



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΑΛΓΗ ΩΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ 3^{ΗΣ} ΓΕΝΙΑΣ :
ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΧΡΗΣΗ, ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

ΠΕΡΒΟΛΑΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΑΕΜ: 1369

Επιβλέπουσα: Δρ. Ραφαέλλα-Ελένη Σωτηροπούλου

ΚΟΖΑΝΗ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

Η Διπλωματική Εργασία παρουσιάστηκε ενώπιον του Διδακτικού
Προσωπικού του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Σε Μερική Εκπλήρωση των Απαιτήσεων για το Δίπλωμα του
Μηχανολόγου Μηχανικού του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ ΤΗ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΒΟΛΑΡΑΚΗ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ:

Ραφαέλλα – Ελένη Σωτηροπούλου, Λέκτορας, Επιβλέπουσα
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Μαρνέλλος Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Πανάρας Γεώργιος, Λέκτορας,
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Στους γονείς μου,

Κωνσταντίνος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ραφαέλλα – Ελένη Σωτηροπούλου, Λέκτορα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε αλλά και την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η κ. Σωτηροπούλου μου πρότεινε τον Ιούνιο του 2016 να αναλάβω την έρευνα για την Άλγη ως Βιοκαύσιμο 3^{ης} Γενιάς, την οποία αποδέχτηκα με μεγάλο ενθουσιασμό.

Τέλος, θα επιθυμούσα να επισημάνω ότι η κ. Σωτηροπούλου μου έδειξε εμπιστοσύνη και πραγματοποιώντας αρκετές πολύτιμες επεμβάσεις συμβούλεψε και κατεύθυνε το έργο μας κάνοντας την έρευνα αυτή πιο παραγωγική, αποδοτική και πολύτιμη.

Περίληψη

Στις μέρες μας η έλλειψη πετροχημικών πόρων και η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελούν δύο κρίσιμες προκλήσεις οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η σταδιακή εξάντληση των περιορισμένων αποθεμάτων πετρελαίου καθώς και η αύξηση των τιμών των καυσίμων αποτελούν σημαντικά εμπόδια στην παγκόσμια οικονομία. Επιπλέον, στη ρύπανση του περιβάλλοντος σημαντικό ρόλο έχουν και τα τεράστια ποσά εξόρυξης ορυκτών οδηγώντας έτσι στην υπερθέρμανση του πλανήτη και σε καταστροφές που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Προκειμένου να επιλυθούν αυτά τα προβλήματα έχουν ξεκινήσει να αναζητούνται εναλλακτικές λύσεις για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να αντικαταστήσουν εν μέρει τα ορυκτά καύσιμα, για τη δημιουργία μιας πιο βιώσιμης κοινωνίας και την προώθηση της οικονομικής ανάκαμψης στον κόσμο.

Η βιομάζα είναι μία από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη βιοκαυσίμων μέσω της μικροάλης. Προκειμένου να δημιουργηθεί μία βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας από μικροάλη υπάρχουν κάποιες απαιτήσεις οικολογικού περιεχομένου που πρέπει να ικανοποιηθούν όπως η εξασφάλιση ενός ισοζυγίου εκπομπής αερίων, η διατήρηση της βιοποικιλότητας, η διατήρηση της ποιότητας του τοπικού εδάφους και του αέρα, η προστασία της παραγωγής τροφίμων κ.α.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναλύσει τη σκοπιμότητα, την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα της μικροάλης ως νέα πρώτη ύλης βιομάζα. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού χρησιμοποιήθηκαν πολλές μελέτες σχετικά με τεχνολογίες καλλιέργειας και παραγωγής μικροάλης. Έγινε μία SWOT ανάλυση για να συνοψίσει τις δυνατότητες και τις αδυναμίες της μικροάλης στα πλαίσια της βιωσιμότητας. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ μικροάλης και άλλων πρώτης ύλης βιοκαυσίμων. Έγινε οικονομική ανάλυση μεταξύ του βιοκαυσίμου μικροάλης και του πετρελαίου σε ότι αφορά το κόστος παραγωγής και των τιμών αγοράς τους. Παρουσιάστηκε μία τεχνοοικονομική μελέτη για τη δημιουργία εργοστασίου παραγωγής μικροάλης στο Ηράκλειο της Κρήτης και τέλος αναλύθηκαν οι προκλήσεις και οι προοπτικές του μέλλοντος για τη βιοενέργεια από μικροάλη.

Abstract

Nowadays, the lack of petrochemical resources and the pollution of the environment are two crucial challenges that need to be overcome. The gradual depletion of limited oil stocks as well as rising fuel prices are major barriers to the global economy. In addition, large scale mineral extraction also plays an important role in environmental pollution, leading to global warming and to climate-related disasters. In order to solve these problems, alternative solutions to renewable energy have been sought, which can partially replace fossil fuels, create a more sustainable society and promote economic recovery in the world.

Biomass is one of the most important renewable energy sources. In recent years, emphasis has been placed on the development of biofuels through microalgae. In order to create a sustainable production of microalgae bioenergy, there are some ecological requirements that must be met such as ensuring a gas emission balance, preserving biodiversity, preserving the quality of local soil and air and protecting food production.

The purpose of this thesis is to analyze the feasibility, reliability and viability of microalgae as an alternate biomass source. A variety of references and studies on microalgae culture and production technologies have been used to achieve this goal. Prospective strengths and weaknesses of microalgae in terms of sustainability are summarized by a SWOT analysis, followed by a comparison between microalgae and other biofuel raw materials, along with an economic analysis between microalgae biodiesel fuel and diesel fuel in terms of production costs and purchase prices. A techno-economic study is presented for the creation of a microalgae production factory in Heraklion, Crete, and finally the challenges and future prospects for microalgae bioenergy are analyzed.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	10
2. Σκοπός και μεθοδολογία	13
3. Έννοιες της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και της άλγης	14
3.1 Μικροάλγη	14
4. Καλλιέργεια άλγης	17
4.1 Βέλτιστες βιο-περιβαλλοντικές συνθήκες	17
4.2 Μέθοδοι καλλιέργειας	18
4.3 Σύστημα ανοικτής λίμνης	19
4.3.1 Κυκλικές λίμνες	20
4.3.2 Αυλακοειδείς λίμνες	20
4.4 Σύστημα κλειστών Φωτοβιοαντιδραστήρων	23
4.4.1 Σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες	24
4.4.2 Επίπεδες πλάκες φωτοβιοαντιδραστήρων	25
4.5 Σύστημα κλειστής λίμνης	28
4.6 Διάφορες καλλιέργειες	29
4.6.1 Καλλιέργεια άλγης στην έρημο	29
4.6.2 Καλλιέργεια άλγης σε θαλάσσιο περιβάλλον	31
4.6.3 Παραγωγή άλγης σε ανοικτούς ωκεανούς	31
4.6.4 Καλλιέργεια άλγης για τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα	33
5. Τεχνολογίες παραγωγής μικροάλγης	36
5.1 Συγκομιδή μικροάλγης	36
5.1.1 Φιλτράρισμα	37
5.1.2 Φυγοκέντρωση	38
5.1.3 Επίπλευση	39
5.1.4 Κροκίδωση	40
5.1.5 Συγκομιδή μακροάλγης	41
5.2 Εξαγωγή ελαίου από Άλγη	42
5.3 Μετατροπή ενέργειας από μικροάλγη σε βιοενέργεια	43
5.3.1 Θερμοχημική μετατροπή	44
5.3.2 Βιοχημική μετατροπή	45
6. Αποτελέσματα	48
6.1 Η σύγκριση μεταξύ μικροαλγών και άλλων αποθεμάτων βιομάζας	48

6.1.1 Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς	48
6.1.2 Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς	50
6.1.3 Τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς.....	50
6.2 Οι απαιτήσεις της παραγωγής μικροάλης μεγάλης κλίμακας	52
6.3 Οικονομία της παραγωγής βιοενέργειας μικροαλγών	55
6.3.1 Μια ιδανική παραγωγή μικροαλγών μεγάλης κλίμακας.....	58
6.4 Τρέχουσα κατάσταση της παραγωγής βιοενέργειας από μικροάλη σε ορισμένες χώρες.....	59
6.5 Βιωσιμότητα.....	61
6.6 Προκλήσεις και μελλοντική εξέλιξη της ενέργειας των μικροαλγών	65
7. Τεχνοοικονομική μελέτη μονάδας παραγωγής βιοντίζελ από έλαιο μικροάλης	68
7.1 Τοποθεσία μονάδας.....	68
7.2 Κλιματικά Δεδομένα.....	70
7.3 Επιλογή μηχανικού εξοπλισμού.....	71
7.3.1 Μονάδα Καλλιέργειας.....	71
7.3.2 Μονάδα Διαχωρισμού άλης – νερού	76
7.3.3 Ξήρανση.....	77
7.3.4 Εξαγωγή Ελαίου	77
7.3.5 Μετεστεροποίηση Φυτικών Ελαίων	78
7.3.6 Προϊόντα Μονάδας	79
7.3.7 Κτιριακές Εγκαταστάσεις.....	80
7.3.8 Ανθρώπινο Δυναμικό	81
7.4 Οικονομικά στοιχεία	81
8. Συζήτηση και συμπεράσματα	85
9. Βιβλιογραφία.....	87

1. Εισαγωγή

Στις μέρες μας η έλλειψη πετροχημικών πόρων και η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελούν δύο κρίσιμες προκλήσεις οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η σταδιακή εξάντληση των περιορισμένων αποθεμάτων πετρελαίου καθώς και η αύξηση των τιμών των καυσίμων αποτελούν σημαντικά εμπόδια στην παγκόσμια οικονομία. Επιπρόσθετα, στη ρύπανση του περιβάλλοντος σημαντικό ρόλο έχουν και τα τεράστια ποσά εξόρυξης ορυκτών οδηγώντας έτσι στην υπερθέρμανση του πλανήτη και σε καταστροφές που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Προκειμένου να επιλυθούν αυτά τα προβλήματα, οι κοινωνικοί και οι βιομηχανικοί ερευνητές έχουν ξεκινήσει να αναζητούν εναλλακτικές λύσεις για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να αντικαταστήσουν εν μέρει τα ορυκτά καύσιμα, για τη δημιουργία μιας πιο βιώσιμης κοινωνίας και την προώθηση της οικονομικής ανάκαμψης στον κόσμο.

