω, πέραν του εξοπλισμού και της εγκατάστασης υπάρχουν και άλλα οικονομικά χαρακτηριστικά απαραίτητα για τον υπολογισμό του τελικού κόστους επένδυσης. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- το κόστος απαιτούμενης ενεργειακή κάλυψης,
- το κόστος ηλεκτρολογικής εγκατάστασης,
- το κόστος Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ),
- το κόστος τεχνικής μελέτης και επίβλεψης ανέγερσης της εγκατάστασης καθώς και
- τα νομικά κόστη.

Τα κόστη αυτά δίνονται για κάθε μια από τις πέντε διαφορετικές περιπτώσεις έκτασης στον Πίνακα 48.

Στον πίνακα αυτόν, ως κόστος εξοπλισμού αναφέρεται το κόστος των επιμέρους μελών που απαρτίζουν την εγκατάσταση, συγκεκριμένα αποτελεί το άθροισμα του κόστους του εναλλάκτη θερμότητας, των τριών ανεμιστήρων, των αντλιών και των κινητήρων τους, των διαχωριστών και των κινητήρων τους, των δεξαμενών και των αντιδραστήρων. Ως κόστος εγκατάστασης υπολογίστηκε το άθροισμα του κόστους εγκατάστασης των παραπάνω εξαρτημάτων, όπως αυτή υπολογίστηκε σε προηγούμενους πίνακες. Ως κόστος σωλήνωσης υπολογίστηκε το άθροισμα κόστους και εγκατάστασης των επιμέρους αγωγών. Συγκεκριμένα των αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων από τον ΑΗΣ, των αγωγών αναρρόφησης τελικού μίγματος, των αγωγών αναρρόφησης καυσαερίων από του

αντιδραστήρες και των αγωγών αναρρόφησης αέρα προς αυτούς. Ως κτηριακά αναφέρεται το άθροισμα κόστους του θερμοκηπίου και των καμινάδας.

Το κόστος των ΣΑΕ αναφέρεται στην απόκτηση και εγκατάσταση όποιων απαραίτητων συστημάτων ελέγχου και λειτουργίας της εγκατάστασης. Το κόστος αυτό υπολογίστηκε ως ποσοστό του κόστους εξοπλισμού. Το κόστος ηλεκτρικών απαιτήσεων υπολογίστηκε και πάλι ως το 10% του κόστους εξοπλισμού ενώ οι απαιτήσεις σε ενεργειακή κάλυψη της εγκατάστασης υπολογίστηκαν ως το 5% αυτού. Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις τα ποσοστά που επιλέχτηκαν είναι μικρότερα από αυτά που δίνονται στην βιβλιογραφία καθώς η εγκατάσταση θεωρείται αρκετά απλούστερη από μια χημική μονάδα επεξεργασίας.

Το κόστος τεχνικής μελέτης και επίβλεψης ανέρχεται στο ποσοστό της τάξης του 15% του κόστους εξοπλισμού. Τα νομικά έξοδα καλύπτουν το 2% του κόστους αυτού. Συγκεντρωτικά τα ποσοστά δίνονται και σε στήλη, στον πίνακα 48.



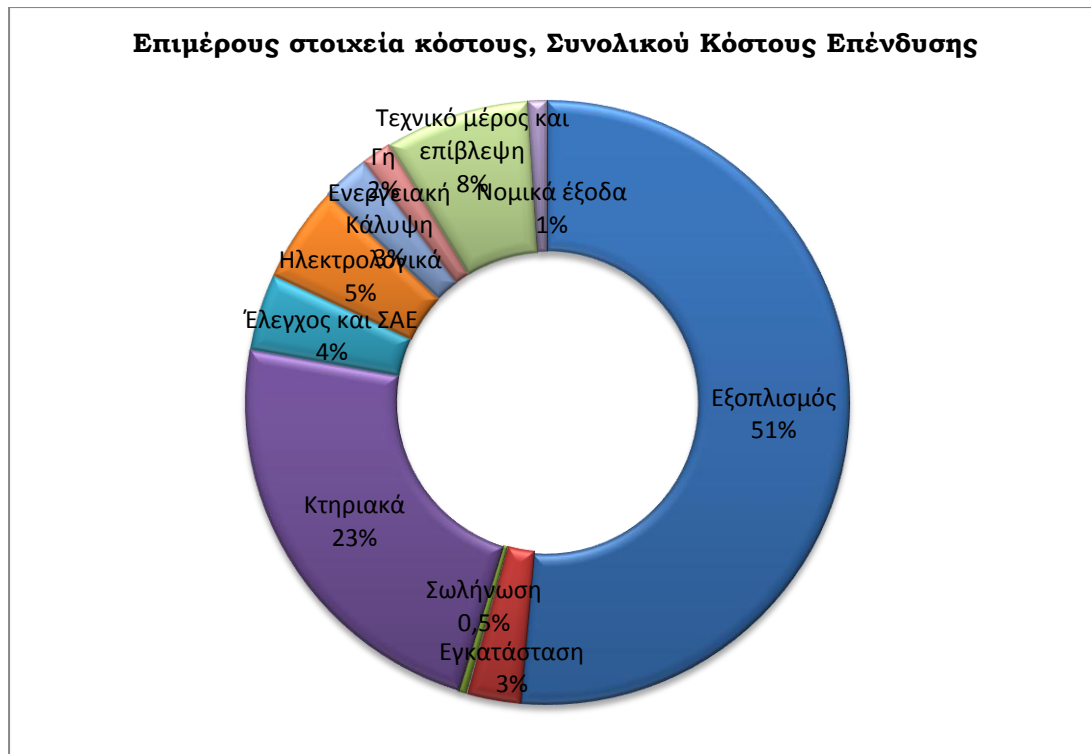
Πιν.48, Ανάλυση Συνολικού κόστους επένδυσης.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%)         | Ποσοστό επί του κόστους Εξοπλισμού | 0,05           | 2,48               | 4,97               |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| <b>Κόστος εξοπλισμού</b>          |                                    | 362.778        | 153.438.573        | 306.726.474        |
| <b>Εγκατάσταση</b>                |                                    | 44.752         | 5.962.941          | 11.837.402         |
| <b>Σωλήνωση</b>                   |                                    | 10.563         | 753.263            | 1.471.546          |
| <b>Κτηριακά</b>                   |                                    | 141.996        | 70.866.360         | 141.732.721        |
| <b>ΣΑΕ</b>                        | 0,08                               | 29.022         | 12.275.085         | 24.538.117         |
| <b>Ηλεκτρολογικά</b>              | 0,10                               | 36.277         | 15.343.857         | 30.672.647         |
| <b>Ενεργειακή Κάλυψη</b>          | 0,05                               | 18.138         | 7.671.928          | 15.336.323         |
| <b>Γη</b>                         |                                    | 10.000         | 5.000.000          | 10.000.000         |
| <b>ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>               |                                    | <b>653.529</b> | <b>271.312.011</b> | <b>542.315.234</b> |
| <b>Τεχνικό μέρος και επίβλεψη</b> | 0,15                               | 54.416         | 23.015.785         | 46.008.971         |
| <b>Νομικά έξοδα</b>               | 0,02                               | 7.255          | 3.068.771          | 6.134.529          |
| <b>ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>              |                                    | <b>61.672</b>  | <b>61.672</b>      | <b>26.084.557</b>  |
| <b>Τελικό Κόστος Επένδυσης</b>    |                                    | <b>715.202</b> | <b>297.396.568</b> | <b>594.458.735</b> |

Συνέχεια πίνακα 48

|                                   |   |                      |                      |
|-----------------------------------|---|----------------------|----------------------|
| <b>Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%)</b>  | <b>Ποσοστό επί του κόστους Εξοπλισμού</b> | <b>16,66</b>         | <b>33,33</b>         |
| <b>Κόστος εξοπλισμού</b>          |   | 1.026.873.525        | 2.053.901.640        |
| <b>Εγκατάσταση</b>                |   | 39.601.711           | 79.243.914           |
| <b>Σωλήνωση</b>                   |   | 4.826.057            | 9.592.202            |
| <b>Κτηριακά</b>                   |   | 474.521.157          | 949.036.217          |
| <b>ΣΑΕ</b>                        | 0,08                                      | 82.149.882           | 164.312.131          |
| <b>Ηλεκτρολογικά</b>              | 0,10                                      | 102.687.352          | 205.390.164          |
| <b>Ενεργειακή Κάλυψη</b>          | 0,05                                      | 51.343.676           | 102.695.082          |
| <b>Γη</b>                         |   | 33.480.000           | 66.959.570           |
| <b>ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>               |   | <b>1.815.483.363</b> | <b>3.631.130.922</b> |
| <b>Τεχνικό μέρος και επίβλεψη</b> | 0,15                                      | 154.031.028          | 308.085.246          |
| <b>Νομικά έξοδα</b>               | 0,02                                      | 20.537.470           | 41.078.032           |
| <b>ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>              |   | <b>52.143.500</b>    | <b>174.568.499</b>   |
| <b>Τελικό Κόστος Επένδυσης</b>    |   | <b>1.990.051.863</b> | <b>3.980.294.201</b> |

Σε ένα γενικό διάγραμμα το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε ένα από αυτά τα μεγέθη δίνεται στο διάγραμμα 12. Τα ποσοστά υπολογίστηκαν ως μέση τιμή των αντίστοιχων ποσοστών κάθε περίπτωσης.



Διαγρ.12, Επιμέρους στοιχεία κόστους, Συνολικού Κόστους Επένδυσης

## 7.2. Κόστος λειτουργίας

### 7.2.1. Θεωρητική ανάλυση κόστους λειτουργίας

Ένα τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό κομμάτι της ανάλυσης της επένδυσης αποτελεί το κόστος λειτουργίας. Το κόστος αυτό απαρτίζεται από το κόστος παραγωγής, το κόστος πρώτης ύλης, το κόστος ενέργειας, τα κόστη συντήρησης και τέλος το κόστος προσωπικού.

Για τον υπολογισμό του απαραίτητου προσωπικού σε μια χημική μονάδα επεξεργασίας παρατίθεται ο πίνακας 49, στον οποίο δίνεται ο απαραίτητος αριθμός εργατών ανά μονάδα και βάρδια.

Πιν.49, Αριθμός υπαλλήλων ανάλογα του εξοπλισμού.<sup>20</sup>

| Τύπος εξοπλισμού        | Εργάτες/ Μονάδα/ Βάρδια |
|-------------------------|-------------------------|
| Συμπιεστές              | 0,1-0,2                 |
| Φυγόκεντροι διαχωριστές | 0,25-0,50               |
| Αποξηραντές             | 0,5                     |
| Φίλτρα                  | 0,1                     |
| Εναλλάκτες θερμότητας   | 0,1                     |
| Αντιδραστήρες           | 1                       |

Στην υπάρχουσα μελέτη το κόστος παραγωγής θα θεωρηθεί σταθερό και ίσο με το κόστος παραγωγής biodiesel. Ο ακριβής αριθμός παρατίθεται σε παρακάτω κωρίο.

Ένα άλλο κόστος το οποίο θα προστεθεί στο τελικό κόστος προϊόντος είναι και το κόστος χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση θα θεωρηθεί ότι καταναλώνει ηλεκτρισμό, για την λειτουργία των απαραίτητων μηχανών και πως απαιτεί νερό, τόσο για την ψύξη των καυσαερίων στον εναλλάκτη θερμότητας όσο και για το διάλυμα των μικροαλγών.

Τέλος στα λειτουργικά κόστη θα έρθει να προστεθεί το κόστος συντήρησης . Το κόστος συντήρησης εξοπλισμού κυμαίνεται μεταξύ 2 και 20% του κόστους του εξοπλισμού. Το κόστος συντήρησης κτηρίων κυμαίνεται στο μεταξύ 3-4% του κόστους του κτηρίου.

### **7.2.2. Υπολογισμός κόστους λειτουργίας**

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας της επένδυσης σε βάθος χρόνου είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των λειτουργικών εξόδων της εγκατάστασης. Τα έξοδα αυτά, όπως περιγράφεται και σε προηγούμενο κωρίο αποτελούνται από:

- την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
- την κατανάλωση νερού,
- τα εργατικά,
- την συντήρηση και
- το κόστος παραγωγής biodiesel.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα υπολογιστεί βάση της ισχύος των κινητήρων των μηχανολογικών εξαρτημάτων. Στην συνέχεια η ισχύς αυτή θα πολλαπλασιαστεί με τον χρόνο λειτουργίας για τον υπολογισμό της κατανάλωσης και KWh. Τέλος η τιμή αυτή θα πολλαπλασιαστεί με την τιμή της KWh για τον υπολογισμό του κόστους. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στον πίνακα 47, για κάθε μια από τις πέντε διαφορετικές περιπτώσεις έκτασης εγκατάστασης, σημειώνεται πως τιμή KWh θεωρήθηκε 0,04€, βάση χρέωσης βιομηχανικού ρεύματος υψηλής κατανάλωσης της ΔΕΗ. Θα μπορούσε να θεωρηθεί πως το κόστος αυτό δεν θα έπρεπε να συνυπολογιστεί στο κόστος λειτουργίας καθότι προέρχεται από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης αλλά στην περίπτωση αυτή θεωρείται διαφυγόν κέρδος. Δηλαδή θεωρείται πως η ηλεκτρική αυτή ενέργεια να δεν χρησιμοποιείται από την μελετώμενη εγκατάσταση θα μπορούσε να παρέχεται σε άλλον καταναλωτή και να προσφέρει κέρδος στην εταιρία.

Πιν.50, Υπολογισμός ετήσιου κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Διαχωριστής | Αντλίες | Ανεμιστήρες | Συνολικά KW | KWh/έτος | €/KWh | €/έτος |
|---------------------------|-------------|---------|-------------|-------------|----------|-------|--------|
| 0,005                     | 50          | 4       | 3           | 12,37       | 35641    | 0,04  | 1425   |
| 2,48                      | 61          | 8       | 3           | 699,49      | 2014549  | 0,04  | 80582  |
| 4,97                      | 73          | 12      | 3           | 1287,18     | 3707106  | 0,04  | 148284 |
| 16,66                     | 97          | 22      | 3           | 4270,60     | 12299338 | 0,04  | 491973 |
| 33,33                     | 168         | 46      | 3           | 8541,15     | 24598532 | 0,04  | 983941 |

Για τον υπολογισμό των εργατικών θα θεωρηθεί αριθμός εργατών ανά μηχάνημα σύμφωνα με τον πίνακα 49. Στην συνέχεια ο αριθμός τους θα πολλαπλασιαστεί με ένα ημερομίσθιο της τάξης των 30€. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 51.