Η ενέργεια από βιομάζα ως ένας από τους εκπροσώπους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει ταχεία ανάπτυξη στον τομέα της γεωργίας και της υδατοκαλλιέργειας. Η ενέργεια από βιομάζα παράγεται συνήθως από επίγειες καλλιέργειες και θαλάσσια φύκη και έπειτα μετατρέπεται σε βιοκαύσιμο και βιοαέριο. Από το 1970 οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Βραζιλία έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν βιοκαύσιμα χρησιμοποιώντας καλαμπόκι για την παραγωγή βιοαιθανόλης πετυχαίνοντας έτσι σημαντικά αποτελέσματα.[1] Η ενέργεια από βιομάζα μπορεί όχι μόνο να μειώσει το πρόβλημα της έλλειψης ενέργειας αλλά είναι επίσης πολύ φιλικότερη για το περιβάλλον από ότι τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο οι επίγειες καλλιέργειες (πρώτες ύλες 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς βιοκαυσίμων) θέτουν νέες προκλήσεις όπως η κατάληψη της καλλιεργήσιμης γης που οδηγεί σε επισιτιστική κρίση. Έτσι μία από τις πιο σοβαρές ανησυχίες σχετικά με την αειφορία σήμερα είναι η απαίτηση σε γη για την παραγωγή τροφίμων για έναν συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό. Υπάρχουν κατά μέσο όρο 25000 άνθρωποι που πεθαίνουν από πείνα κάθε μέρα στον κόσμο, σύμφωνα με έκθεση του FAO. (FAO, 2003) Με άλλα λόγια, υπάρχει ένας θάνατος από πείνα κάθε 3,4 δευτερόλεπτα [2].

Η βιομάζα είναι μία από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με τη χρήση του αέρα του νερού και του εδάφους μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης παράγεται βιοενέργεια. Η βιομάζα μπορεί να εξαχθεί από φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς όπως η ζωική κοπριά, τα σκουπίδια, το ξύλο, η καλλιέργεια τροφίμων, τα θαλάσσια φύκια κ.α. Τα κύρια πλεονεκτήματα της βιομάζας είναι η ανανεωσιμότητα και η μικρότερη ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα βιοκαύσιμα και τα βιοαέρια παράγονται από τη βιομάζα ως εναλλακτικά καύσιμα πετρελαίου. Προς το παρόν, σε όλο τον κόσμο, η ανάπτυξη της βιομάζας έχει γίνει σημαντικός παράγοντας για τη ρύθμιση της ενεργειακής δομής και τη μείωση των εκπομπών αερίων του

θερμοκηπίου προκειμένου να επιτευχθεί τόσο η περιβαλλοντική όσο και η οικονομική βιωσιμότητα [3].

Τα τελευταία χρόνια δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη βιοκαυσίμων μέσω της μικροάλης. Οι έρευνες για την ενέργεια από μικροάλη έχουν ξεκινήσει να υλοποιούνται σε όλο τον κόσμο. Πολλές χώρες της Αμερικής, της Ασίας και της Ευρώπης έχουν εξάγει τα δικά τους σχέδια και έρευνες για την βιοενέργεια από μικροάλη έτσι ώστε να προάγουν τη βιομηχανοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι επιστήμονες ξεκίνησαν να δίνουν μεγαλύτερη προσοχή στην ανάπτυξη μικροάλης για την εξαγωγή μεγαλύτερων ποσών ενέργειας. Η μικροάλη δεν έχει τόσο πολύπλοκη δομή, έχει γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης και υψηλή περιεκτικότητα λαδιού. Για την παραγωγή άλης χρειάζεται λιγότερη καλλιεργήσιμη γη ή μπορεί να καλλιεργηθεί ακόμα και σε ρηχές θάλασσες και λίμνες άμεσα, βοηθώντας έτσι στην εξοικονόμηση καλλιεργήσιμης γης για την καλλιέργεια τροφίμων. Ως εκ τούτου, η άλη είναι πιο συμφέρουσα από τα άλλα χερσαία φυτά.

Η καλλιέργεια της μικροάλης είναι το πρώτο βήμα της διαδικασίας της παραγωγής βιοενέργειας από αυτή καθώς επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως οι κλιματικές συνθήκες, οι υδάτινοι πόροι, ο ανεφοδιασμός από διοξείδιο του άνθρακα και οι μέθοδοι καλλιέργειας. Για να παραχθούν υψηλής ποιότητας πρώτες ύλες από μικροάλη μελετώνται διαφορετικές τεχνικές καλλιέργειας. Μετά την καλλιέργεια ερευνάται το κομμάτι της παραγωγής. Η τεχνολογία παραγωγής μικροάλης είναι ένα από τα πιο δύσκολα και πολύπλοκα σημεία που πρέπει να επιλυθούν συμπεριλαμβανομένου τη συγκομιδή της μικροάλης, της εξαγωγής του ελαίου και τα μέρη μετατροπής της ενέργειας. Παρόλο που οι περισσότερες από αυτές τις τεχνολογικές μεθόδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή ενέργειας από άλη αλλά και από διάφορα άλλα σπαρτά, τα αποτελέσματα έχουν κάποιες διαφορές μεταξύ της θαλάσσιας άλης και των χερσαίων καλλιεργειών, όπως είναι η απόδοση της παραγωγής λαδιού, η χρήση της γης και κάποια ζητήματα που αφορούν την παραγωγή για εμπόριο. Για την επίτευξη παραγωγής μεγάλης κλίμακας, το κύριο ζήτημα είναι το πώς θα μειωθεί το κόστος επένδυσης και το κόστος παραγωγής κατά τη διάρκεια ολόκληρης της διαδικασίας παραγωγής βιοκαυσίμου από μικροάλη. Το υψηλό κόστος έγινε η μεγαλύτερη πρόκληση στο εγχείρημα της παραγωγής βιοενέργειας από μικροάλη.

Προκειμένου να δημιουργηθεί μία βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας από μικροάλη υπάρχουν κάποιες απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν. Ο γνωστότερος ορισμός της βιώσιμης ανάπτυξης ανήκει αναμφισβήτητα στην πρωθυπουργό της Νορβηγίας Gro Harlem Brundtland. Ως πρόεδρος της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη η κ. Brundtland παρέδωσε στη Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών, το 1987, την Αναφορά της με τίτλο «Το κοινό μας μέλλον» που είναι γνωστή ως “Brundtland report” στην οποία ορίζεται η βιώσιμη ανάπτυξη «ως η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες των σύγχρονων γενεών χωρίς

να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των επόμενων γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες». Ακολουθώντας αυτό τον ορισμό οι παρακάτω προϋποθέσεις χρειάζεται να ικανοποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί μια βιώσιμη παραγωγή άλγης:

- Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας θα πρέπει να εξασφαλίζεται ένα ισοζύγιο εκπομπής αερίων.
- Η παραγωγή μικροάλγης δεν μπορεί να καταστρέφει την ικανότητα αυτοκαθαρισμού των τοπικών φυτών και του εδάφους.
- Η παραγωγή μικροάλγης δεν μπορεί να θέτει σε κίνδυνο την παραγωγή τροφίμων.
- Η παραγωγή μικροάλγης δεν έχει επίπτωση στη βιοποικιλότητα.
- Διατήρηση και βελτίωση της ποιότητας του τοπικού εδάφους.
- Διατήρηση και βελτίωση των τοπικών υδάτινων πόρων και απαγόρευση υπερβολικής κατανάλωσης υπόγειων υδάτων και επιφανειακών υδάτινων πόρων.
- Διατήρηση και βελτίωση της ποιότητας του αέρα
- Η παραγωγή άλγης να μπορεί να προωθήσει την τοπική οικονομία και την κοινωνική ευημερία, αυξάνοντας τις ευκαιρίες απασχόλησης.
- Οι εταιρείες παραγωγής μικροάλγης πρέπει να σέβονται τα οφέλη των εργοδοτών και των κατοίκων της περιοχής.