Πιν.51, Ετήσιες Δαπάνες προσωπικού.

| Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%) | Διαχωριστής | Εναλλάκτης | Αντιδραστήρες | Σύνολο | €/ημέρα/εργάτη | €/έτος  |
|---------------------------|-------------|------------|---------------|--------|----------------|---------|
| 0,005                     | 0,3         | 0,1        | 0,05          | 0,45   | 30             | 4955    |
| 2,48                      | 0,3         | 0,1        | 28,98         | 29,38  | 30             | 317363  |
| 4,97                      | 0,3         | 0,2        | 57,97         | 58,47  | 30             | 631486  |
| 16,66                     | 0,9         | 0,5        | 194,08        | 195,48 | 30             | 2111258 |
| 33,33                     | 1,8         | 0,9        | 388,17        | 390,87 | 30             | 4221411 |

Το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης θα θεωρηθεί ίσο με το 2% του συνολικού κόστους επένδυσης. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 52.

Πιν.52, Ετήσιο Κόστος Συντήρησης.

| <b>Ποσοστό<br/>δέσμευσης CO2<br/>(%)</b> | <b>Συνολικό<br/>Κόστος<br/>Επένδυσης (€)</b> | <b>Συντήρηση (€)</b> |
|--|--|----------------------|
| <b>0,005</b>                             | <b>715202,2</b>                              | 21456,1              |
| <b>2,48</b>                              | <b>297396568,6</b>                           | 8921897,1            |
| <b>4,97</b>                              | <b>594406769,3</b>                           | 17832203,1           |
| <b>16,66</b>                             | <b>1989551795,5</b>                          | 59686553,9           |
| <b>33,33</b>                             | <b>3979204261,2</b>                          | 119376127,8          |

Το συνολικό κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου ανά έτος θα υπολογιστεί συναρτήσει του δεσμευόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι η παραγόμενη βιομάζα θα θεωρηθεί ίση με το μισό του δεσμευόμενου διοξειδίου του άνθρακα, η μάζα βιοκαυσίμου ίση με το 70% της μάζας βιομάζας, η πυκνότητα βιοκαυσίμου θα θεωρηθεί ίση με 880 kg/m<sup>3</sup>. Τελικά διαμορφώνεται ο πίνακας 53.

Πιν.53, Ετήσιο Κόστος παραγωγής βιομάζας.

| <b>Μάζα<br/>δεσμευμένου kg<br/>CO2/έτος</b> | <b>Μάζα<br/>παραγόμενης<br/>μικροάλγης<br/>(kg/έτος)</b> | <b>Μάζα<br/>βιοκαυσίμου<br/>(kg/έτος)</b> | <b>Όγκος<br/>βιοκαυσίμου<br/>(m<sup>3</sup>/έτος)</b> | <b>Κόστος<br/>(€/έτος)</b> |
|---|--|---|---|----------------------------|
| 175304,3                                    | 87652,2  | 61356,5                                   | 69,7  | 48.806                     |
| 87652173,9                                  | 43826087,0   | 30678260,9                                | 34861,7   | 24.403.162                 |
| 175304347,8                                 | 87652173,9   | 61356521,7                                | 69723,3   | 48.806.324                 |
| 586918956,5                                 | 293459478,3  | 205421634,8                               | 233433,7  | 163.403.573                |
| 1173830375,0                                | 586915187,5  | 410840631,2                               | 466864,4  | 326.805.047                |

Πιν.22, Υπολογισμός κόστους παραγωγής βιοκαυσίμου

Το κόστος αυτό αποτελεί και το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης παραγωγής βιοκαυσίμου. Συνολικά τα λειτουργικά κόστη της εγκατάστασης δίνονται στον πίνακα 54.

Πιν.54, Συνολικό Ετήσιο λειτουργικό κόστος εγκατάστασης.

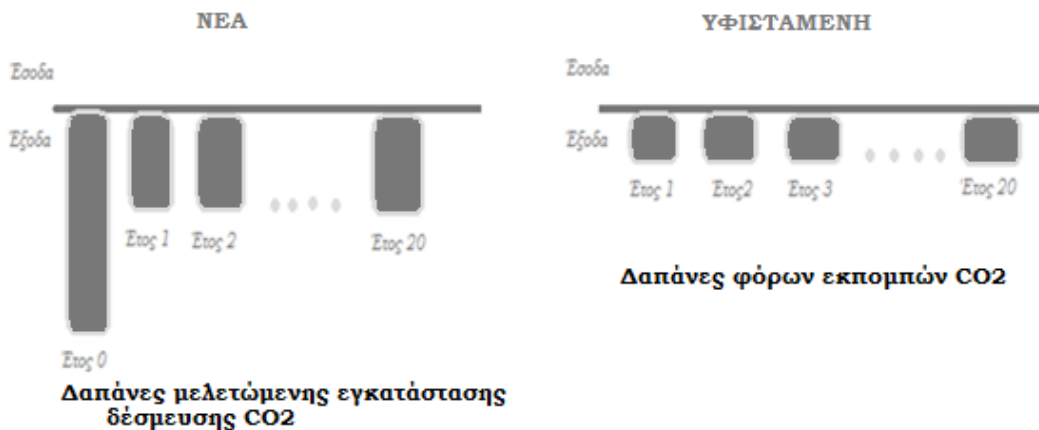
| <b>Ποσοστό<br/>δέσμευσης CO2<br/>(%)</b> | <b>Συνολικό<br/>κόστος<br/>λειτουργίας</b> | <b>Κόστος<br/>παραγωγής<br/>biodiesel</b> | <b>Σύνολο</b> |
|--|--|---|---------------|
| <b>0,005</b>                             | 29.226 €                                   | 48.806 €                                  | 78.033 €      |
| <b>2,48</b>                              | 10.015.280 €                               | 24.403.162 €                              | 34.418.442 €  |
| <b>4,97</b>                              | 20.002.120 €                               | 48.806.324 €                              | 68.808.444 €  |
| <b>16,66</b>                             | 66.943.67 €                                | 163.403.573 €                             | 230.347.246 € |
| <b>33,33</b>                             | 133.889.195 €                              | 326.805.047 €                             | 460.694.243 € |

## 8. Οικονομική ανάλυση αποτελεσμάτων

Για την οικονομική ανάλυση των αποτελεσμάτων θα θεωρηθούν δύο διαφορετικά σενάρια:

- (Α) Εγκατάσταση δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα χωρίς την μονάδα παραγωγής βιομάζας.
- (Β) Εγκατάσταση δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα με την μονάδα παραγωγής βιομάζας.

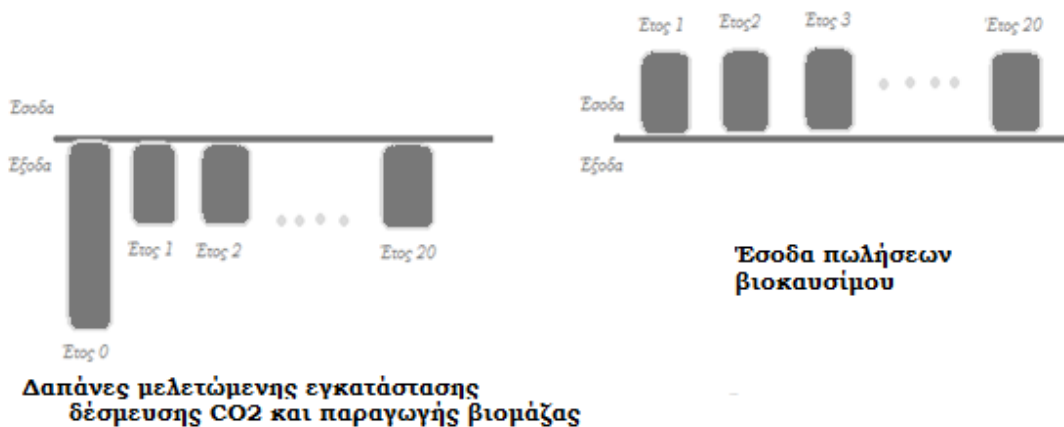
Σκοπός είναι ο υπολογισμός της παρούσας αξίας της επένδυσης και λειτουργίας της εγκατάστασης για τα επόμενα 20 χρόνια. Στην συνέχεια η παρούσα αξία του πρώτου σεναρίου, θα συγκριθεί με την παρούσα αξία των χρημάτων που θα καλείτο να πληρώσει η ΔΕΗ για τους τόνους του διοξειδίου του άνθρακα που θα αποδεσμεύονταν στην ατμόσφαιρα αν δεν λειτουργούσε η εγκατάσταση των μικροαλγών. Σε μια σχηματική αναπαράσταση οι δύο περιπτώσεις που θα μελετηθούν φαίνονται στο σχήμα 8.



Σχ.8, Οικονομικότητα μονάδας δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα για αποφυγή δαπανών φόρων εκπομπών (Α).

Στο δεύτερο σενάριο η παρούσα αξία της εγκατάστασης, προσαυξημένη με το κόστος λειτουργίας της παραγωγής βιοκαυσίμου σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, θα συγκριθεί με τα κέρδη που θα έχει η εταιρία πωλώντας τα παραγόμενα βιοκαύσιμα. Και πάλι τα κέρδη αυτά αναφέρονται σε χρονικό ορίζοντα 20 χρόνων και θα αναχθούν σε παρούσα αξία. Στο σχήμα δίνεται πάλι σχηματική επεξήγηση.





Σχ.9, Οικονομικότητα μονάδας παραγωγής βιοκαυσίμου (B).

### 8.1. Υπολογισμός Παρούσας Αξίας

Για τον υπολογισμό των παρούσων αξιών θεωρήθηκαν τρεις σταθεροί παράμετροι, οι οποίοι δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πιν.55, Σταθεροί Παράμετροι για τον υπολογισμό Καθαρών Παρούσων Αξιών.

| Παράμετρος         | Τιμή Παραμέτρου      |
|--------------------|----------------------|
| Επιτόκιο Αναγωγής  | 8%                   |
| Φόρος εκπομπών     | 10\$/tn, 6,76€/tn    |
| Τιμή Βιοκαυσίμου   | 625 €/m <sup>3</sup> |
| Χρονικός ορίζοντας | 20 τη                |

#### 8.1.1. Παρούσα αξία επένδυσης σεναρίου A

##### 8.1.1.1. Παρούσα αξία επένδυσης και λειτουργίας μελετώμενης εγκατάστασης δέσμευσης CO<sub>2</sub> με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα

Παρακάτω ο πίνακας 56 παραθέτει τα είκοσι χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης, έχοντας ως χρόνο 0 τον χρόνο της επένδυσης, για κάθε μια από τις πέντε διαφορετικές περιπτώσεις που μελετώνται. Στην τελευταία γραμμή του πίνακα υπολογίζεται η ολική παρούσα αξία της επένδυσης. Το επιτόκιο αναγωγής, ή αλλιώς συντελεστής επικαιροποίησης, όπως προαναφέρεται θεωρήθηκε ίσο με 8%.

Πιν.56 Υπολογισμός Παρούσας αξίας εγκατάστασης δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα.

| Έτος | 0,05       |                       | 2,48        |                       | 4,97        |                       |
|------|------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
|      | Εκροές (€) | Κόστη Λειτουργίας (€) | Εκροές (€)  | Κόστη Λειτουργίας (€) | Εκροές (€)  | Κόστη Λειτουργίας (€) |
| 0    | 715.202    |                       | 297.396.568 |                       | 594.458.735 |                       |
| 1    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 2    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 3    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 4    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 5    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 6    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 7    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 8    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 9    |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 10   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 11   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 12   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 13   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 14   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 15   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 16   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 17   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 18   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 19   |            | 29.226                |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
| 20   |            | 29.226,               |             | 10.015.280            |             | 20.002.120            |
|      | <b>PV</b>  | <b>1.002.156</b>      | <b>PV</b>   | <b>395.728.072</b>    | <b>PV</b>   | <b>790.857.805</b>    |

Συνέχεια πίνακα 56.

| (%) CO2 | 16,66         |                       | 33,33         |                       |
|---------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| Έτος    | Εκροές (€)    | Κόστη Λειτουργίας (€) | Εκροές (€)    | Κόστη Λειτουργίας (€) |
| 0       | 1.990.051.863 |                       | 3.980.294.201 |                       |
| 1       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 2       |               | 66.943.673,           |               | 133.889.195           |
| 3       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 4       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 5       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 6       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 7       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 8       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 9       |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 10      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 11      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 12      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 13      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 14      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 15      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 16      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 17      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 18      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 19      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
| 20      |               | 66.943.673            |               | 133.889.195           |
|         | <b>PV</b>     | <b>2.647.462.006</b>  | <b>PV</b>     | <b>5.295.159.097</b>  |

### 8.1.1.2. Παρούσα αξία δαπανών σε φόρους διοξειδίου του άνθρακα με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα

Στην συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας υπολογισμού της παρούσας αξίας των εξόδων της ΔΕΗ για τα επόμενα 20 χρόνια, αν καλείτο να πληρώσει φόρο για κάθε τόνο διοξειδίου του άνθρακα που, αν αυτός δεν θα δεσμευόταν από την μελετώμενη εγκατάσταση. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 57.

Πιν.57, Παρούσα αξία φόρων CO<sub>2</sub> με εικοσαετή ορίζοντα.

| (%)<br>CO <sub>2</sub> | 0,05       | 2,48        | 4,97          | 16,66         | 33,33         |
|------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Έτος                   | €/έτος     | €/έτος      | €/έτος        | €/έτος        | €/έτος        |
| 1                      | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 2                      | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 3                      | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 4                      | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 5                      | 1.185€     | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 6                      | 1.185 €    | 592.528,0 € | 1.185.057,9 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 7                      | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 8                      | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 9                      | 1.185,06 € | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,5 € | 7.935.093,3 € |
| 10                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 11                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 12                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 13                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 14                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 15                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 16                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 17                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 18                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 19                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |
| 20                     | 1.185 €    | 592.528,7 € | 1.185.057,3 € | 3.967.572,1 € | 7.935.093,3 € |

|           |          |             |              |              |              |
|-----------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>PV</b> | 11.635 € | 5.817.534 € | 11.635.068 € | 38.954.208 € | 77.907.916 € |
|-----------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|

### 8.1.2. Παρούσα αξία επένδυσης σεναρίου B

#### 8.1.2.1. Παρούσα αξία επένδυσης και λειτουργίας μελετώμενης εγκατάστασης δέσμησης CO<sub>2</sub> με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα

Παρακάτω ο πίνακας 58 παραθέτει τα είκοσι χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης, έχοντας ως χρόνο 0 τον χρόνο της επένδυσης, για κάθε μια από τις πέντε διαφορετικές περιπτώσεις που μελετώνται. Στην τελευταία γραμμή του πίνακα υπολογίζεται η ολική παρούσα αξία της επένδυσης.