2. Σκοπός και μεθοδολογία

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναλύσει τη σκοπιμότητα, την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα της μικροάλης ως νέα πρώτη ύλης βιομάζα. Τι είδους οφέλη μπορεί να επιφέρει η βιοενέργεια από μικροάλη; Ποιοι είναι οι πιθανοί περιορισμοί που μπορεί να εμποδίσουν την ανάπτυξη του βιοκαυσίμου από μικροάλη; Η μικροάλη ως νέα πρώτη ύλη βιοκαυσίμου, καλύπτει τις απαιτήσεις της βιωσιμότητας από τη διαδικασία της καλλιέργειας έως την τελική βιομηχανοποίηση;

Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρησιμοποιήθηκαν πολλές μελέτες σχετικά με τεχνολογίες παραγωγής μικροάλης. Επίσης πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ μικροάλης και άλλων πρώτης ύλης βιοκαυσίμων. Για την επίτευξη μεγάλης κλίμακας παραγωγή ενέργειας από μικροάλη αναλύθηκαν οι απαιτήσεις της βιομηχανοποίησης και της βιωσιμότητας της ενέργειας αυτής. Έγινε μία SWOT ανάλυση για να συνοψίσει τις δυνατότητες και τις αδυναμίες της μικροάλης στα πλαίσια της βιωσιμότητας. Επιπρόσθετα, έγινε εκτίμηση του κύκλου ζωής του ενεργειακού ισοζυγίου της παραγωγής μικροάλης για να αναλυθεί στη συνέχεια η βιωσιμότητα των ενεργειακών εισροών και εκροών. Η σχέση του κόστους παραγωγής και των τιμών μεταξύ του βιοκαυσίμου μικροάλης και του πετρελαίου αναλύθηκαν από οικονομικής άποψης καθώς έγινε και μια σύντομη ανασκόπηση της τρέχουσας ανάπτυξης της μικροάλης στις ΗΠΑ, τη Κίνα και τη Σουηδία. Τέλος αναλύονται οι προκλήσεις και οι προοπτικές του μέλλοντος για τη βιοενέργεια από μικροάλη.

Περιορισμοί της μελέτης

Δεδομένου ότι η μικροάλη είναι μία νέα πρώτη ύλης βιομάζα και δεν έχει επιτευχθεί εμπορική παραγωγή της στον κόσμο ακόμα, δεν υπάρχουν αρκετές αναφορές σχετικά με τη βιωσιμότητα της βιομηχανικής παραγωγής της. Έτσι αυτό περιορίζει σε ένα βαθμό την παρούσα μελέτη. Εκτός αυτού δεν υπάρχουν πολλές μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA-Life Cycle Assessment) που να αφορούν τις περιβαλλοντικές επιδράσεις της μικροάλης οπότε δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί με ακρίβεια αν η παραγωγή μικροάλης έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον, βάζοντας έτσι άλλο ένα περιορισμό στη μελέτη αυτή.

3. Έννοιες της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και της άλγης

Οι πηγές ενέργειας της βιομάζας αποτελούνται από τριών γενεών στάδια ανάπτυξης. Η πρώτη γενιά πρώτες ύλες βιοκαυσίμου προέρχονται από καλλιέργειες τροφίμων, όπως το ζαχαροκάλαμο, το καλαμπόκι και το σιτάρι. Η δεύτερη γενιά πρώτες ύλες βιοκαυσίμου προέρχονται από κάποιου είδους χόρτα και άχυρα ρυζιού και η τρίτη γενιά πρώτες ύλες βιοκαυσίμου είναι η άλγη και συγκεκριμένα η μικροάλγη. Η άλγη θα παίξει πιθανότατα σημαντικό ρόλο στο πλαίσιο της χρήσης της βιώσιμης ενέργειας στο άμεσο μέλλον [4].

Η άλγη είναι το αρχαιότερο φυτό στον κόσμο που ζει στα γλυκά νερά, στα αλμυρά, ακόμα και στα απόβλητα [3]. Υπάρχουν περίπου 27.000 είδη άλγης στον κόσμο [5]. Τα λιπίδια και η πρωτεΐνη που περιέχονται εντός των κυττάρων της άλγης είναι υψηλότερα από 'τι άλλων επίγειων φυτών. Μπορεί να παραχθεί βιοενέργεια μόνο με τη χρήση ηλιακού φωτός, νερού και διοξειδίου του άνθρακα. Η άλγη έχει μικρή περίοδο ανάπτυξης (2-6 ημέρες για την αναπαραγωγή μιας γενιάς), υψηλή απόδοση φωτοσύνθεσης και δεν καταλαμβάνει στεριά [3]. Η άλγη μπορεί να διαιρεθεί σε μακροάλγη και μικροάλγη. Η μακροάλγη περιλαμβάνει καφέ κόκκινα και πράσινα φύκη. Η χλωρέλλα, η σπιρουλίνα και τα πράσινα φύκη ανήκουν στα είδη της μικροάλγης [6]. Υπάρχουν περισσότερα από 20.000 είδη μικροάλγης που έχουν ανακαλυφθεί σε θαλάσσια και γλυκά νερά. Ωστόσο, λίγα είναι αυτά τα οποία έχουν βρεθεί για μετατροπή βιοενέργειας μέχρι στιγμής.

Σε σύγκριση με τη μακροάλγη, η μικροάλγη έχει περισσότερα πλεονεκτήματα όπως η απλή δομή, ο γρήγορος ρυθμός ανάπτυξης, η υψηλή περιεκτικότητα σε λάδι και άλλα. Ως εκ τούτου οι περισσότερες βιομηχανίες προτιμούν να χρησιμοποιούν πρώτες ύλες μικροάλγης για την παραγωγή βιοενέργειας [7].

3.1 Μικροάλγη

Η μικροάλγη παραπέμπει σε μικρού μεγέθους άλγη που το σχήμα της μπορεί να φανεί μόνο μέσω μικροσκοπίου. Αποτελείται από διάφορες ομάδες προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών φωτοσυνθετικών μικροοργανισμούς με απλή δομή που τους επιτρέπει να πολλαπλασιάζονται με γρήγορους ρυθμούς [8, 9]. Η μικροάλγη είναι η κύρια πρωτογενής παράγωγος στο υδάτινο οικοσύστημα. Για την παραγωγή βιοκαυσίμου συνηθίζεται να χρησιμοποιείται η χλωρέλλα, η σπιρουλίνα και η

Nitzschia ως οι κύριες πηγές μικροάλης. Αυτοί είναι ένα είδος κυτταρικών οργανισμών με υψηλή ικανότητα φωτοσύνθεσης. Η περίοδος ανάπτυξής τους είναι σύντομη και ο χρόνος διπλασιασμού ενός κυττάρου είναι μόνο 1-4 ημέρες. Η μικροάλη η οποία περιέχει τουλάχιστον 30% λιπίδια σε κάθε κύτταρο της έχει μεγάλη πιθανότητα στο να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή βιοκαυσίμου. Μέσω της φωτοσύνθεσης, η μικροάλη μπορεί να απορροφήσει μεγάλα ποσά διοξειδίου του άνθρακα παράγοντας σάκχαρα και οξυγόνο. Η εξίσωση της αντίδρασης της φωτοσύνθεσης είναι η εξής:



Στη συνέχεια τα σάκχαρα μπορούν να μετατραπούν σε λιπίδια, πρωτεΐνες και υδατάνθρακες, τα οποία είναι τα απαραίτητα υλικά για τη μετατροπή σε βιοκαύσιμο.

Για να συνοψίσουμε, τα πλεονεκτήματα της μικροάλης στην παραγωγή ενέργειας μπορούν να συγκεντρωθούν στα παρακάτω σημεία:

1. Η μικροάλη έχει χλωροφύλλη και άλλα φωτοσυνθετικά όργανα τα οποία μπορούν να φωτοσυνθέσουν. Έτσι, η μικροάλη χρησιμοποιεί ηλιακό φως, νερό που περιέχεται στα κύτταρά της και διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα για να μετατρέψει τις οργανικές ενώσεις που βοηθούν στην παραγωγή του βιοκαυσίμου.
2. Η αναπαραγωγή της μικροάλης είναι τύπου διαίρεσης, ο κυτταρικός κύκλος είναι σχετικά σύντομος, οπότε είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί μεγάλης κλίμακας καλλιέργεια.
3. Η μικροάλη μπορεί να καλλιεργηθεί σε θαλασσινό νερό, σε αλκαλικό ακόμα και σε νερό αποβλήτων οπότε καθίσταται μία σημαντική μέθοδος για την παραγωγή βιοενέργειας σε άγονες περιοχές και σε περιοχές που έχουν έλλειψη σε γλυκό νερό.