Πιν.58, Παρούσα αξία εγκατάστασης παραγωγής βιοκαυσίμου.

| (%) CO | 0,05       |                       | 2,48        |                       | 4,97        |                       |
|--------|------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| Έτος   | Εκροές (€) | Κόστη Λειτουργίας (€) | Εκροές (€)  | Κόστη Λειτουργίας (€) | Εκροές (€)  | Κόστη Λειτουργίας (€) |
| 0      | 715.202    |                       | 297.396.568 |                       | 594.458.735 |                       |
| 1      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 2      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 3      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 4      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 5      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 6      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 7      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 8      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 9      |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 10     |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 11     |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |
| 12     |            | 78.033                |             | 34.418.442            |             | 68.808.444            |

|    |           |                  |           |                    |           |                      |
|----|-----------|------------------|-----------|--------------------|-----------|----------------------|
| 13 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
| 14 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
| 15 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
| 16 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
| 17 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
| 18 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
| 19 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
| 20 |           | 78.033           |           | 34.418.442         |           | 68.808.444           |
|    | <b>PV</b> | <b>1.481.343</b> | <b>PV</b> | <b>635.321.914</b> | <b>PV</b> | <b>1.270.045.490</b> |

Συνέχεια πίνακα 58.

| (%) CO2 | 16,66         |                       | 33,33         |                       |
|---------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| Έτος    | Εκροές (€)    | Κόστη Λειτουργίας (€) | Εκροές (€)    | Κόστη Λειτουργίας (€) |
| 0       | 1.990.051.863 |                       | 3.980.294.201 |                       |
| 1       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 2       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 3       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 4       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 5       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 6       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 7       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 8       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 9       |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 10      |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |
| 11      |               | 230.347.246           |               | 460.694.243           |

|           |           |                      |           |                      |
|-----------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| <b>12</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>13</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>14</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>15</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>16</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>17</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>18</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>19</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
| <b>20</b> |           | 230.347.246          |           | 460.694.243          |
|           | <b>PV</b> | <b>4.251.782.374</b> | <b>PV</b> | <b>8.503.779.228</b> |

#### 8.1.2.2. Παρούσα αξία εσόδων από πώληση βιοκαυσίμου με εικοσαετή χρονικό ορίζοντα

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 63) φαίνεται ο υπολογισμός της παρούσας αξίας, η οποία δίνεται στην τελευταία σειρά, των εσόδων από την πώληση του παραγόμενου βιοκαυσίμου. Ο υπολογισμός των εσόδων θεωρήθηκε ίσος με το γινόμενο του όγκου του παραγόμενου βιοκαυσίμου με την τιμή της μονάδας αυτού. η τιμή αυτή θεωρήθηκε ίση με 625€/m<sup>3</sup>, όπως προαναφέρεται, η οποία υπολογίστηκε με αναγωγή της τιμής 3,5\$/gal. Το τελευταίο αυτό ποσό θεωρήθηκε τόσο σύμφωνα με πηγές του διαδικτύου, και αποτελεί έναν γενικό μέσο όρο αυτών. Ο ακριβής υπολογισμός των κερδών ανά έτος υπολογίζεται στον πίνακα 59.

Πιν.59, Υπολογισμός ετήσιων εσόδων από την πώληση βιοκαυσίμου.

| <b>Έκταση Εγκατάστασης (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Παραγόμενο biodiesel (m<sup>3</sup>/έτος)</b> | <b>Έσοδα (€/ έτος)</b> |
|--|--|------------------------|
| <b>1000</b>                                | 69,7   | 43.577                 |
| <b>500000</b>                              | 34861,6  | 21.788.537             |
| <b>1000000</b>                             | 69723,3  | 43.577.075             |
| <b>3348000</b>                             | 233433,6   | 145.896.047            |
| <b>6695957</b>                             | 466864,3   | 291.790.221            |

Πιν.60, Παρούσα αξία εσόδων από την πώληση βιοκαυσίμου με εικοσαετή ορίζοντα.

| (%)         | <b>0,05</b> | <b>2,48</b> | <b>4,97</b> | <b>16,66</b>  | <b>33,33</b>  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| <b>Έτος</b> | €/έτος      | €/έτος      | €/έτος      | €/έτος        | €/έτος        |
| <b>1</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>2</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>3</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>4</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>5</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>6</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.04    | 291.790.221   |
| <b>7</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>8</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>9</b>    | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>10</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>11</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>12</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>13</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221,  |
| <b>14</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>15</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>16</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>17</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>18</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>19</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>20</b>   | 43.577      | 21.788.537  | 43.577.075  | 145.896.047   | 291.790.221   |
| <b>PV</b>   | 427.846     | 213.923.073 | 427.846.146 | 1.432.428.899 | 2.864.839.402 |



## 8.2. Αποτελέσματα σύγκρισης των παρουσών αξιών των επιμέρους εναλλακτικών και υπολογισμός τιμών φόρου $\text{tn CO}_2$ και $\text{m}^3$ βιοκαυσίμου σε κάθε περίπτωση

Για να θεωρηθεί πως η μελετώμενη εγκατάσταση αποφέρει θετικά αποτελέσματα θα πρέπει σε κάθε περίπτωση η ολική παρούσα αξία στα δύο συγκρινόμενα σενάρια ανά φορά, να είναι μηδενική. Δηλαδή, στην περίπτωση που η εγκατάσταση θεωρηθεί αποκλειστικά μέσο δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει η παρούσα αξία της επένδυσης και λειτουργίας της εγκατάστασης να ισούται με αυτήν των δαπανών για φόρους εκπομπών διοξειδίου. Σε αντίθετη περίπτωση θα μπορούσε να ειπωθεί πως η πληρωμή των φόρων αποτελεί περισσότερο «συμφέρουσα» πολιτική για την εταιρία της ΔΕΗ. Στην περίπτωση αυτή συγκρίνονται πέντε διαφορετικές περιπτώσεις, όσες και τα διαφορετικά σενάρια έκτασης της εγκατάστασης. Σε κάθε ένα σενάριο οι περιπτώσεις που συγκρίνονται είναι δύο, η πρώτη είναι η παρούσα αξία της επένδυσης και λειτουργίας της εγκατάστασης, και η δεύτερη είναι η παρούσα αξία των φόρων εκπομπών διοξειδίου.

Σε κάθε μια από τις παραπάνω πέντε περιπτώσεις σύγκρισης η πρώτη εμφανίζεται αρκετά υψηλότερη σε κόστος. Τα αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση δίνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 61.

Πιν.61, Σύγκριση παρούσας αξίας διαφορετικών σεναρίων δέσμευσης  $\text{CO}_2$ .

| Ποσοστό δέσμευσης $\text{CO}_2$ (%) | Παρούσα αξία εγκατάστασης δέσμευσης $\text{CO}_2$ | Παρούσα αξία δαπανών φόρων εκπομπών $\text{CO}_2$ |
|-------------------------------------|---|---|
| 0,005                               | 1.002.156 €                                       | 11.635,€  |
| 2,48                                | 395.728.072 €                                     | 5.817.534 €                                       |
| 4,97                                | 790.857.805 €                                     | 11.635.068 €                                      |
| 16,66                               | 2.647.462.006 €                                   | 38.954.208 €                                      |
| 33,33                               | 5.295.159.097 €                                   | 77.907.916 €                                      |

Όμως και στην περίπτωση παραγωγής και πώλησης βιοκαυσίμου η μελετώμενη εγκατάσταση είναι σε υψηλότερη στάθμη από αυτήν των εσόδων από την πώληση των βιοκαυσίμων. Σε περίπτωση που η ολική παρούσα αξία ήταν μηδενική τότε θα θεωρείτο ότι τα έξοδα της εγκατάστασης καλύπτονται από την διάθεση του biodiesel. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 62.

Πιν.62, Σύγκριση παρούσας αξίας διαφορετικών σεναρίων πώλησης βιοκαυσίμου.

| <b>Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%)</b> | <b>Παρούσα αξία εγκατάστασης παραγωγής βιοκαυσίμου</b> | <b>Παρούσα αξία εσόδων από την πώληση βιοκαυσίμου</b> |
|----------------------------------|--|---|
| <b>0,005</b>                     | 1.481.343 €  | 427.846 €   |
| <b>2,48</b>                      | 635.321.914 €  | 213.923.073 €   |
| <b>4,97</b>                      | 1.270.045.490 €  | 427.846.146 €   |
| <b>16,66</b>                     | 4.251.782.374 €  | 1.432.428.899 €                                       |
| <b>33,33</b>                     | 8.503.779.228 €  | 2.864.839.402 €                                       |

Παρακάτω υπολογίστηκε ποια θα έπρεπε να είναι η τιμή φόρου του διοξειδίου του άνθρακα και αντίστοιχα του κυβικού μέτρου βιοκαυσίμου ώστε η ολική παρούσα αξία κάθε σεναρίου, όπως υπολογίστηκαν παραπάνω, να είναι μηδενική. Τα αποτελέσματα δίνονται στους πίνακες 63 και 64.

Πιν.63, Φόρος ανά παραγόμενο τόνο διοξειδίου του άνθρακα, ώστε η παρούσα αξία εξόδων να ισούται με αυτήν της εγκατάστασης.

| <b>Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%)</b> | <b>€/tn CO2</b> |
|----------------------------------|-----------------|
| <b>0,005</b>                     | 861,32 €        |
| <b>2,48</b>                      | 680,23 €        |
| <b>4,97</b>                      | 679,66 €        |
| <b>16,66</b>                     | 679,47 €        |
| <b>33,33</b>                     | 679,49 €        |

Πιν.64, Τιμή πώλησης κυβικού βιοκαυσίμου, ώστε η παρούσα αξία εσόδων να ισούται με αυτήν της εγκατάστασης.

| <b>Ποσοστό δέσμευσης CO2 (%)</b> | <b>€/m<sup>3</sup> biodiesel</b> |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>0,05</b>                      | 2.163,9 €                        |
| <b>2,48</b>                      | 1.856,1 €                        |
| <b>4,97</b>                      | 1.855,1 €                        |
| <b>16,66</b>                     | 1.854,8 €                        |
| <b>33,33</b>                     | 1.854,9 €                        |

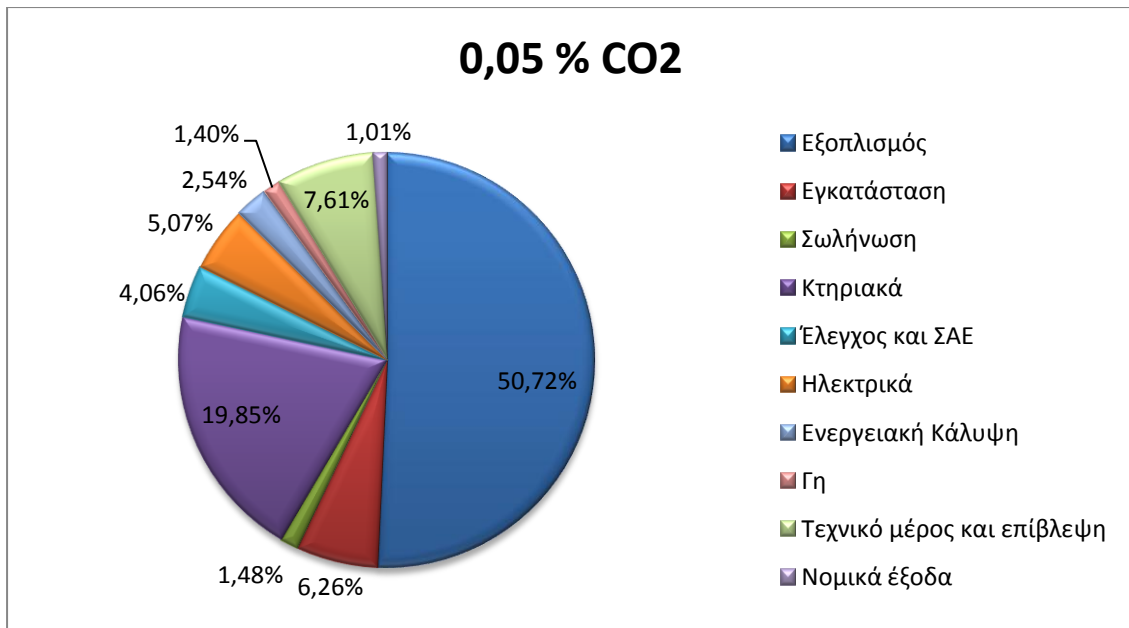
Παρατηρείται πως οι απαιτούμενες τιμές είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές που θεωρήθηκε ότι ισχύουν στην περίπτωση που εξετάζεται, δηλαδή 6,76 €/τόνο διοξειδίου και 625€/ κυβικό μέτρο παραγόμενου βιοκαυσίμου.

### 8.3. Ανάλυση ευαισθησίας συνολικού κόστους επένδυσης

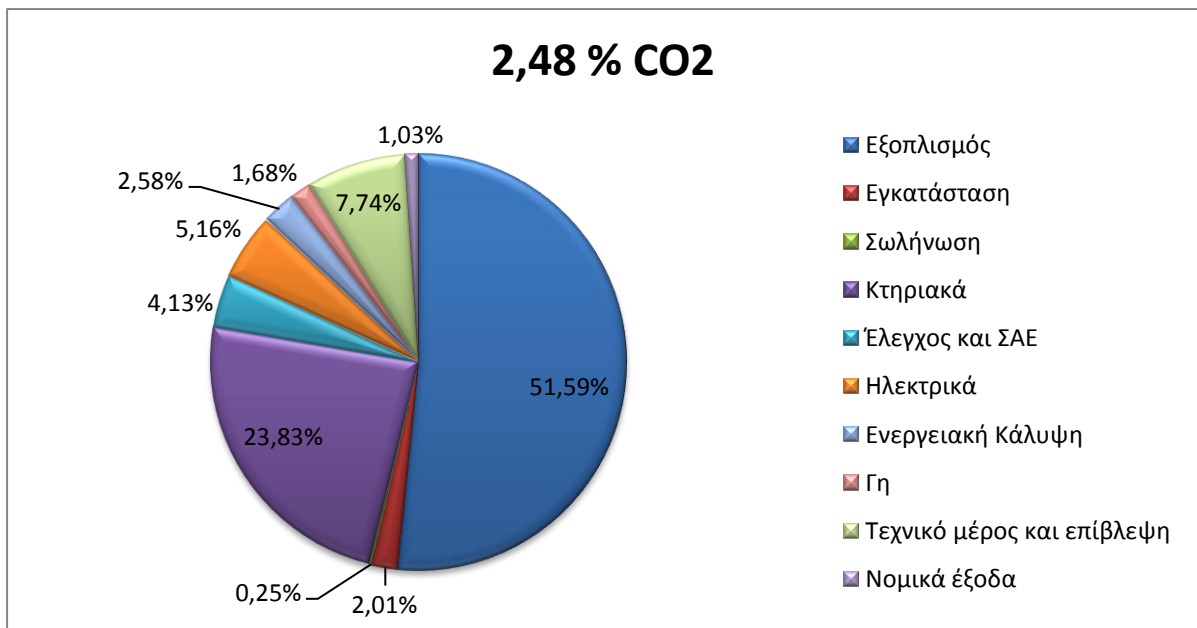
Εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς που παρατηρείται ανάμεσα στις απαιτούμενες τιμές προϊόντος, στα πλαίσια της οικονομικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση ευαισθησίας συγκεκριμένων παραμέτρων πάνω στην τελική τιμή. Για την επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων πρέπει αρχικά να βρεθεί ποια στοιχεία της επένδυσης επηρεάζουν περισσότερο το κόστος της. Έτσι υπολογίστηκαν τα ποσοστά που καταλαμβάνει κάθε στοιχείο της επένδυσης σε σχέση με αυτήν. Τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση δίνονται σε μορφή πίνακα (πίνακας 65) καθώς και σε μορφή διαγράμματος πίτας.