Η μικροάλη φαίνεται να είναι η μόνη πηγή ανανεώσιμου βιοντίζελ ικανή να προσφέρει πλήρη κάλυψη των διεθνών αναγκών σε καύσιμα από τις μεταφορές, με δυνατότητα πλήρους αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων και τη μετάβαση στη χρήση βιοντίζελ [4, 10]. Κάτω από βέλτιστες συνθήκες καλλιέργειας, ορισμένα είδη μικροάλης μπορούν να παράγουν και να συσσωρεύουν υδρογονάνθρακες μεταξύ 30-70% του ξηρού βάρους τους, ενώ μερικά είδη άλης που περιέχουν τεράστια ποσότητα ελαίου τους επιτρέπει να παράγουν αρκετές εκατοντάδες φορές περισσότερη ποσότητα ελαίου από αυτή που παράγεται από το φυτό σόγια [Πίνακας 1] καλλιεργούμενες και οι δυο στην ίδια έκταση [11]. Η περιεκτικότητα σε έλαιο της μικροάλης μπορεί να υπερβεί το 80% του ξηρού βάρους της βιομάζας τους, αλλά τα επίπεδα του ελαίου που έχουν επιτευχθεί κυμαίνονται από 20% έως 50% [12].

Πίνακας 1: Σύγκριση Πηγών Βιοντίζελ [10]

Καλλιέργεια	Ποσότητα Ελαίου (L/ha)
Καλαμπόκι	172
Σόγια	446
Κανόλα	1.190
Ζατρόφα	1.892
Καρύδα	2.689
Φοινικέλαιο	5.950
Μικροάλγη ^α	136.900
Μικροάλγη ^β	58.700
^α 70% έλαιο (κατά βάρος) στη βιομάζα ^β 30% έλαιο (κατά βάρος) στη βιομάζα	

4. Καλλιέργεια άλγης

Η καλλιέργεια μικροάλγης είναι το πρώτο βήμα της παραγωγής βιοενέργειας. Το κύριο ζήτημα στη διαδικασία της καλλιέργειας είναι το πώς θα παράγουμε την καλύτερη ποιότητα πρώτης ύλης μικροάλγης. Σύμφωνα με τη μελέτη των χαρακτηριστικών και της λειτουργίας της μικροάλγης έχουν αναπτυχθεί κάποιες επιστημονικές μέθοδοι καλλιέργειας. Προς το παρόν, οι κύριες μέθοδοι για καλλιέργεια που χρησιμοποιούνται είναι το σύστημα των ανοιχτών και κλειστών λιμνών και οι φωτοβιοαντιδραστήρες.

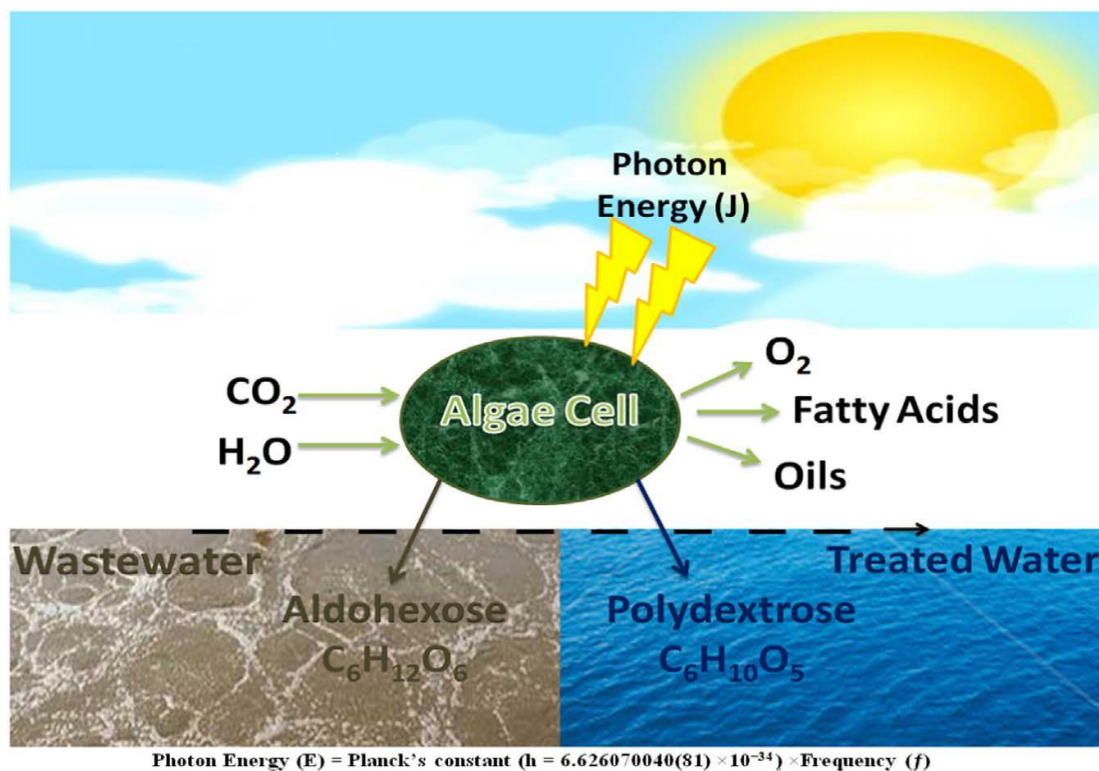
4.1 Βέλτιστες βιο-περιβαλλοντικές συνθήκες

Οι βέλτιστες βιο-περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη μικροαλγών είναι οι ακόλουθες:

- Φως: επειδή οι μικροάλγεις αναπτύσσονται φωτοσυνθετικά, το φως είναι ένας από τους πιο σημαντικούς περιοριστικούς παράγοντες. Τα συστήματα των αλγών μπορούν να φωτιστούν από Τεχνητό φως (π.χ. λυχνίες LED), ηλιακό φως ή και τα δύο [13].
- CO₂: η συνήθης πηγή άνθρακα για τη φωτοσύνθεση είναι το CO₂. Δεδομένου ότι οι άλγεις ζουν σε υψηλές συγκεντρώσεις CO₂, τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και οι ρύποι στην ατμόσφαιρα από την διάφορες πηγές θα λειτουργούν ως θρεπτικά συστατικά για τις άλγεις. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής άλγης μπορούν κατ' αυτό τον τρόπο να τροφοδοτούνται με καυσαέρια που προκύπτουν από την καύση ορυκτών καυσίμων για σημαντική αύξηση της παραγωγικότητάς τους [14].
- Θερμοκρασία: το βέλτιστο θερμοκρασιακό εύρος για καλλιέργειες μικροάλγης είναι γενικά μεταξύ 20 και 24 °C [15, 16]. Ωστόσο, κάποια γένη μικροαλγών είναι ευπροσάρμοστα και μπορούν να αναπτύσσονται σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών μεταξύ 25 και 50 °C [17].
- pH: για τα περισσότερα είδη καλλιεργούμενων μικροαλγών το ιδανικό εύρος pH είναι μεταξύ 7 και 9, με βέλτιστο εύρος μεταξύ 8,2-8,7 [11].

Αρκετά είδη μικροαλγών χρησιμοποιούν φωτεινή ενέργεια (π.χ. ηλιακό φως) για τη δημιουργία χημικής ενέργειας μέσω φωτοσύνθεσης με φυσικό κύκλο ανάπτυξης μόλις μερικών ημερών όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 [18]. Αυτά τα είδη μπορούν να αναπτυχθούν οπουδήποτε παρουσία ακτινοβολίας του ορατού φάσματος και

ελάχιστων θρεπτικών στο περιβάλλον όπως. Ως εκ τούτου, μπορεί να αυξηθεί ο ρυθμός ανάπτυξης τους με τη βοήθεια ειδικών για τα είδη θρεπτικών συστατικών και των κατάλληλων περιβαλλοντικών συνθηκών όπως: pH, θερμοκρασία, κλπ [19, 20].



Σχήμα 1: Κατά τη διάρκεια του φυσικού κύκλου ανάπτυξης, τα μικροφύκη χρησιμοποιούν φωτεινή ενέργεια (π.χ. από τον ήλιο) για να παράγουν χημική ενέργεια με φωτοσύνθεση.

4.2 Μέθοδοι καλλιέργειας

Η πρώτη επιλογή που θα γίνει θα πρέπει να είναι αν οι μικροάλγες θα αναπτυχθούν σε κλειστά ή ανοιχτά συστήματα. Αυτό εξαρτάται άμεσα από το κόστος της εγκατάστασης καθώς και από το 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 για την ανάπτυξή της. Συνήθως επιλέγονται είδη των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι ήδη γνωστά. Βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να είναι γνωστά πριν την επιλογή του είδους μικροάλγης που θα καλλιεργηθεί είναι:

1. Παραγωγικότητα, συνήθως μετρούμενη ως βιομάζα ανά όγκο και χρόνο.

2. Περιεκτικότητα σε λιπίδια και λιπαρά οξέα, δηλαδή στα στοιχεία τα οποία επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα και ποσότητα του παραγόμενου βιοκαυσίμου.
3. Αντοχή σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως υψηλή θερμοκρασία, υψηλή περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα ή οξείδια αζώτου κλπ.
4. Δεσμευτική ικανότητα διοξειδίου του άνθρακα όπου βασικό στόχο αποτελεί η δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από τα παραγόμενα καυσαέρια ενός ηλεκτροπαραγωγού σταθμού.
5. Ευκολία διαχωρισμού βιομάζας από το διάλυμα.
6. Πιθανότητα επιπλέον χρήσεων.

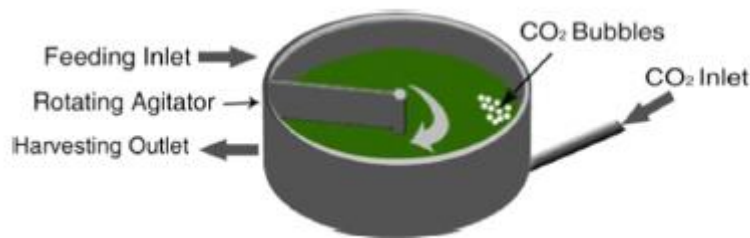
Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την σωστή επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού και το σωστό σχεδιασμό της μονάδας μπορούν να οδηγήσουν σε κερδοφόρα αποτελέσματα.

4.3 Σύστημα ανοικτής λίμνης

Η καλλιέργεια μικροαλγών σε συστήματα ανοικτής λίμνης έχει μελετηθεί εκτενώς [21,22]. Τα συστήματα ανοικτής λίμνης περιλαμβάνουν φυσικές λίμνες, κυκλικές τεχνητές λίμνες, αυλακοειδείς τεχνητές λίμνες και κεκλιμένα συστήματα. Τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ο απλός σχεδιασμός, το χαμηλό κόστος κατασκευής και η υψηλή παραγωγική ικανότητα. Είναι πιο εύκολο να κατασκευαστούν και να λειτουργήσουν από τα περισσότερα κλειστά συστήματα. Ωστόσο τα συστήματα της ανοικτής λίμνης είναι επιρρεπή στις καιρικές συνθήκες και δεν παρέχεται κανένας έλεγχος στις συνθήκες καλλιέργειας. Έτσι, η επιτυχία των συστημάτων αυτών οφείλεται στις κλιματολογικές συνθήκες. Είναι σημαντικό να παρέχονται οι κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες όπως και τα κατάλληλα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη της μικροάλγης στις λίμνες αυτές. Αν και τα συστήματα αυτά δεν απαιτούν υψηλό κόστος συντήρησης η χρήση τους για εμπορική παραγωγή περιορίζεται λόγω της δυσκολίας τους στις προσμείξεις. Άλλα μειονεκτήματα που σχετίζονται με τα συστήματα αυτά είναι οι απώλειες λόγω εξάτμισης, η διάχυση του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η απαίτηση των μεγάλων περιοχών γης, η αναποτελεσματικότητα της ανάμειξης, η χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς μάζας, η χαμηλή παραγωγή βιομάζας, η ανεξέλεγκτη ένταση φωτός και η μη σταθερή διακύμανση της θερμοκρασίας [23].

4.3.1 Κυκλικές λίμνες

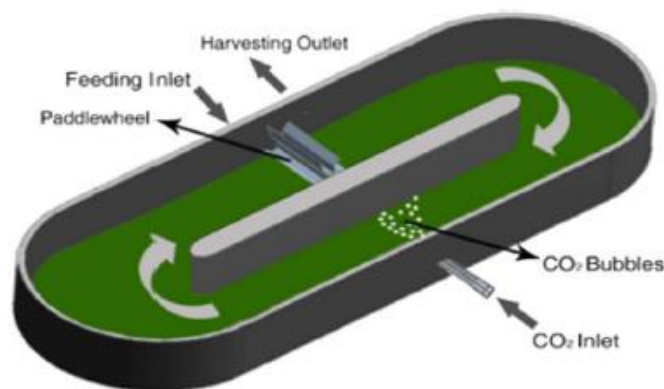
Στις κυκλικές λίμνες (Σχήμα 2) χρησιμοποιείται ένας κεντρικός περιστροφικός αναδευτήρας για την ανάμιξη της καλλιέργειας. Οι κυκλικές λίμνες δεν μπορούν να υπερβούν το μέγεθος των 10.000 τ.μ. λόγω της ανάμειξης από τον περιστρεφόμενο βραχίονα. Τέτοιες δεξαμενές δεν είναι σκόπιμες για τα εργοστάσια που κατασκευάζουν σε μεγάλη εμπορική κλίμακα καθώς εκτός από το υψηλό κόστος κατασκευής χρειάζονται και υψηλή κατανάλωση ενέργειας για ανάμιξη. [24]



Σχήμα 2: Κυκλική λίμνη

4.3.2 Αυλακοειδείς λίμνες

Οι αυλακοειδείς λίμνες (Σχήμα 3) είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται επανακυκλοφορία του ρευστού και έχουν βάθος περίπου 0,3μ.



Σχήμα 3: Σύστημα ανοικτής αυλακοειδούς λίμνης

Κατασκευάζονται είτε από σκυρόδεμα είτε από συμπιεσμένη γη και έχουν μία άσπρη πλαστική επένδυση. Διαθέτουν ένα τροχό που βοηθάει στην ανάμιξη και στην κυκλοφορία. Τα θρεπτικά συστατικά και η μικροάλγη εισάγονται από το μπροστινό μέρος του τροχού και η συγκομιδή γίνεται από το πίσω μέρος. Ο τροχός λειτουργεί

συνεχώς για την αποφυγή της καθίζησης. Η μεγαλύτερη αυλακοειδής λίμνη παραγωγής βιομάζας βρίσκεται στην Calipatria στις ΗΠΑ όπου καλλιεργείται η σπιρουλίνα [23]. Αυτή η λίμνη καταλαμβάνει μια έκταση 440.000 τ.μ. [12]. Η ανάπτυξη της βιομάζας των μικροαλγών στις αυλακοειδείς λίμνες [Σχήμα 4] και στους κλειστούς φωτοβιοαντιδραστήρες για την παραγωγή βιοντίζελ αξιολογούνται από μελέτες που χρηματοδοτούνται από το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών [18]. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι αυλακοειδείς λίμνες είναι λιγότερο δαπανηρές αλλά έχουν χαμηλότερες τιμές παραγωγής βιομάζας από τους κλειστούς φωτοβιοαντιδραστήρες [23]. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τις ανοικτές αυλακοειδείς λίμνες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [25]:

Πίνακας 2: Παράμετροι αυλακοειδών λιμνών

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή
Βάθος λίμνης	m	0,12
Μήκος λίμνης	m	288
Πλάτος λίμνης	m	5,5
Μέσο υδραυλικό βάθος	m	0,1
Έκταση λίμνης	ha	0,32
Όγκος λίμνης	m ³	392
Μέση ταχύτητα ρευστού	m/s	0,3
Αριθμός Reynolds		34378
Χρόνος παραμονής	day	6
Χρόνος αραίωσης ^a	h/day	8
Καυσαέρια ως πηγή άνθρακα (STP) ^b	m ³ /day	190
Συγκέντρωση βιομάζας στην έξοδο	kg/m ³	1,67
Ρυθμός ροής άλγης στην έξοδο	m ³ /day	58

^a Πρωτόκολλο σχεδιασμού και καταγραφής σε ώρες ανά ημέρα, όταν οι μικροάλγεις απομακρύνονται συνεχώς από την καλλιέργεια και παρέχεται φρέσκο μέσο. Ο αντιδραστήρας θεωρείται διαλείπωντος έργου κατά τον υπόλοιπο χρόνο

^b Μόνο κατά τη διάρκεια της αραίωσης

Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στην μόλυνση από άλλους μικροοργανισμούς όπως άλλα είδη άλγης ή βακτηρίων. Γι' αυτό οι καλλιεργητές επιλέγουν κλειστά συστήματα για μικροκαλλιέργειες.

Επίσης οι καλλιέργειες αυτές μπορούν να εκμεταλλευθούν ασυνήθιστες συνθήκες που ταιριάζουν μόνο σε συγκεκριμένες μορφές άλγης. Για παράδειγμα η σπιρουλίνα ευδοκίμει σε νερά με υψηλή συγκέντρωση του διττανθρακικού νατρίου και η *Dunaliella salina* μεγαλώνει σε εξαιρετικά αλμυρό νερό.

Μερικά αλυσιδωτά διάτομα εμπίπτουν σ' αυτή την κατηγορία αφού μπορούν να φιλτράρονται από ένα ρεύμα νερού που ρέει μέσω ενός σωλήνα εκροής. Μια "μαξιλαροθήκη" φτιαγμένη από πλεκτό ύφασμα δένεται πάνω από τον σωλήνα αφήνοντας τις άλλες μορφές άλγης να διαφύγουν. Τα αλυσιδωτά διάτομα κρατούνται μέσα στην "τσάντα" και αποτελούν νέες δεξαμενές ή λίμνες.

Περικλείοντας μια λίμνη με διάφανο ή ημιδιάφανο φράγμα την μετατρέπει αποτελεσματικά σε ένα κλειστό σύστημα που σημαίνει τη λύση πολλών προβλημάτων που σχετίζονται με ένα ανοικτό σύστημα, επιτρέπει να αναπτυχθούν περισσότερα είδη, εκτείνει την περίοδο καλλιέργειας και αν η λίμνη θερμανθεί μπορεί να παράγει άλγη όλο τον χρόνο.