Πιν.65, Ποσοστωση επιμέρους στοιχείων του συνολικού κόστους επένδυσης.

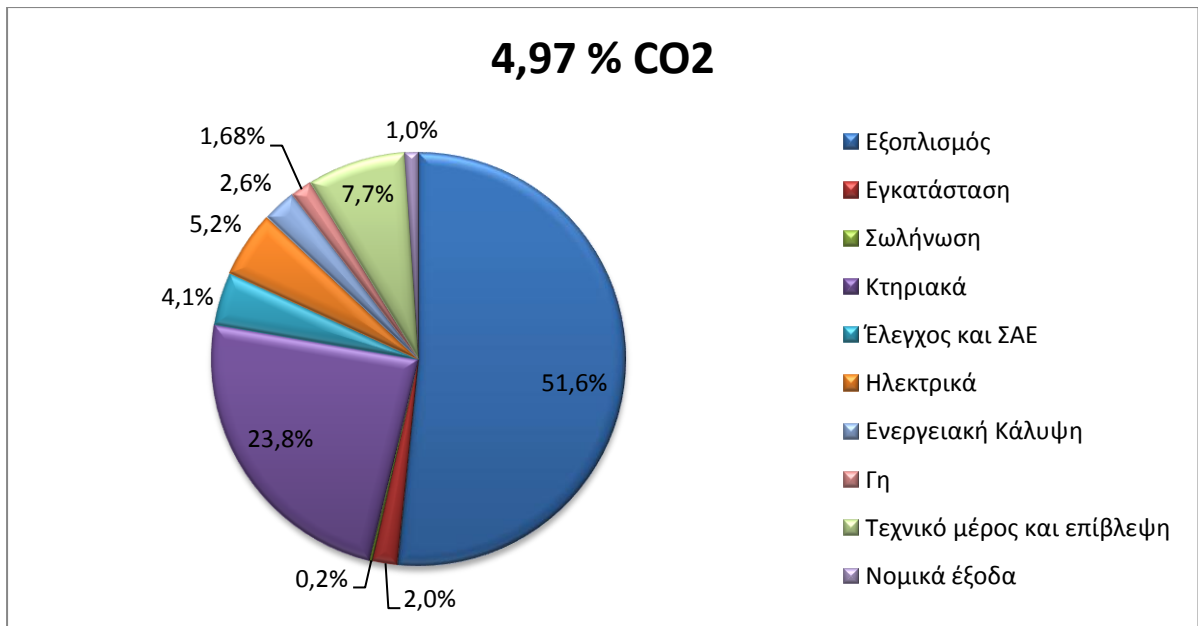
| (%)                               | 0,05           | 2,48           | 4,97          | 16,66          | 33,33          |
|-----------------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| <b>Εξοπλισμός</b>                 | 50,72%         | 51,59%         | 51,6%         | 51,60%         | 51,60%         |
| <b>Εγκατάσταση</b>                | 6,26%          | 2,01%          | 2,0%          | 1,99%          | 1,99%          |
| <b>Σωλήνωση</b>                   | 1,48%          | 0,25%          | 0,2%          | 0,24%          | 0,24%          |
| <b>Κτηριακά</b>                   | 19,85%         | 23,83%         | 23,8%         | 23,85%         | 23,85%         |
| <b>Έλεγχος και ΣΑΕ</b>            | 4,06%          | 4,13%          | 4,1%          | 4,13%          | 4,13%          |
| <b>Ηλεκτρολογικά</b>              | 5,07%          | 5,16%          | 5,2%          | 5,16%          | 5,16%          |
| <b>Ενεργειακή Κάλυψη</b>          | 2,54%          | 2,58%          | 2,6%          | 2,58%          | 2,58%          |
| <b>Γη</b>                         | 1,40%          | 1,68%          | 1,68%         | 1,68%          | 1,68%          |
| <b>ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>               | <b>91,38%</b>  | <b>91,23%</b>  | <b>91,2%</b>  | <b>91,23%</b>  | <b>91,23%</b>  |
| <b>Τεχνικό μέρος και επίβλεψη</b> | 7,61%          | 7,74%          | 7,7%          | 7,74%          | 7,74%          |
| <b>Νομικά έξοδα</b>               | 1,01%          | 1,03%          | 1,0%          | 1,03%          | 1,03%          |
| <b>ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>              | <b>8,62%</b>   | <b>8,77%</b>   | <b>8,8%</b>   | <b>8,77%</b>   | <b>8,77%</b>   |
| <b>Συνολικό κόστος επένδυσης</b>  | <b>100,00%</b> | <b>100,00%</b> | <b>100,0%</b> | <b>100,00%</b> | <b>100,00%</b> |



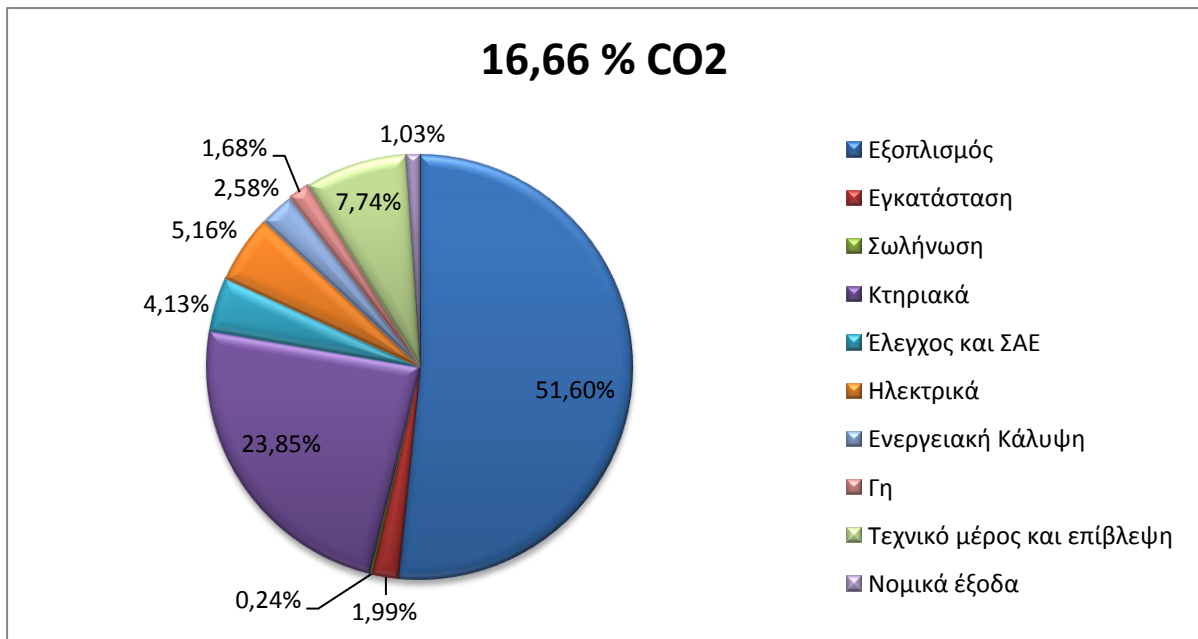
Διαγρ.13, Ποσότωση επιμέρους στοιχείων του συνολικού κόστους επένδυσης για εγκατάσταση 1000 m<sup>2</sup>.



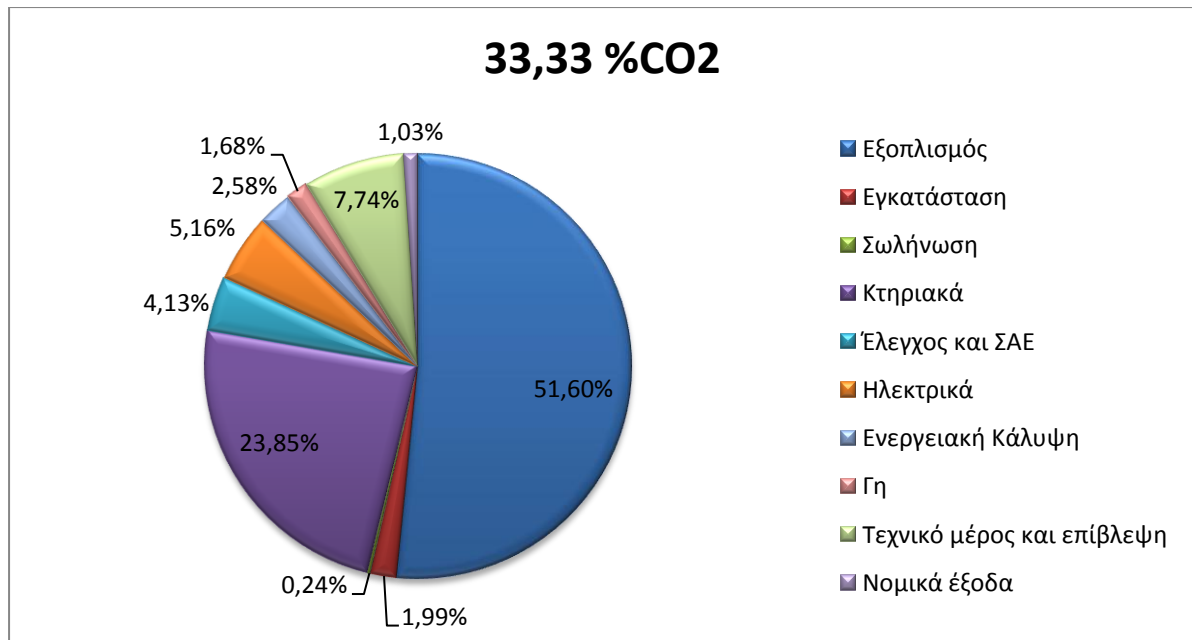
Διαγρ.14, Ποσότωση επιμέρους στοιχείων του συνολικού κόστους επένδυσης για εγκατάσταση 500.000 m<sup>2</sup>.



Διαγρ.15, Ποσότωση επιμέρους στοιχείων του συνολικού κόστους επένδυσης για εγκατάσταση 1.000.000 m<sup>2</sup>.



Διαγρ.16, Ποσότωση επιμέρους στοιχείων του συνολικού κόστους επένδυσης για εγκατάσταση 3.348.000 m<sup>2</sup>.

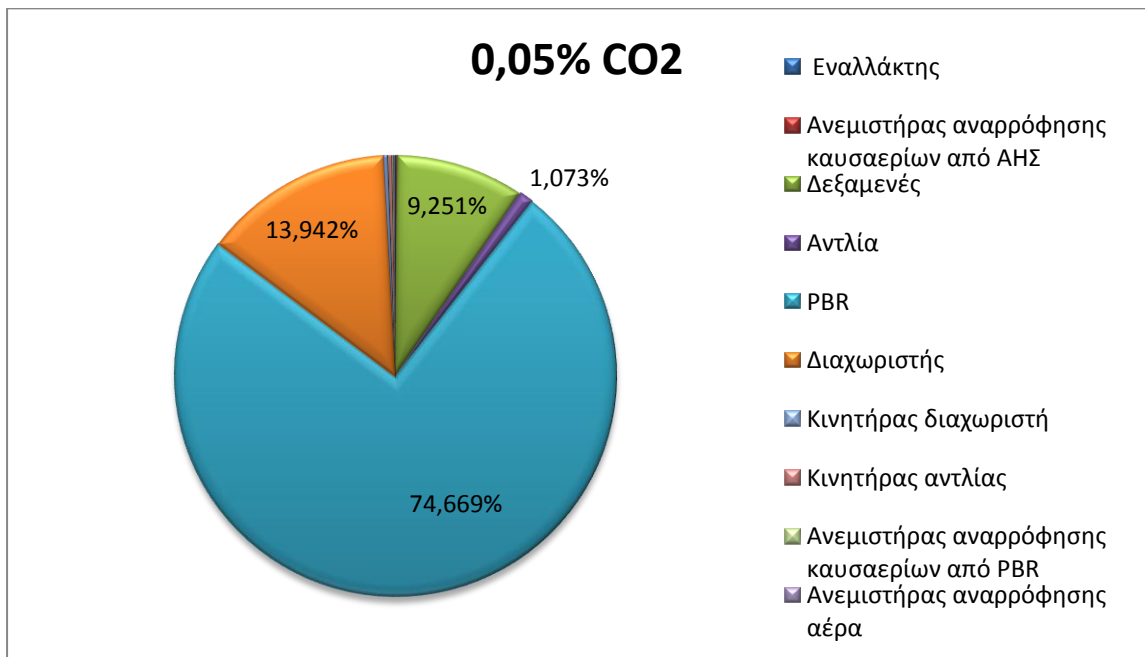


Διαγρ.17, Ποσοστωση επιμέρους στοιχείων του συνολικού κόστους επένδυσης για εγκατάσταση 6.695.057 m<sup>2</sup>.