Σχήμα 4: Εργοστάσιο παραγωγής μικροάλγης που λειτουργεί με συστήματα ανοιχτής αυλακοειδούς λίμνης

4.4 Σύστημα κλειστών Φωτοβιοαντιδραστήρων

Ένας φωτοβιοαντιδραστήρας είναι ένας βιοαντιδραστήρας που ενσωματώνει μερικούς τύπους πηγών φωτός για να παρέχει φωτονική ενέργεια στον αντιδραστήρα. Μπορεί να περιγραφεί ως ένα κλειστό, φωτιζόμενο σκεύος για καλλιέργειες που έχει σχεδιαστεί για την ελεγχόμενη παραγωγή βιομάζας των φωτοτροφικών υγρών κυτταροκαλλιιεργειών. Αν και μια ανοιχτή λίμνη θα μπορούσε να θεωρηθεί φωτοβιοαντιδραστήρας, ο όρος αυτός αναφέρεται μόνο στα κλειστά συστήματα που δεν έχουν άμεση ανταλλαγή αερίων και ρύπων με το περιβάλλον.

Οι φωτοβιοαντιδραστήρες, παρά το υψηλό κόστος τους, έχουν μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των ανοικτών συστημάτων:

- Προλαμβάνουν ή ελαχιστοποιούν την μόλυνση
- Προσφέρουν καλύτερο έλεγχο των συνθηκών βιοκαλλιέργειας, δηλαδή του ΡΗ, της έντασης του φωτός, του διοξειδίου του άνθρακα, της θερμοκρασίας κτλ.
- Εμποδίζουν την εξάτμιση του νερού
- Μικρότερες απώλειες διοξειδίου του άνθρακα
- Επιτρέπουν υψηλότερες συγκεντρώσεις των κυττάρων
- Επιτρέπουν την παραγωγή σύνθετων βιοφαρμακευτικών ουσιών

Υπάρχουν όμως και ορισμένες απαιτήσεις:

- Ψύξη
- Ανάμιξη
- Έλεγχος της συσσώρευσης οξυγόνου και ακαθαρσιών

Αυτές καθιστούν τα συστήματα αυτά πιο ακριβά για την κατασκευή και την λειτουργία τους από τα ανοιχτά συστήματα αλλά περισσότερο αποτελεσματικά. Νέα φθηνότερα συστήματα σχεδιάζονται και μαζί με την χρήση ρεμάτων αποβλήτων καθιστούν την παραγωγή της μικροάλης εμπορικά ελκυστική.

Επειδή οι φωτοβιοαντιδραστήρες είναι κλειστά συστήματα ο καλλιεργητής πρέπει να παρέχει όλα τα θρεπτικά συστατικά συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα.

Ένας φωτοβιοαντιδραστήρας μπορεί να λειτουργεί με ομαδοποιημένο τρόπο ο οποίος περιλαμβάνει την ανασύσταση του αντιδραστήρα μετά από κάθε συγκομιδή, αλλά και την πιθανότητα αύξησης της συγκομιδής συνεχώς. Η συνεχής λειτουργία του απαιτεί τον πλήρη έλεγχο όλων των στοιχείων έτσι ώστε να αποφευχθεί η άμεση κατάρρευση. Ο καλλιεργητής παρέχει αποστειρωμένο νερό, θρεπτικά συστατικά, αέρα, και διοξείδιο του άνθρακα στις σωστές τιμές. Αυτό επιτρέπει στον αντιδραστήρα να λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα.

4.4.1 Σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των φωτοβιοαντιδραστήρων είναι είτε πλαστικοί είτε γυάλινοι σωλήνες [Σχήμα 5]. Ο αερισμός και η ανάμειξη πραγματοποιείται συνήθως από αντλίες αέρα ή άλλα συστήματα αέρα [23]. Αυτά μπορεί να είναι κάθετα [26], οριζόντια [27] ή σχεδόν οριζόντια [28]. Η χρήση του διάφανου πλαστικού ή γυαλιού διευκολύνει τη διείσδυση του απαιτούμενου φωτός για εύκολη φωτοσύνθεση. Η ανάμειξη πραγματοποιείται συνήθως από το διαχωριστή που συνδέεται στον πυθμένα του αντιδραστήρα. Αυτή η διάταξη βελτιώνει τη μεταφορά μάζας διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον εξασφαλίζει την απομάκρυνση του παραγόμενου οξυγόνου από τη φωτοσύνθεση. Με βάση τον τρόπο ροής του υγρού οι κάθετοι σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες μπορούν να χωριστούν σε στήλες φυσαλίδων και αντιδραστήρες αερομεταφοράς [23]. Παράμετροι σχεδίασης που χρησιμοποιούνται για τους σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [25]:

Πίνακας 3: Παράμετροι σωληνοειδών φωτοβιοαντιδραστήρων

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμή
Εσωτερική διάμετρος σωλήνα	m	0,38
Εξωτερική διάμετρος σωλήνα	m	0,395
Μήκος σωλήνα	m	510
Περιοχή κάλυψης του σωλήνα	m ²	246
Όγκος αντιδραστήρα	m ³	58,89
Μέση ταχύτητα ρευστού	m/s	0,5
Αριθμός Reynolds	–	190000
Χρόνος παραμονής	days	2
Συνολικός αέρας / αέριο προς άντληση (STP)	m ³ /day	3340
Χρήσιμη ισχύς που παρέχεται από αέρα / αέριο	W	201,36
Συνολική απόδοση αντλίας ανύψωσης αέρα ^a	%	30,45
Χρόνος αραιώσης ^b	h/day	8
Καυσαέρια ως πηγή άνθρακα (STP) ^c	m ³ /day	135,42
Διάμετρος ανύψωσης	m	0,57
Ύψος ανύψωσης	m	4,15
Συγκέντρωση βιομάζας στην έξοδο	kg/m ³	1
Ρυθμός ροής άλγης στην έξοδο ^c	m ³ /day	29,39

^a Κλάσμα της ηλεκτρικής ενέργειας παρεχόμενο στον συμπιεστή, που χρησιμοποιείται για την παροχή χρήσιμης ενέργεια στην καλλιέργεια της άλγης
^b Πρωτόκολλο σχεδιασμού και καταγραφής σε ώρες ανά ημέρα, όταν οι μικροάλγεις απομακρύνονται συνεχώς από την καλλιέργεια και παρέχεται φρέσκο μέσο. Ο αντιδραστήρας θεωρείται διαλείπωντος έργου κατά τον υπόλοιπο χρόνο
^c Μόνο κατά τη διάρκεια της αραιώσης



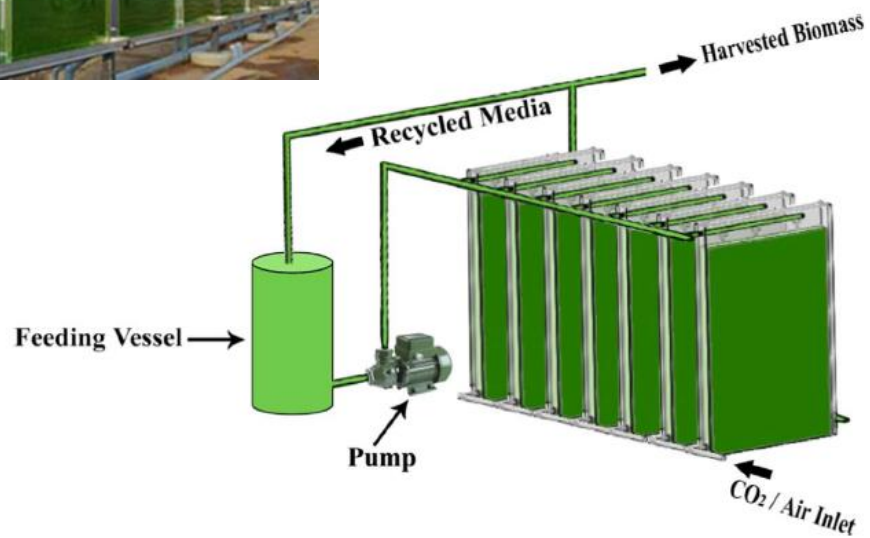
Σχήμα 5: Σύστημα κλειστών σωληνοειδών φωτοβιοαντιδραστήρων

4.4.2 Επίπεδες πλάκες φωτοβιοαντιδραστήρων

Σε φωτοβιοαντιδραστήρα επίπεδων πλακών [Σχήμα 6] περνάει ένα λεπτό στρώμα καλλιέργειας με μεγάλη πυκνότητα μέσα από ένα διαφανές επίπεδο πλαίσιο κατασκευασμένο από γυαλί, πλεξιγκλάς ή πολυανθρακικό [23]. Οι επίπεδοι φωτοβιοαντιδραστήρες έχουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της μεγάλης αναλογίας επιφάνειας προς όγκο και της υψηλής κυτταρικής πυκνότητας ($>80\text{g/l}$)[29]. Η επίτευξη της ροής και της κίνησης γίνεται είτε μηχανικά χρησιμοποιώντας έναν κινητήρα είτε διοχετεύοντας αέρα μέσω ενός σωλήνα. Ο κατάλληλος τύπος φωτοβιοαντιδραστήρα για τη συλλογή μικροάλγης είναι μία επίπεδη πλάκα PBRS λόγω της χαμηλής συσσώρευσης τους σε διαλυμένο οξυγόνο και της υψηλής φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας τους σε σύγκριση με τους σωληνοειδείς τύπους [23,30].

Κατασκευάστηκε ένα επίπεδο πάνελ από πολυανθρακικό ανοξείδωτο χάλυβα με αναλογία επιφάνειας προς όγκο $0,34\text{cm}^{-1}$. Αυτός ο αντιδραστήρας φωτίστηκε στην επιφάνεια με 10 σωλήνες φθορισμού φτάνοντας τη συνολική ένταση φωτός περίπου $1000\ \mu\text{mol φωτονίων}/\text{m}^2/\text{s}$. Το πάνελ που φωτίζεται στη μία πλευρά γενικά έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να τοποθετηθεί κατακόρυφα ή να έχει κλίση προς το φως βελτιώνοντας έτσι την απορρόφηση ενέργειας. Οι ημι-οριζόντιες επίπεδες

επιφάνειες σχεδιάστηκαν από το [28], στους οποίους οι πίνακες χωρίστηκαν κατά μήκος σε 5 κανάλια με 2 πολλαπλούς πλεξιγκλάς που τοποθετήθηκαν στην κορυφή και στο κάτω μέρος. Στη συνέχεια εγχύθηκε αέριο διοξείδιο του άνθρακα. Οι Degen et al. [31] σχεδίασαν ένα αντιδραστήρα επίπεδης πλάκας με κυκλοφορία μέσω αέρα και μεγάλη ζώνη ανύψωσης. Επίσης προστέθηκαν εναλλασσόμενα διαφράγματα στο εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος των μεγαλύτερων επιφανειών βελτιώνοντας έτσι την ανάδευση. Τέλος συνδέθηκε ένας ψύκτης στην μπροστινή φωτισμένη πλευρά του πάνελ για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Έτσι, κατέληξαν στο ότι η ογκομετρική παραγωγή μάζας αυτού του αντιδραστήρα ήταν 1,7 φορές μεγαλύτερη από τους βιοαντιδραστήρες σωληνοειδή τύπου [23].



Σχήμα 6: Επίπεδες πλάκες φωτοβιοαντιδρατήρων

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα όλων των τύπων των κλειστών φωτοβιοαντιδραστήρων [32].

Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κλειστών φωτοβιοαντιδραστήρων (PBR)

Κλειστά Συστήματα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Σωληνοειδής PBR	1. Μεγάλη επιφάνεια φωτισμού	1. Απαιτεί μεγάλη έκταση
	2. Κατάλληλο για υπαίθριες καλλιέργειες	2. Προβλήματα κακού φωτισμού
	3. Καλή παραγωγικότητα βιομάζας	3. Κακή μεταφορά μαζών
Στήλη PBR	1. Υψηλή μεταφορά μαζών, φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα, δυνατότητες αποδοτικότητας	1. Μικρή περιοχή φωτισμού
	2. Μειωμένη φωτοαναστολή και φωτο-οξειδωση	2. Χαμηλός λόγος επιφάνειας προς όγκο
	3. Χαμηλό κόστος, συμπαγής κατασκευή και εύκολη στη χρήση	3. Ακριβή σε σύγκριση με ανοικτές λίμνες
	4. Μεγαλύτερη αναρρόφηση αερίου	
	5. Καλύτερη έκθεση σε κύκλους φωτός / σκότους	
	6. Ελάχιστη χρήση γης	
	7. Πολλά υποσχόμενη για καλλιέργεια άλγης μεγάλης κλίμακας	
Επίπεδες πλάκες PBR	1. Μεγάλη επιφάνεια φωτισμού	1. Δύσκολο να κλιμακωθεί
	2. Υψηλή αναλογία περιοχής προς όγκο	2. Οι άλγεις προσκολλώνται στους τοίχους
	3. Κατάλληλο για υπαίθριες καλλιέργειες	3. Χαμηλή φωτοσυνθετική απόδοση
	4. Υψηλή παραγωγή βιομάζας	
	5. Ομοιόμορφη κατανομή φωτός	
	6. Χαμηλό κόστος	
	7. Εύκολη κατασκευή, συντήρηση και καθαρισμός	
	8. Υψηλή φωτοσυνθετική απόδοση	
	9. Μαζική παραγωγή μικροάλγης	

4.5 Σύστημα κλειστής λίμνης

Μια εναλλακτική λύση στις ανοιχτές λίμνες είναι οι κλειστές λίμνες όπου ο έλεγχος του περιβάλλοντος είναι πολύ καλύτερος. Τα κλειστά συστήματα λιμνών κοστίζουν περισσότερο από τα ανοιχτά και πολύ λιγότερο από ό,τι οι φωτοβιοαντιδραστήρες για παρόμοιες περιοχές λειτουργίας.

Η τροποποίηση στα συστήματα των ανοιχτών λιμνών γίνεται με την κάλυψη της ανοιχτής λίμνης τοποθετώντας από πάνω ένα θερμοκήπιο [Σχήματα 7 και 8]. Αν και αυτό συνήθως οδηγεί σε ένα μικρότερο σύστημα, επιλύει πολλά από τα προβλήματα που συνδέονται με ένα ανοικτό σύστημα. Επιτρέπει την ανάπτυξη περισσότερων ειδών, επιτρέπει στα είδη που καλλιεργούνται να μείνουν κυρίαρχα και επεκτείνει την καλλιεργητική περίοδο αν δεν υπάρχει θέρμανση, ενώ αν υπάρχει θέρμανση η παραγωγή γίνεται όλο το χρόνο. Μπορεί επίσης να αυξηθεί και το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα με συνέπεια την αύξηση της ανάπτυξης της άλγης. Συνήθως οι κλειστές λίμνες χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια σπιρουλίνας. Αυτά τα κλειστά συστήματα κατασκευάζονται με πλεξιγκλάς.



Σχήμα 7: Συστήματα κλειστών λιμνών

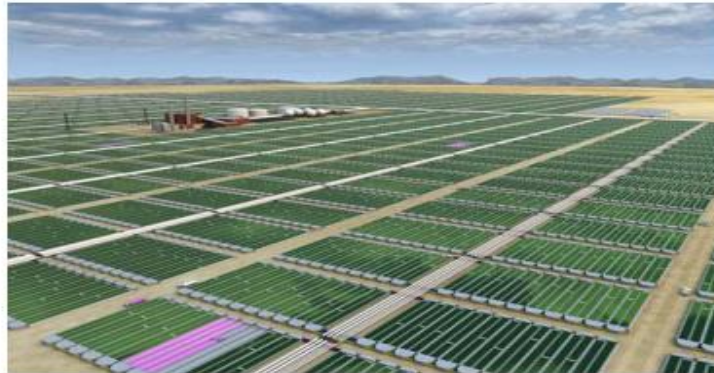


Σχήμα 8: Συστήματα κλειστών λιμνών

4.6 Διάφορες καλλιέργειες

4.6.1 Καλλιέργεια άλγης στην έρημο

Η άλγη μπορεί να καλλιεργηθεί σε λίμνες αλμυρού νερού στην έρημο ή ακόμα πιο αποτελεσματικά σε ιδιόκτητο φωτοβιοαντιδραστήρα που θα λύσει τα προβλήματα που προέκυψαν στις ανοιχτές λίμνες με λίγο περισσότερο κόστος. Οι φωτοβιοαντιδραστήρες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε ένα περιβάλλον της ερήμου [Σχήμα 9], αν και μια από τις προκλήσεις για την καλλιέργεια άλγης είναι να κρατήσει το νερό σε μια πολύ σταθερή θερμοκρασία περίπου 20 βαθμούς Κελσίου που θα επηρεάσει θετικά τη βέλτιστη τοποθέτηση των φωτοβιοαντιδραστήρων. Οι κύριες εισοδοί για την καλλιέργεια της άλγης είναι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα και το ηλιακό φως. Η δραστηριότητα αυτή θα ήταν καλύτερο να επιτευχθεί πιο κοντά στην έρημο, στην οποία τα εποχιακά επίπεδα ηλιακού φωτός και οι θερμοκρασίες δεν διαφέρουν τόσο πολύ όσο διαφέρουν πιο μακριά από τον Ισημερινό. Τα συστήματα αυτά απαιτούν πολύ λίγο νερό λόγω της κλειστής διαδικασίας του κυκλώματος, δεν επιβαρύνουν με σημαντικό κόστος εργασίας και δεν χρησιμοποιούν εξοπλισμό για καύση ορυκτών καυσίμων [33].



Σχήμα 9: Καλλιέργειες άλγης στην έρημο

Τα είδη της άλγης που είναι κατάλληλα για καλλιέργεια στην έρημο είναι [33]:

- ✓ *Haematococcus pluvialis*
- ✓ *Microcoleus vaginatus*
- ✓ *Chlamydomonas perigranulata*
- ✓ *Synechocystis*.