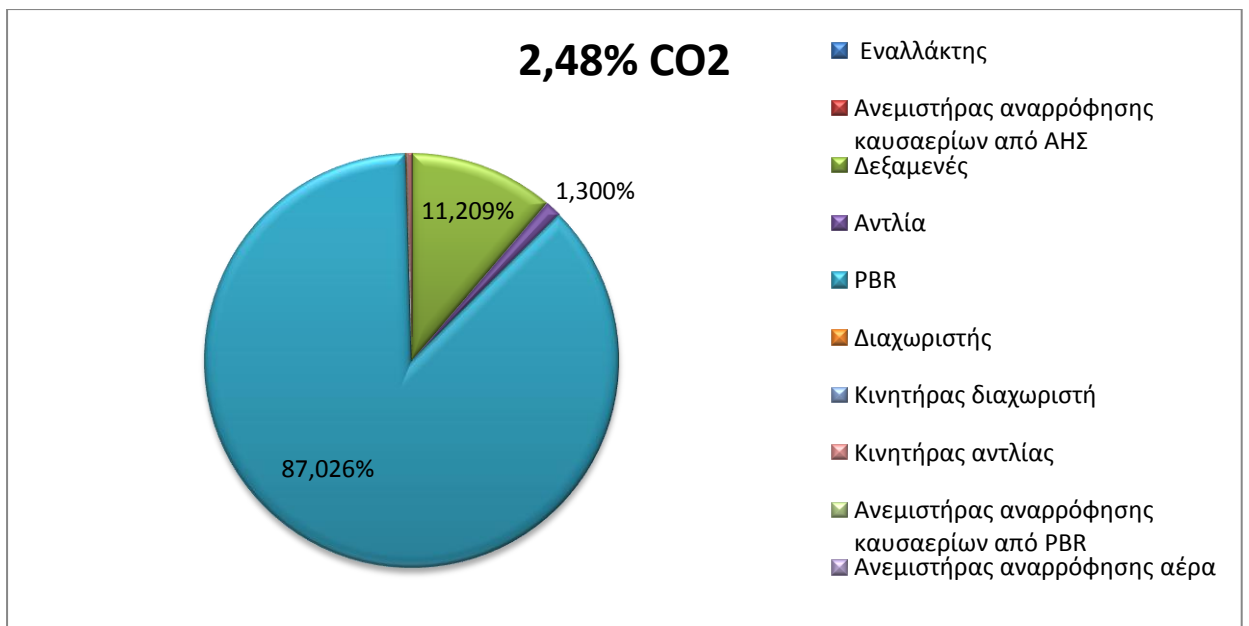
Όπως φαίνεται σε κάθε περίπτωση δύο είναι οι βασικές τιμές που επηρεάζουν το συνολικό κόστος επένδυσης. Αυτές είναι το κόστος του εξοπλισμού και το κόστος των κτηριακών εγκαταστάσεων. Δεν είναι όμως αρκετή αυτή η ανάλυση για να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις σχετικά με την επιλογή των παραμέτρων που θα τροποποιηθούν. Για τον λόγο αυτό κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες αναλύεται στα συστατικά της, υπολογίζοντας τα εκάστοτε ποσοστά τους. Τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή πίνακα (πίνακας 66) και διαγραμμάτων πίτας.

Πιν. 66, Ποσοστωση επιμέρους στοιχείων του εξοπλισμού.

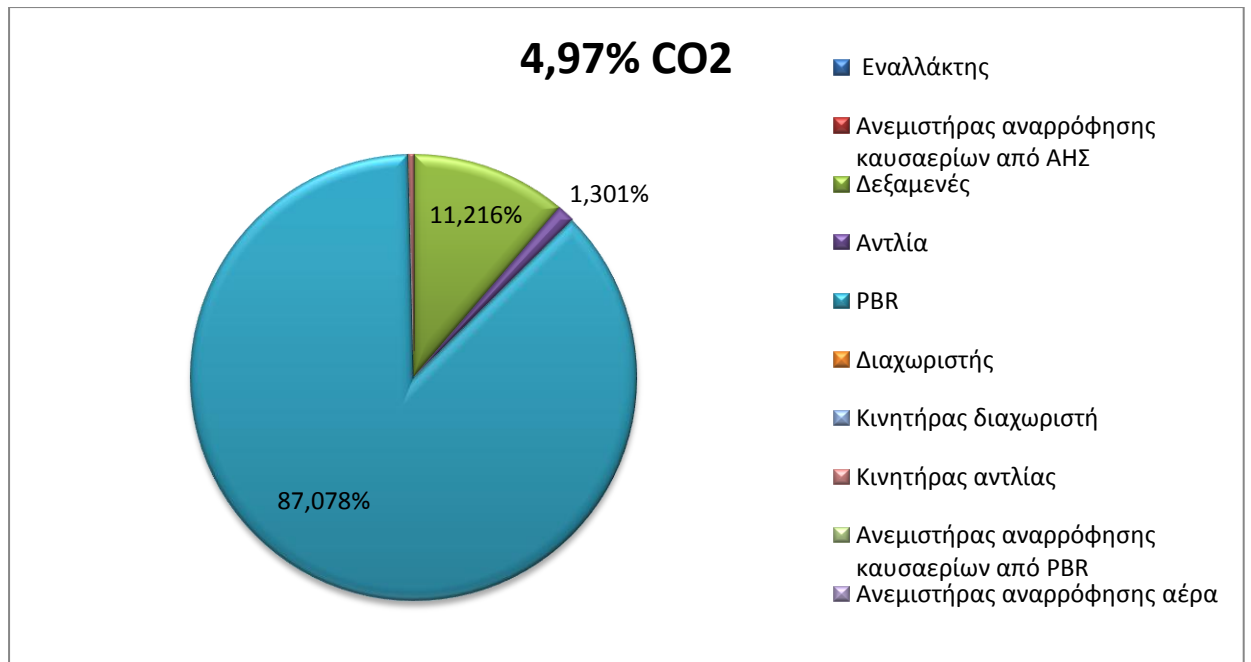
| Εναλλάκτης (%) | Ανεμιστήρας αναρρόφησης καυσαερίων από ΑΗΣ (%) | Δεξαμενές (%) | Αντλία (%) | PBR (%) | Διαχωριστής (%) | Κινητήρας διαχωριστή (%) | Κινητήρας αντλίας (%) | Ανεμιστήρας αναρρόφησης καυσαερίων από PBR (%) | Ανεμιστήρας αναρρόφησης αέρα (%) | Σύνολο (%) |
|----------------|--|---------------|------------|---------|-----------------|--------------------------|-----------------------|--|----------------------------------|------------|
| 0,103          | 0,123  | 9,251         | 1,073      | 74,669  | 13,942          | 0,322                    | 0,272                 | 0,123  | 0,123                            | 100        |
| 0,038          | 0,002  | 11,209        | 1,300      | 87,026  | 0,086           | 0,007                    | 0,330                 | 0,002  | 0,001                            | 100        |
| 0,026          | 0,001  | 11,216        | 1,301      | 87,078  | 0,043           | 0,003                    | 0,330                 | 0,001  | 0,001                            | 100        |
| 0,003          | 0,002  | 11,221        | 1,301      | 87,098  | 0,039           | 0,003                    | 0,330                 | 0,002  | 0,001                            | 100        |
| 0,000          | 0,007  | 11,220        | 1,301      | 87,093  | 0,039           | 0,003                    | 0,330                 | 0,007  | 0,001                            | 100        |



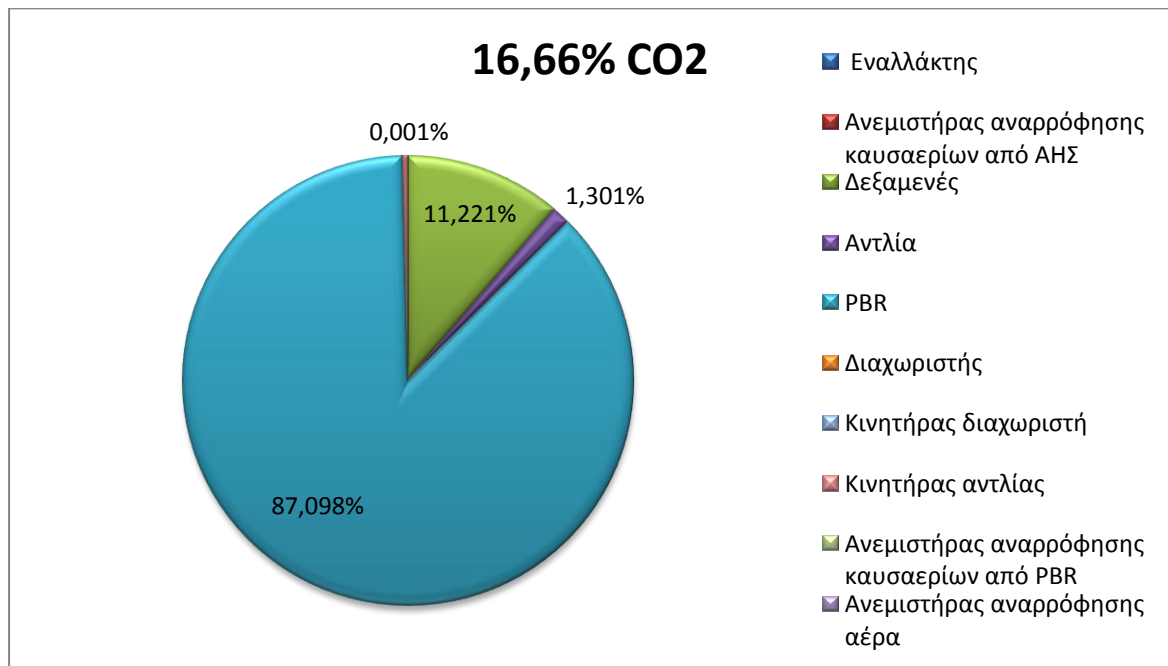
Διαγρ.18, Ποσόστωση επιμέρους στοιχείων του εξοπλισμού εγκατάστασης 1000 m<sup>2</sup>.



Διαγρ.19, Ποσόστωση επιμέρους στοιχείων του εξοπλισμού εγκατάστασης 500.000 m<sup>2</sup>.

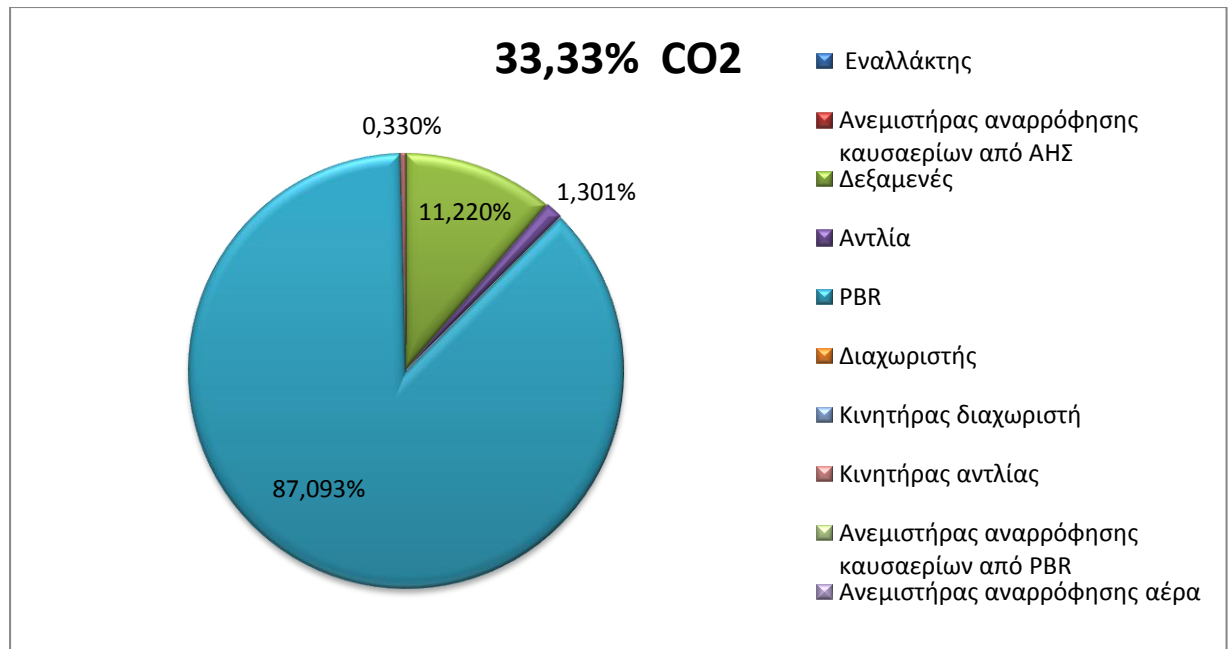


Διαγρ.20, Ποσόστωση επιμέρους στοιχείων του εξοπλισμού εγκατάστασης 1.000.000 m<sup>2</sup>.



Διαγρ.21, Ποσόστωση επιμέρους στοιχείων του εξοπλισμού εγκατάστασης 3.348.000 m<sup>2</sup>.





Διαγρ.22, Ποσοστωση επιμέρους στοιχείων του εξοπλισμού εγκατάστασης 6.695.957m<sup>2</sup>.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως το κόστος εξοπλισμού επηρεάζεται κατά 88% περίπου από το κόστος των αντιδραστήρων.

Όσον αφορά το κόστος των κτηριακών αυτά επιμερίζονται κατά 99,5% στο κόστος θερμοκηπίου και κατά 0,5% στο κόστος καμινάδας. Η παράθεση διαγράμματος δεν θεωρήθηκε απαραίτητη.

Συνεπώς στις διάφορες δοκιμές που θα γίνουν τα στοιχεία που θα αλλάξουν τιμή θα είναι το κόστος αντιδραστήρων και το κόστος θερμοκηπίου. Ένας τρίτος παράγοντας που θα τροποποιηθεί είναι μια παράμετρος που θεωρήθηκε εξαρχής και αυθαίρετα σταθερή. Πρόκειται για την έκταση που καλύπτει ένα κυβικό μέτρο διαλύματος μικροαλγών, ανοιγμένο στην επιφάνεια της εγκατάστασης. Δηλαδή ο αριθμός 11,5 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> θα αλλάξει με σκοπό να βρεθεί το πόσο επηρεάζει το συνολικό κόστος επένδυσης.

Τέλος όσον αφορά την ταυτόχρονη παραγωγή βιοκαυσίμου γίνεται η εξής παρατήρηση. Ενώ στην πρώτη εναλλακτική τα λειτουργικά έξοδα αποτελούν το 25% της παρούσας αξίας, στην δεύτερη περίπτωση αποτελούν το 54% αυτής. Συνεπώς όσον αφορά την παραγωγή βιοκαυσίμου μια παράμετρος που θα τροποποιηθεί θα είναι το κόστος παραγωγής του.

#### **8.4. Ανάλυση ευαισθησίας οικονομικότητας (τιμή τελικού προϊόντος) σε σχέση με το κόστος επένδυσης**

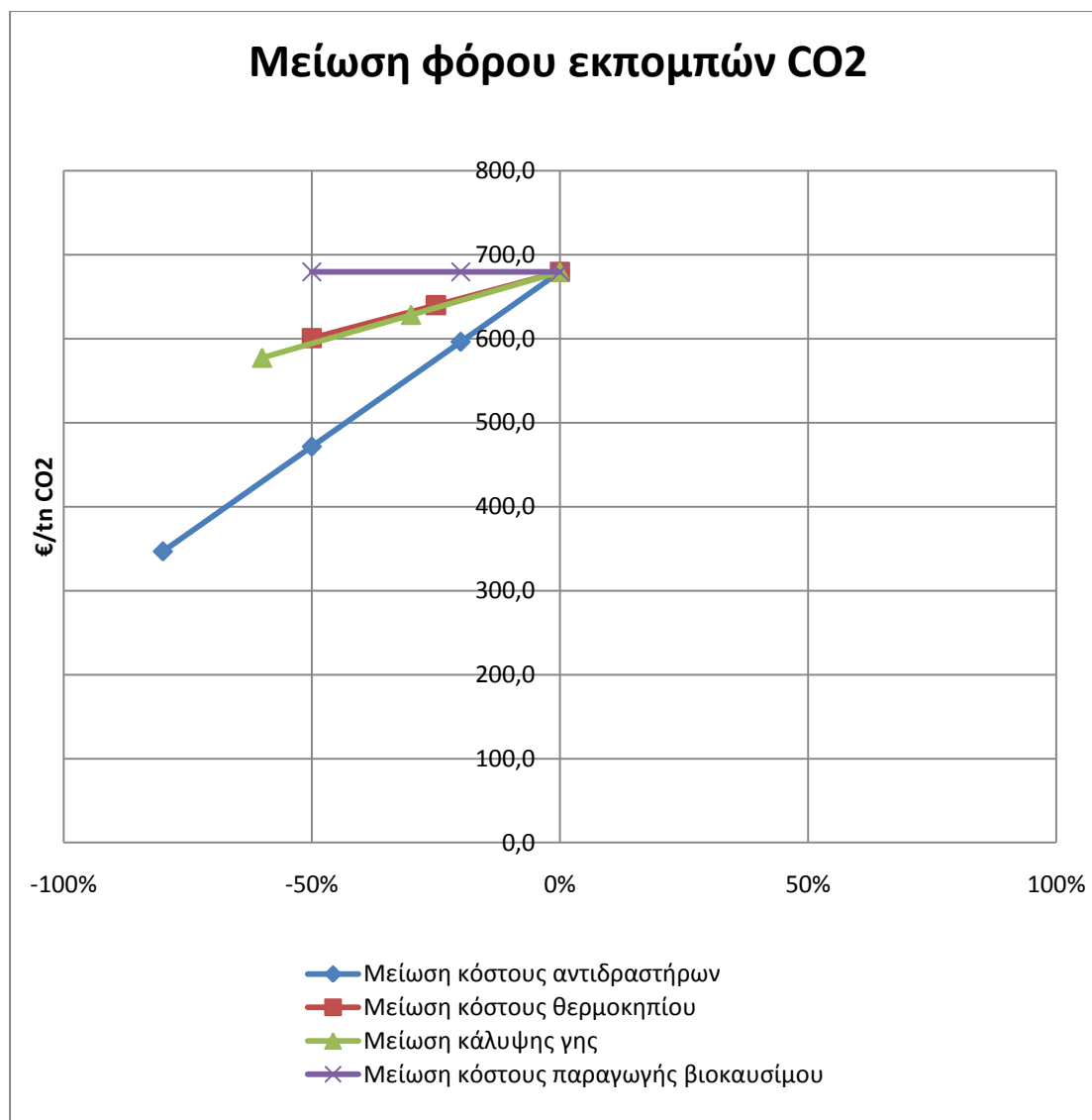
Οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατίθενται παρακάτω:

- Μείωση κόστους αντιδραστήρων κατά 20%, 50% και 80%.
- Μείωση κόστους θερμοκηπίου κατά 50% και 75%.
- Μείωση έκτασης κυβικού μέτρου διαλύματος κατά 30% και 60%.
- Μείωση του κόστους παραγωγής biodiesel κατά 25% και 50%.

Τέλος μελετήθηκε η περίπτωση ταυτόχρονης μείωσης του κόστους αντιδραστήρων κατά 80% και του κόστους παραγωγής βιοκαυσίμου κατά 25%.

Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις θα επαναυπολογιστεί η παρούσα αξία της επένδυσης και λειτουργίας της εγκατάστασης . Στην συνέχεια θα υπολογιστεί πάλι η απαραίτητη τιμή του φόρου διοξειδίου του άνθρακα καθώς και η τιμή πώλησης του κυβικού βιοκαυσίμου ώστε οι παρούσες αξίες των περιπτώσεων αυτών να συμπίπτουν με τις προηγούμενα υπολογισμένες παρούσες αξίες της εγκατάστασης. Στην μελέτη θα παρουσιαστούν τα τελικά αποτελέσματα καθώς και το ποσοστό μείωσης των τιμών αυτών σε σχέση με τον αρχικό υπολογισμό της επένδυσης σε πίνακες του παραρτήματος.

Συνολικά τα αποτελέσματα θα δοθούν σε μορφή διαγράμματος (διάγραμμα 23) για την τελευταία περίπτωση δέσμευσης 33,33% διοξειδίου του άνθρακα.



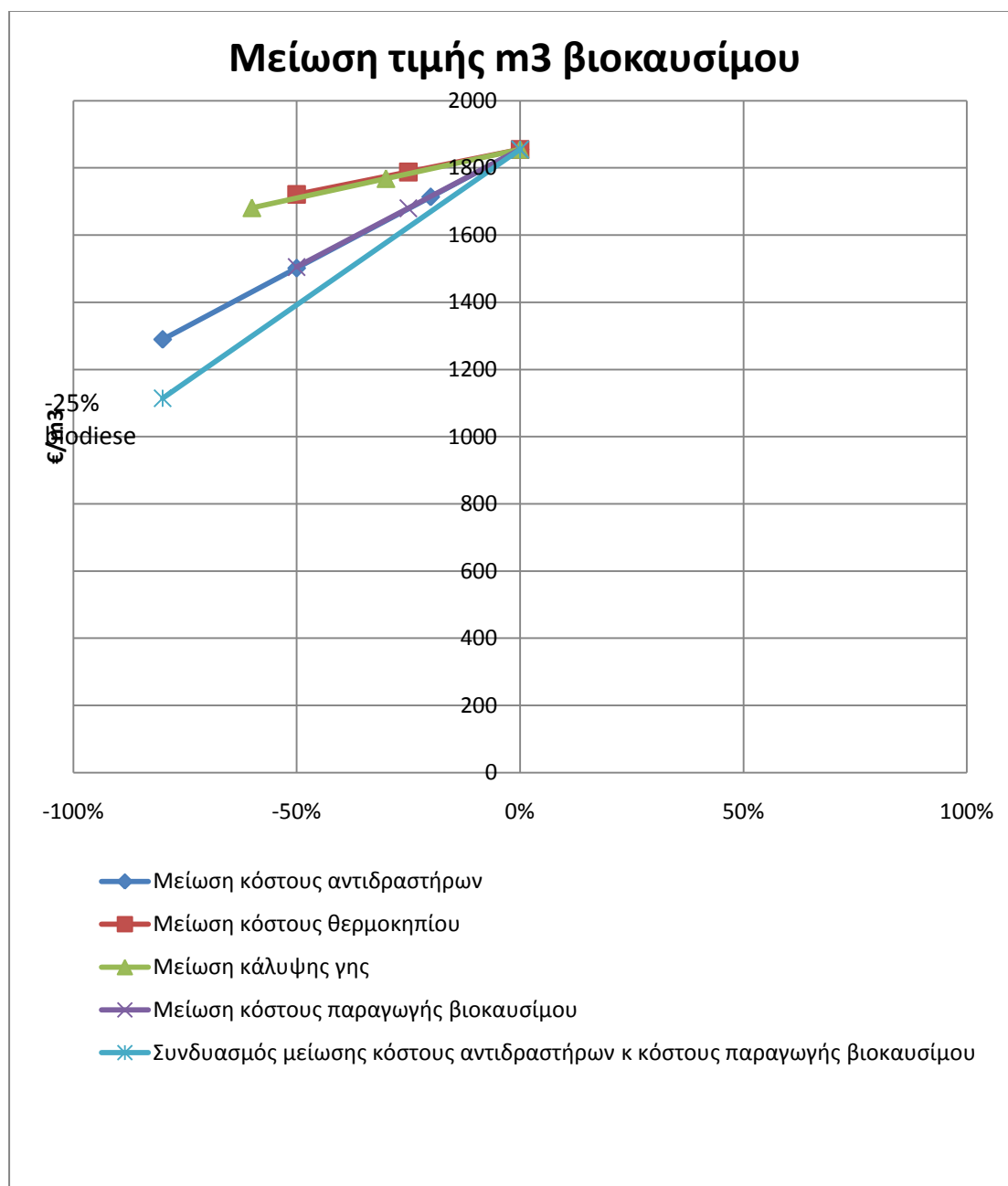
Διαγρ.23 Μείωση φόρου εκπομπών CO<sub>2</sub> συναρτήσσει αλλαγών κόστους εξοπλισμού και λειτουργίας.

Στην περίπτωση μείωσης αποκλειστικά του κόστους παραγωγής δεν παρατηρείται, όπως είναι αναμενόμενο άλλωστε, καμία αλλαγή στην περίπτωση δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα.

Παρατηρείται πως η μεγαλύτερη μείωση κόστους, στην δέσμευση του διοξειδίου, παρατηρείται στις περιπτώσεις μείωσης κόστους αντιδραστήρων και κόστους θερμοκηπίου, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο. Η αλλαγή στην κάλυψη του όγκου του διαλύματος επιφέρει μεν αλλαγές χωρίς όμως αυτές να είναι αρκετά μεγάλες.

Στην περίπτωση της παραγωγής βιοκαυσίμου μεγαλύτερη επιρροή στην ,μείωση του κόστους άσκησαν τόσο η μείωση του κόστους αντιδραστήρων όσο και το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου. Φυσικά η συνδυαστική περίπτωση παρουσιάζει την μεγαλύτερη μείωση (39%). Οι λοιπές περιπτώσεις δεν

εμφανίζουν κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Συγκεντρωτικά οι πέντε περιπτώσεις δίνονται στο διάγραμμα 24.



Διαγρ.24 Μείωση τιμής κυβικού μέτρου βιοκαυσίμου συναρτήσει αλλαγών κόστους εξοπλισμού και λειτουργίας.

#### 8.5. Υπολογισμός κόστους εξοπλισμού θεωρώντας δεδομένη την τιμή πώλησης m<sup>3</sup> βιοκαυσίμου.

Παρά τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν δεν παρουσιάστηκε μια ικανοποιητική μείωση της τιμής του τόνου διοξειδίου του άνθρακα ή της τιμής πώλησης του βιοκαυσίμου. Κλείνοντας αυτήν την μελέτη θα παρουσιαστεί μια

ανάποδη προσέγγιση του κόστους εγκατάστασης. Δηλαδή θα αναφερθούν οι τιμές που θα πρέπει να λάβουν μερικές παράμετροι κόστους στην εγκατάσταση ώστε να είναι «συμφέρουσα» η επένδυση αυτή.

Η προσέγγιση αυτή θα γίνει αποκλειστικά για την παραγωγή βιοκαυσίμου. Η μελέτη της εναλλακτικής περίπτωσης, δηλαδή της δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να φανεί ευνοϊκότερη καθώς η διαφορά μεταξύ των παρουσών αξιών είναι πάρα πολύ μεγάλη. Ακόμα και αν ο φόρος που καλείται η ΔΕΗ να πληρώσει, διπλασιαστεί, η διαφορά παραμένει σε υψηλά επίπεδα, μη αφήνοντας περιθώρια για περίπτωση προσέγγισης των δύο τιμών.

Σε αυτήν λοιπόν την περίπτωση πέντε ήταν οι βασικές παράμετροι που τροποποιήθηκαν. Αρχικά το κόστος γης εξαλείφτηκε, σε κάθε περίπτωση θεωρώντας πως είναι δυνατόν να παραληφθεί δεδομένου της ιδιοκτησίας εκτάσεων από την εταιρία της ΔΕΗ.

Τα υπόλοιπα κόστη, δηλαδή του εξοπλισμού, της σωλήνωσης, της λειτουργίας εγκατάστασης παραγωγής βιοκαυσίμου και του θερμοκηπίου, μειώθηκαν δημιουργώντας τρία διαφορετικά σενάρια. Οι υπόλοιπες παράμετροι του κόστους επένδυσης εξαρτώνται άμεσα από το κόστος εξοπλισμού συνεπώς με την μείωση αυτού καλύπτονται και αυτές, ενώ το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης θεωρήθηκε ότι δεν μπορεί να μειωθεί καθώς αποτελεί έναν εξωτερικό παράγοντα, για παράδειγμα κόστος νερού, μισθοδοσία κλπ.

Τα τρία σενάρια παρατίθενται παρακάτω συνοπτικά:

- (Α) Μείωση κόστους εξοπλισμού και σωλήνωσης κατά 75%, μείωση κόστους παραγωγής βιοκαυσίμου κατά 55%, μείωση κόστους θερμοκηπίου κατά 65%.
- (Β) Μείωση κόστους εξοπλισμού και σωλήνωσης κατά 90%, μείωση κόστους παραγωγής βιοκαυσίμου κατά 67%, μείωση κόστους θερμοκηπίου κατά 15%.
- (Γ) Μείωση κόστους εξοπλισμού και σωλήνωσης κατά 50%, μείωση κόστους παραγωγής βιοκαυσίμου κατά 80%, μείωση κόστους θερμοκηπίου κατά 85%.

Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις η παρούσα αξία της επένδυσης είναι ίση με αυτήν των εσόδων από την πώληση βιοκαυσίμου. Το νέο κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου καθώς και θερμοκηπίου αποτελεί μέτρο σύγκρισης πλέον για την επένδυση. Τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά δίνονται στα στους πίνακες 67-69 και στο διάγραμμα 25.

Όσον αφορά την μείωση του κόστους εξοπλισμού αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη που απαρτίζουν τον εξοπλισμό, μειώνοντας έτσι το κόστος τους κατά το αντίστοιχο ποσοστό κάθε σεναρίου, ή μπορεί να αποδοθεί μόνο στους αντιδραστήρες οι οποίοι και αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του κόστους εξοπλισμού. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση δίνονται οι τιμές ανά αντιδραστήρα.

Σημειώνεται ότι στο Σενάριο (B) δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός αντίστοιχης τιμής καθότι η αρχική μείωση του εξοπλισμού κατά 90% δεν το επιτρέπει.

Πιν.67, Μέγιστο κόστος θερμοκηπίου σε διαφορετικά σενάρια μείωσης του αρχικού του κόστους.

| <b>Κόστος θερμοκηπίου (€/m<sup>2</sup>)</b> |      |      |               |
|---|------|------|---------------|
| <b>Σενάριο</b>                              |      |      |               |
| A   | B    | Γ    | Αρχικό κόστος |
| 49,6  | 21,2 | 21,2 | 141,7         |

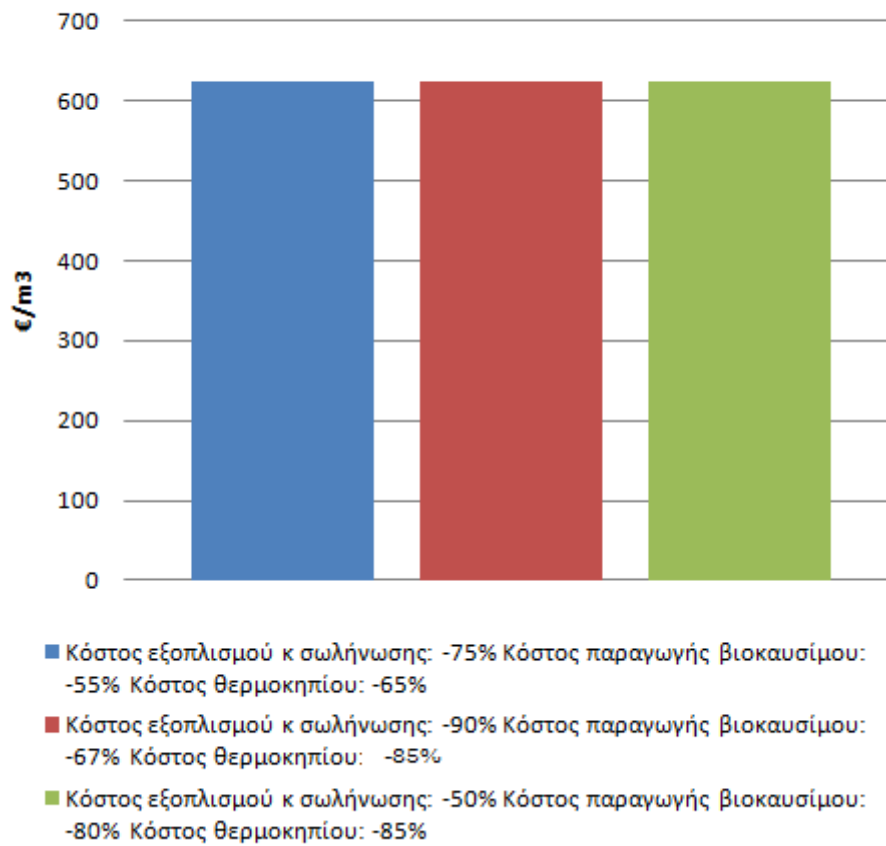
Πιν.68, Μέγιστο κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου σε διαφορετικά σενάρια μείωσης του αρχικού του κόστους.

| <b>Κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου (€/lt)</b> |       |      |               |
|--|-------|------|---------------|
| <b>Σενάριο</b>                             |       |      |               |
| A  | B     | Γ    | Αρχικό κόστος |
| 0,315                                      | 0,469 | 0,14 | 0,7           |

Πιν.69, Μέγιστο κόστος αντιδραστήρων σε διαφορετικά σενάρια μείωσης του αρχικού τους κόστους.

| <b>Κόστος Αντιδραστήρων (€/τεμ.)</b> |       |               |
|--------------------------------------|-------|---------------|
| <b>Σενάριο</b>                       |       |               |
| A                                    | Γ     | Αρχικό κόστος |
| 62,8                                 | 209,1 | 522,8         |

## Σενάρια μείωσης κόστους επένδυσης με σταθερή τιμή βιοκαυσίμου



Διαγρ.25 Σενάρια μείωσης κόστους επένδυσης με σταθερή τιμή βιοκαυσίμου ,  
ίση με 625 €/m<sup>3</sup>.

## 9. Συμπεράσματα

Η εγκατάσταση που μελετήθηκε στις προηγούμενες σελίδες αποτελεί μια μονάδα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα και παραγωγής βιοκαυσίμου. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιεί ως μέσο δέσμευσης διάλυμα μικροαλγών. Οι μικροάλγεις αποτελούν φυτικούς οργανισμούς ανθεκτικούς σε ακραίες συνθήκες, όπως αυξημένη περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα και υψηλές θερμοκρασίες ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά δεσμευτικής ικανότητας σε σχέση με τα συμβατικά φυτά. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά τις καθιστούν ικανές να δεσμεύσουν το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο βρίσκεται στα καυσαέρια μιας ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας.

Στόχος λοιπόν της μελετώμενης εγκατάστασης είναι η οδήγηση των καυσαερίων από μια παρόμοια μονάδα, μέσω αγωγού, σε διάλυμα μικροαλγών. Ο τρόπος ανάπτυξης της καλλιέργειας δεν είναι μοναδικός. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μελετήθηκε η χρήση αντιδραστήρων με διαφανή τοιχώματα, εύκαμπτο σχήμα και σχετικά μικρή διατομή. Το διάλυμα των μικροαλγών εμπλουτίζεται με τα καυσαέρια, αρχικά σε δεξαμενές και στην συνέχεια κυκλοφορεί μέσα στους αντιδραστήρες. Οι αντιδραστήρες χρησιμοποιούν ως μέσο ανάδευσης τον αέρα που παρέχεται στην καλλιέργεια μέσω δικτύου αγωγών. Η κυκλοφορία του διαλύματος πραγματοποιείται με την βοήθεια περισταλτικών αντλιών. Η εγκατάσταση στεγάζεται σε μια συμβατική κατασκευή θερμοκηπίου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η άμεση επαφή της ηλιακής ενέργειας με τις μικροάλγεις, και να είναι δυνατή η διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Τα καυσαέρια απάγονται από την μονάδα «καθαρά» και πάλι μέσα από ένα σύστημα αγωγών.

Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό των μικροαλγών το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί στην εγκατάσταση είναι η μεγάλη τους αυξητική ικανότητα, καθώς έχουν την δυνατότητα διπλασιασμού τους σε πολύ μικρό χρόνο, καθώς και η μεγάλη περιεκτικότητά τους σε λιπίδια. Για τον λόγο αυτό στο κύκλωμα του διαλύματος μελετήθηκε η τοποθέτηση διαχωριστή ο οποίος θα διαχωρίζει τμήμα των ανεπτυγμένων μικροαλγών, το οποίο στην συνέχεια θα κατευθύνεται σε μια δεύτερη μονάδα. Η μονάδα αυτή θα χρησιμοποιεί τις μικροάλγεις ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμου, καθώς αυτές όπως προαναφέρεται, αποτελούνται σε ποσοστό έως 75% από λιπίδια.

Για την περιγραφόμενη εγκατάσταση υπολογίστηκε το κόστος επένδυσης καθώς και το κόστος λειτουργίας. Τα κόστη αυτά υπολογίστηκαν για συνολικά δέκα διαφορετικά σενάρια. Η παράμετρος που δεν παρέμεινε σταθερή σε κάθε ένα από αυτά είναι αρχικά η έκταση της εγκατάστασης, υπολογίζοντας συνολικά πέντε διαφορετικές εκτάσεις – 1.000, 500.000, 1.000.000, 3.348.000 και 6.695.957 m<sup>2</sup>- καθώς και το ενδεχόμενο ή όχι ύπαρξης μονάδας παραγωγής βιοκαυσίμου.



Το κόστος επένδυσης επιμερίστηκε σε κόστος εξοπλισμού, κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού, κόστος κτηριακών εγκαταστάσεων, κόστος γης, και λοιπά κόστη όπως ηλεκτρολογική εγκατάσταση, Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, νομικά έξοδα, τεχνική μελέτη και επίβλεψη κ.α. Τα κόστη λειτουργίας αποτελούνται από το κόστος εργαζομένων, το κόστος ηλεκτρισμού και νερού, το κόστος συντήρησης καθώς και το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου, σε όσα σενάρια αυτό είναι απαραίτητο.

Για κάθε ένα από τα περιγραφόμενα σενάρια υπολογίστηκε η παρούσα αξία του, έχοντας ως χρονικό ορίζοντα λειτουργίας τα είκοσι χρόνια. Στην συνέχεια, αφού υπολογίστηκαν οι παρούσες αξίες δαπανών σε φόρους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και εσόδων από την πώληση βιοκαυσίμου, πραγματοποιήθηκε σύγκριση τους. Λόγω της μεγάλης διαφοράς κόστους που εμφανίστηκε, καθώς η μελετώμενη εγκατάσταση σε κάθε περίπτωση αποτελεί μια πολύ ακριβή επένδυση, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας κάθε σεναρίου.

Πριν την επιλογή των παραμέτρων για την ανάλυση αυτή υπολογίστηκαν οι ποσοτώσεις των επιμέρους στοιχείων κόστους ώστε να είναι δυνατή η σωστή επιλογή των παραμέτρων αυτών. Τελικά οι παράμετροι που επιλέχτηκαν είναι το κόστος αντιδραστήρων, το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου, το κόστος θερμοκηπίου καθώς και η κάλυψη επιφάνειας του διαλύματος μικροαλγών.

Για την σύγκριση των αρχικών τιμών σεναρίων καθώς και αυτών που υπολογίστηκαν μετά την τροποποίηση των παραπάνω παραμέτρων, υπολογίστηκε για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια η τιμή που θα έπρεπε να έχει ο φόρος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθώς και το κυβικό μέτρο βιοκαυσίμου ώστε η εγκατάσταση να θεωρείται συμφέρουσα.

Τέλος θεωρώντας τις παραπάνω τιμές σταθερές και ίσες με τις αρχικά χρησιμοποιούμενες τιμές, υπολογίστηκαν οι τιμές αντιδραστήρων, θερμοκηπίου καθώς και το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου ώστε η επένδυση να θεωρείται και πάλι «συμφέρουσα».

Σύμφωνα με την οικονομική ανάλυση και την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε τελικά φαίνεται πως τα βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το κόστος της επένδυσης και λειτουργίας είναι το κόστος αντιδραστήρων και το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου. Για να είναι λοιπόν περισσότερο εφικτή η επένδυση θα πρέπει το κόστος αυτό να μειωθεί έως και 75%.

**Παρ' όλ' αυτά, το γεγονός που καθίσταται σαφές στην μελέτη αυτή είναι πως η λειτουργία μιας παρόμοιας εγκατάστασης, με μοναδικό σκοπό την δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα, δεν είναι δυνατόν να συμφέρει. Το παραπάνω συμβαίνει διότι η παρούσα αξία της εγκατάστασης ξεπερνά κατά πολύ την αντίστοιχη παρούσα αξία των φόρων εκπομπών, χωρίς να είναι δυνατός ο μηδενισμός της ολικής παρούσας αξίας του σεναρίου σε καμία περίπτωση.**

**Αντιθέτως, η λειτουργία της εγκατάστασης ως μέσω παραγωγής βιομάζας είναι πιθανότερο να αποδώσει μηδενική παρούσα αξία. Αυτό συμβαίνει διότι η παρούσα αξία της επένδυσης και λειτουργίας της εγκατάστασης είναι δυνατόν να αντισταθμίσει την παρούσα αξία των εσόδων από την πώληση του βιοκαυσίμου, με αποτέλεσμα τον μηδενισμό της ολικής παρούσας αξίας του σεναρίου. Όπως αναφέρεται και παραπάνω η περίπτωση αυτή είναι δυνατόν να επιτευχθεί με μείωση του κόστους εξοπλισμού.**

Βάση λοιπόν των αποτελεσμάτων αυτών, επόμενες μελέτες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στο κόστος αντιδραστήρων με σκοπό την εύρεση τρόπου μείωσης του, διατηρώντας τα αρχικά χαρακτηριστικά του. Παρόμοια τακτική προτείνεται και για την μείωση του κόστους παραγωγής βιοκαυσίμου, ώστε να μειωθούν τα κόστη λειτουργίας μιας παρόμοιας εγκατάστασης.

Τέλος αναφέρεται πως είναι δυνατή η μελέτη, τεχνική και οικονομική, μιας παρόμοιας εγκατάστασης η οποία όμως θα χρησιμοποιεί επιπλέον σύστημα δέσμευσης και αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας έτσι ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία της εγκατάστασης όλο το 24ωρο. Με αυτόν τον τρόπο θα αυξηθούν σημαντικά (έως και 60%) οι ποσότητες δεσμευόμενου διοξειδίου του άνθρακα καθώς και η ποσότητα παραγόμενου βιοκαυσίμου. Με τον τρόπο αυτό θα παρουσιαστεί μιν αύξηση του κεφαλαίου επένδυσης αλλά θα υπάρξει ταυτόχρονη αύξηση κερδών από την πώληση βιοκαυσίμου η οποία μπορεί να καλύψει την οικονομική διαφορά του κόστους επένδυσης.

Καταλήγοντας σε ένα γενικό συμπέρασμα, είναι δυνατόν να λεχθεί πως η παραπάνω περιγραφόμενη μέθοδος αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη διεργασία που μπορεί να αποφέρει τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά οφέλη, κάνοντας την έτσι και πιο ελκυστική στους δυνητικούς εφαρμογείς της.

Η εφαρμογή και λειτουργία της βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο καθώς το κόστος της είναι αρκετά υψηλό και δύσκολα μπορεί να συναγωνιστεί διαφορετικά σενάρια. Παρ' ολ' αυτά δεν παύει να αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο καθώς πέραν των οικονομικών οφελών που μπορεί να αποφέρει είναι ένα φυσικό μέσο δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα.

Ιδιαίτερα στην Ελλάδα η λειτουργία μιας παρόμοιας εγκατάστασης όχι μόνο θα βοηθήσει στην δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα αλλά το παραγόμενο βιοκαύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη για τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν στην νησιωτική χώρα και καίνε πετρέλαιο. Σύμφωνα με υπολογισμούς οι σταθμοί του Αιγαίου, εγκατεστημένης ισχύος 1557 MW, καταναλώνουν 381.960 τόνους πετρελαίου που μπορεί να αντικατασταθεί με 799.061 τόνους βιοκαυσίμου, ή 908.024 κυβικά μέτρα ανά έτος. Η ποσότητα αυτή είναι δυνατόν να παραχθεί κατά την λειτουργία δύο παρόμοιων μονάδων με αυτήν που περιγράφηκε στην παρούσα μελέτη.

Αξίζει να γραφεί πως σύμφωνα με μια μελέτη του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, του Πανεπιστημίου του Monash (Clayton, Australia), η μέθοδος

αυτή θα ξεκινήσει την δυναμική εφαρμογή της το 2020, με το απόγειο της να παρατηρείται την πενταετία 2030- 2035, ενώ η πτώση της θα αρχίζει να σημειώνεται το 2080 όπου, σύμφωνα πάντα με την μελέτη, η χρήση της ηλιακής και πυρηνικής ενέργειας θα είναι πολύ πιο ευρεία (αγγίζοντας το 20% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας)<sup>3</sup>.

## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Microalgae for biodiesel production and other applicayions: A review», Teresa M. Mata, Antonio A. Martins, Nidia S. Caetano
2. «A process model to estimate biodiesel production costs», Michael J. Haas, Andrew J. McAloon, Winnie C. Yee, Thomas A. Foglia
3. «A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration—the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach», Caleb Stewart, Mir-Akbar Hessami
4. «CARBON DIOXIDE SEQUESTERING USING MICROALGAL SYSTEMS», U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory
5. «Capture and Sequestration of CO<sub>2</sub> From Stationary Combustion Systems by Photosynthesis of Microalgae», Takashi Nakamura, Miguel Olaizola, Stephen Masutani
6. «Algae, an annoying growth, or green bioenergy gold?», Sam A. Rushing
7. «Bio-Fuel and CO<sub>2</sub> Capture by Algae», Ami Ben-Amotz NASA November 20, 2008
8. «Carbon dioxide Capture & Storage in Emerging Economics», Dr. B. Kumar
9. «Carbon Dioxide Capture with Algae», Mark Rasmussen Ph.D.
10. «Chemical Fixation of CO<sub>2</sub> in Coal Combustion Products and Recycling Through Biosystems», Annual Technical Progress Report, TENNESSEE VALLEY AUTHORITY Public Power Institute, 2002
11. «Invention of outdoor closed type photobioreactor for microalgae», Toru Sato , Shinsuke Usui , Yoshihiro Tsuchiya , Yutaka Kondo
12. «Microalgal photobioreactors: Scale up and optimization», Dr.Ir.J. Tramper
13. «Photobioreactor Engineering: Design and Performance, In Soo Suh, Choul-Gyun Lee
14. «Microalgae Production from Power Plant Flue Gas: Environmental Implications on a Life Cycle Basis», Kiran L. Kadam, National Renewable Energy Laboratory
15. «Microalgae immobilization: Current techniques and uses», Ignacio Moreno-Garrido
16. «Chemical Fixation of CO<sub>2</sub> in Coal Combustion Products and Recycling Through Biosystems», Annual Technical Progress Report, TENNESSEE VALLEY AUTHORITY Public Power Institute, 2003

17. «Isolation and selection of microalgae from coal fired thermoelectric power plant for biofixation of carbon dioxide», Michele Greque de Morais, Jorge Alberto Vieira Costa
18. «Microalgal removal of CO<sub>2</sub> from flue gases: CO<sub>2</sub> capture from a coal combustor», M Olaizola, T Bridges, S Flores, L Griswold, J Morency, T. Nakamura
19. «RWE's algae project in Bergeim-Niederaussem, production of microalgae using power plant flue gases to bind CO<sub>2</sub>»
20. «Plant Design and Economics for Chemical Engineers», Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West
21. [http://www.indpipe.com/images/PDF/stainless\\_steel\\_pipe\\_specification.pdf](http://www.indpipe.com/images/PDF/stainless_steel_pipe_specification.pdf)
22. «BIODIESEL—A Technology Performance and Regulatory Review.» American Biofuels Association & Information Resources, Inc., 1994.
23. «A pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks.» Canakci, M., Van Gerpen, J., 2001.
24. «Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines.» Graboski, M.S., McCormick, R.L., 1998.
25. <http://www.mhhe.com/peters-timmerhaus/>
26. <http://www.greenhousemegastore.com/>
27. «Chemical Process Equipment, Selection and Design», Stanley M. Wallas
28. «Carbon Dioxide and Microalgae», Kurano, Sasaki, Miyachi
29. «Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης», Ξενοφών Κακατσιός, Καθηγητής ΕΜΠ
30. «Perry's Handbook»
31. «Economic feasibility review for community-scale farmer cooperatives for biodiesel.» Bender, M., 1999
32. «Συστημική Μεθοδολογία και Τεχνική Οικονομική», Δημήτριος Χ. Παναγιωτακόπουλος
33. «Conceptual study of distributed CO<sub>2</sub> capture and the sustainable carbon economy», David L. Damm, Andrei G. Fedorov
34. «POWER PLANT FLUE GAS AS A SOURCE OF CO<sub>2</sub> FOR MICROALGAE CULTIVATION: ECONOMIC IMPACT OF DIFFERENT PROCESS OPTIONS», KIRAN L. KADAM
35. «Photobioreactors for mass cultivation of algae», C.U. Ugwu , H. Aoyagi, H. Uchiyama

## 11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πιν.α, Σύγκριση τιμών φόρου CO<sub>2</sub> και τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης κόστους αντιδραστήρων.

| Αντιδραστήρες |                 | Δέσμευση CO <sub>2</sub>       |                |                |                | Παραγωγή biodiesel                   |                |                |                |
|---------------|-----------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|               |                 | Αρχική τιμή tn CO <sub>2</sub> | Μείωση PBR 20% | Μείωση PBR 50% | Μείωση PBR 80% | Αρχική τιμή m <sup>3</sup> biodiesel | Μείωση PBR 20% | Μείωση PBR 50% | Μείωση PBR 80% |
|               | €/tn (1000)     | 861                            | 776            | 650            | 523            | 2163                                 | 2020           | 1805           | 1590           |
|               | €/tn (5000 00)  | 680                            | 597            | 472            | 347            | 1856                                 | 1714           | 1502           | 1290           |
|               | €/tn (1000 000) | 679                            | 596            | 471            | 346            | 1855                                 | 1713           | 1501           | 12895          |
|               | €/tn (3348 000) | 679                            | 596            | 471            | 346            | 1854                                 | 1713           | 1501           | 1289           |
|               | €/tn (6695 957) | 679                            | 596            | 471            | 346            | 1854                                 | 1713           | 1501           | 1289           |

Πιν.β, Σύγκριση ποσοστών μείωσης τιμών φόρου CO<sub>2</sub> και τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης κόστους αντιδραστήρων.

| Αντιδραστήρες | Δέσμευση CO <sub>2</sub>     |                              |                              | Παραγωγή biodiesel           |                              |                              |
|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|               | Ποσοστό μείωσης (μείωση 20%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 50%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 80%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 20%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 50%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 80%) |
|               | 9,80%                        | 24,49%                       | 39,19%                       | 6,63%                        | 16,57%                       | 26,51%                       |
|               | 12,23%                       | 30,58%                       | 48,92%                       | 7,62%                        | 19,05%                       | 30,47%                       |
|               | 12,24%                       | 30,60%                       | 48,97%                       | 7,62%                        | 19,06%                       | 30,49%                       |
|               | 12,24%                       | 30,61%                       | 48,98%                       | 7,62%                        | 19,06%                       | 30,50%                       |
|               | 12,24%                       | 30,61%                       | 48,98%                       | 7,62%                        | 19,06%                       | 30,49%                       |

Πιν.γ, Σύγκριση τιμών φόρου CO<sub>2</sub> και τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης κάλυψης επιφάνειας ανά κυβικό μέτρο διαλύματος μικροαλγών.

| Κάλυψη γης     | Δέσμευση CO <sub>2</sub> |                        |                        | Παραγωγή biodiesel |                        |                        |
|----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
|                | Αρχική τιμή              | Μείωση κάλυψης γης 30% | Μείωση κάλυψης γης 60% | Αρχική τιμή        | Μείωση κάλυψης γης 30% | Μείωση κάλυψης γης 60% |
| €/tn (1000)    | 861,3                    | 810,2                  | 759,0                  | 2164               | 2077,1                 | 1990,2                 |
| €/tn (500000)  | 680,2                    | 629,1                  | 578,0                  | 1856,2             | 1769,3                 | 1682,4                 |
| €/tn (1000000) | 679,6                    | 628,5                  | 577,4                  | 1855,2             | 1768,3                 | 1681,5                 |
| €/tn (3348000) | 679,4                    | 628,3                  | 577,2                  | 1854,9             | 1768                   | 1681,1                 |
| €/tn (6695957) | 679,4                    | 628,3                  | 577,2                  | 1854,9             | 1768                   | 1681,2                 |

Πιν.δ, Σύγκριση ποσοστών μείωσης τιμών φόρου CO<sub>2</sub> και τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης κάλυψης επιφάνειας ανά κυβικό μέτρο διαλύματος μικροαλγών.

| Κάλυψη γης | Δέσμευση CO <sub>2</sub>     |                              | Παραγωγή biodiesel           |                              |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|            | Ποσοστό μείωσης (μείωση 30%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 60%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 30%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 60%) |
|            | 5,94%                        | 11,87%                       | 4,02%                        | 8,03%                        |
|            | 7,51%                        | 15,03%                       | 4,68%                        | 9,36%                        |
|            | 7,52%                        | 15,04%                       | 4,68%                        | 9,36%                        |
|            | 7,52%                        | 15,04%                       | 4,68%                        | 9,37%                        |
|            | 7,52%                        | 15,04%                       | 4,68%                        | 9,37%                        |

Πιν.ε, Σύγκριση τιμών φόρου CO<sub>2</sub> και τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης του κόστους θερμοκηπίου.

| Θερμοκήπιο     | Δέσμευση CO <sub>2</sub> |                              |                              | Παραγωγή biodiesel |                              |                              |
|----------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|
|                | Αρχική τιμή              | Μείωση τιμής Θερμοκηπίου 25% | Μείωση τιμής Θερμοκηπίου 50% | Αρχική τιμή        | Μείωση τιμής Θερμοκηπίου 25% | Μείωση τιμής Θερμοκηπίου 50% |
| €/tn (1000)    | 861,3                    | 821,9                        | 782,4                        | 2164               | 2152,5                       | 2030                         |
| €/tn (500000)  | 680,2                    | 640,8                        | 601,3                        | 1856,2             | 1789,2                       | 1722,2                       |
| €/tn (1000000) | 679,6                    | 640,2                        | 600,8                        | 1855,2             | 1788,2                       | 1721,2                       |
| €/tn (3348000) | 679,4                    | 640,0                        | 600,6                        | 1854,9             | 1787,9                       | 1720,9                       |
| €/tn (6695957) | 679,4                    | 640,0                        | 600,6                        | 1854,9             | 1787,9                       | 1720,9                       |

Πιν.στ, Σύγκριση ποσοστών μείωσης τιμών φόρου CO<sub>2</sub> και τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης του κόστους θερμοκηπίου.

| Θερμοκήπιο | Δέσμευση CO <sub>2</sub>     |                              | Παραγωγή biodiesel           |                              |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|            | Ποσοστό μείωσης (μείωση 25%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 50%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 25%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 50%) |
|            | 4,58%                        | 9,15%                        | 0,53%                        | 6,19%                        |
|            | 5,80%                        | 11,59%                       | 3,61%                        | 7,22%                        |
|            | 5,80%                        | 11,60%                       | 3,61%                        | 7,22%                        |
|            | 5,80%                        | 11,60%                       | 3,61%                        | 7,22%                        |
|            | 5,80%                        | 11,60%                       | 3,61%                        | 7,22%                        |



Πιν.ζ, Σύγκριση τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης του κόστους παραγωγής του.

| Κόστος παραγωγής βιοκαυσίμου | Παραγωγή biodiesel |  |  |                              |                              |  |
|------------------------------|--------------------|--|--|------------------------------|------------------------------|--|
|                              | Αρχική τιμή        | Μείωση τιμής παραγωγής βιοκαυσίμου 25% | Μείωση τιμής παραγωγής βιοκαυσίμου 50% | Ποσοστό μείωσης (μείωση 25%) | Ποσοστό μείωσης (μείωση 50%) |  |
| €/m <sup>3</sup> (1000)      | 2164               | 1989                                   | 1814                                   | 8,09%                        | 16,17%                       |  |
| €/ m <sup>3</sup> (500000)   | 1856,2             | 1681,2                                 | 1506,2                                 | 9,43%                        | 18,86%                       |  |
| €/ m <sup>3</sup> (1000000)  | 1855,2             | 1680,2                                 | 1505,2                                 | 9,43%                        | 18,87%                       |  |
| €/ m <sup>3</sup> (3348000)  | 1854,9             | 1679,9                                 | 1504,9                                 | 9,43%                        | 18,87%                       |  |
| €/ m <sup>3</sup> (6695957)  | 1854,9             | 1679,9                                 | 1504,9                                 | 9,43%                        | 18,87%                       |  |

Πιν.η, Σύγκριση τιμών και ποσοστών μείωσης φόρου CO<sub>2</sub> και τιμής βιοκαυσίμου σε περιπτώσεις μείωσης του κόστους παραγωγής βιοκαυσίμου και του κόστους αντιδραστήρων.

|                | Δέσμευση CO <sub>2</sub> |  |                         |                 | Παραγωγή biodiesel |  |                         |                 |
|----------------|--------------------------|--|-------------------------|-----------------|--------------------|--|-------------------------|-----------------|
|                | Αρχική τιμή              | Μείωση τιμής PBR 80% παραγωγή βιοκαυσίμου κατά 25% | Ποσοστό επί του αρχικού | Ποσοστό μείωσης | Αρχική τιμή        | Μείωση τιμής PBR 80% παραγωγή βιοκαυσίμου κατά 25% | Ποσοστό επί του αρχικού | Ποσοστό μείωσης |
| €/tn (1000)    | 861,3                    | 523,7  | 60,81%                  | 39,19%          | 2164               | 1415,2   | 65,40%                  | 34,60%          |
| €/tn (500000)  | 680,2                    | 347,4  | 51,08%                  | 48,92%          | 1856,2             | 1115,5   | 60,10%                  | 39,90%          |
| €/tn (1000000) | 679,6                    | 346,8  | 51,03%                  | 48,97%          | 1855,2             | 1114,5   | 60,08%                  | 39,92%          |
| €/tn (3348000) | 679,4                    | 346,6  | 51,02%                  | 48,98%          | 1854,9             | 1114,2   | 60,07%                  | 39,93%          |
| €/tn (6695957) | 679,4                    | 346,6  | 51,02%                  | 48,98%          | 1854,9             | 1114,3   | 60,07%                  | 39,93%          |