4.6.2 Καλλιέργεια άλγης σε θαλάσσιο περιβάλλον

Τα θαλάσσια είδη άλγης κατανέμονται σε δύο μορφές. Μερικά είδη θαλάσσιας άλγης είναι τόσο μικροσκοπικά που μπορούν να φανούν μόνο σε μικροσκόπιο. Μερικά άλλα είναι μεγάλα (μακροάλγη ή φύκη) και ένα παράδειγμα είναι η *macrocystis*, ένα είδος φαιοφυκών που ανήκουν στην ομάδα της καφέ άλγης, η οποία μπορεί να φθάσει τα 60 μέτρα σε μήκος. Λόγω της περιεκτικότητάς του σε άλατα, το αλμυρό νερό είναι πιο οικονομικό από το γλυκό νερό για την καλλιέργεια άλγης. Τα κύρια θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται για την ανάπτυξη της άλγης είναι ήδη παρόντα στο θαλασσινό νερό. Η μακροάλγη καλλιεργείται στη θάλασσα συνδέοντάς την σε στάσιμες επιπλέουσες εγκαταστάσεις. Δεν χρειάζεται χώμα για την καλλιέργεια της και το περιβάλλον είναι ήδη εφοδιασμένο με το νερό που χρειάζεται, κάτι που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με την παραγωγή στην ξηρά καθώς το νερό είναι ο πιο ισχυρός περιοριστικός παράγοντας για τις περισσότερες γεωργικές εκτάσεις, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν αυξανόμενη έλλειψη υδατικών πόρων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής [34].

4.6.3 Παραγωγή άλγης σε ανοικτούς ωκεανούς

Πολλές χώρες έχουν περιορισμένες εκτάσεις για την εκτροφή ή την καλλιέργεια ελαιούχων καλλιεργειών, όπως η άλγη, αλλά έχουν πολύ μεγαλύτερες εκτάσεις θαλασσίων περιοχών. Έτσι, ένα φυσικό ερώτημα που τίθεται είναι: πώς μπορεί να καλλιεργηθεί άλγη σε ωκεανούς για παραγωγή βιοντίζελ; Οι περισσότερες έρευνες μέχρι σήμερα έχουν επικεντρωθεί στην ξηρά και σε ελεγχόμενους χώρους. Για να πάρουμε υψηλές αποδόσεις ελαίου ανά στρέμμα, το περιβάλλον πρέπει να ελέγχεται σε σημαντικό βαθμό, ώστε να αποτρέψει άλλα είδη από το να καταστρέψουν τις αποδόσεις. Στα ανοιχτά, ανεξέλεγκτα περιβάλλοντα είναι εξαιρετικά δύσκολη η παρεμπόδιση της καταστροφής άλγης με υψηλό περιεχόμενο ελαίου από τα ανεπιθύμητα στελέχη άλγης, που είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά σε τέτοια ανοιχτά περιβάλλοντα. Επίσης, πρέπει να εξετασθούν τα προβλήματα όπως η συγκομιδή σε ανοικτό ωκεανό [Σχήμα 10] κλπ. Σε αυτό το στάδιο της έρευνας η συγκομιδή συγκεκριμένων στελεχών άλγης στο ανοιχτό περιβάλλον των ωκεανών φαίνεται να είναι ένα αρκετά δύσκολο θέμα. Επιπλέον, οι πρόσφατες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για την παραγωγή μεγάλης κλίμακας θαλάσσιας μικροάλγης κάτω από συνθήκες ετεροτροφικής ανάπτυξης χρησιμοποιώντας τον οργανικό άνθρακα αντί του φωτός ως πηγή ενέργειας. Οι ετεροτροφικές καλλιέργειες άλγης έχουν έως και χίλιες φορές υψηλότερη πυκνότητα από αυτές των φωτοαυτοτροφικών καλλιεργειών και μπορούν να συντηρηθούν με ξήρανση [34].



Σχήμα 10: Παραγωγή άλγης σε ωκεανό

Τα είδη άλγης που είναι κατάλληλα για καλλιέργεια σε θάλασσα ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες: κόκκινη άλγη, καφέ άλγη, πράσινη άλγη και διάτομα. Τα είδη αυτά είναι [34]:

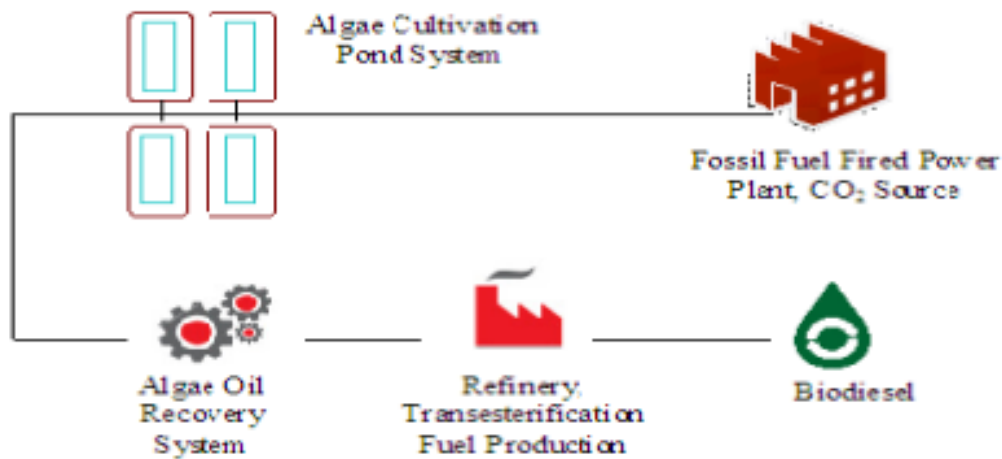
- *Isochrysis galbana*
- *Tetraselmis* sp.
- *Synechococcus* sp.
- *Chlorococcum littorale*
- *Chlamydomonas* sp.
- *Nannochloropsis salina*
- *Phaeodactylum tricornutum*
- *Dunaliella tertiolecta*
- *Chaetoceros muelleri*
- *Botryococcus braunii*
- *Emiliana huxleyi*

4.6.4 Καλλιέργεια άλγης για τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα

Η άλγη ζει με μεγάλη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του αζώτου. Οι ρύποι αυτοί που απελευθερώνονται από τα αυτοκίνητα, εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, ζυθοποιεία, εργοστάσια λιπασμάτων, χαλυβουργεία μπορούν να χρησιμεύσουν ως θρεπτικά συστατικά για την άλγη. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής άλγης μπορούν να τροφοδοτούνται με τα καυσαέρια από τα εργοστάσια αυξάνοντας την παραγωγή άλγης, καθαρίζοντας τον αέρα και παράλληλα μετατρέποντας τα έλαια της άλγης σε βιοντίζελ και τα υπόλοιπα συστατικά σε αιθανόλη. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει μια ασφαλή και βιώσιμη λύση στα προβλήματα που συνδέονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ακαδημία επιστημών της Τσεχίας και το ινστιτούτο έρευνας καυσίμων πραγματοποίησαν μια έρευνα για την αξιοποίηση των καυσαερίων για την καλλιέργεια της μικροάλγης *Chlorella spp.*, σε έναν υπαίθριο φωτοαντιδραστήρα. Τα καυσαέρια παράχθηκαν από την καύση φυσικού αερίου σε έναν λέβητα που χρησιμοποιήθηκε για την υπαίθρια καλλιέργεια *Chlorella sp.*, σε μια έκταση 55 τετραγωνικών μέτρων [35].

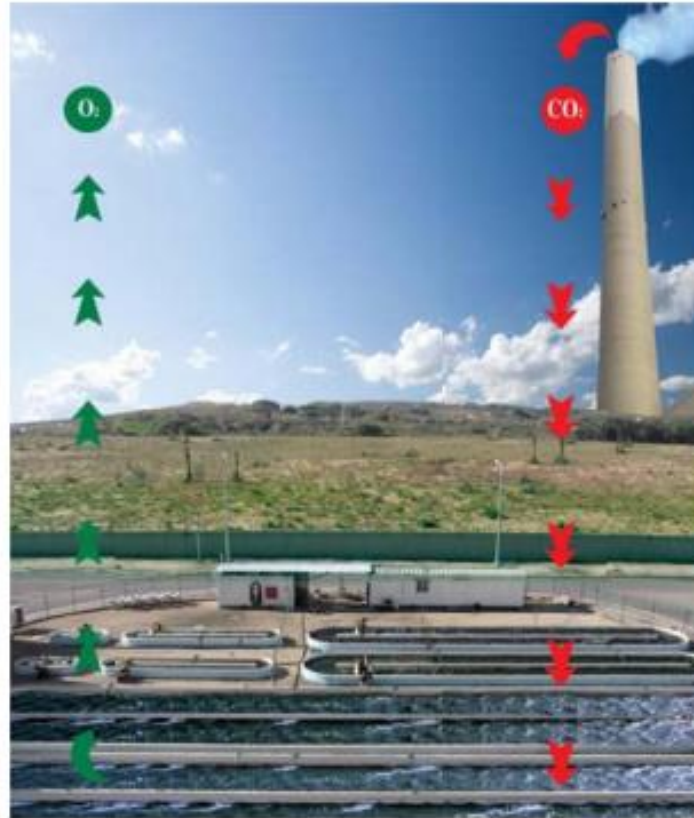
Εκτιμήθηκε ότι περίπου το 50 % των καυσαερίων απανθρακοποιήθηκαν. Έτσι η άλγη μπορεί να καλλιεργηθεί κοντά σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εταιρίες Inventure Chemical and Seambiotic έχουν ανακοινώσει ότι έχουν συστήσει μια κοινοπραξία για την κατασκευή ενός πιλοτικού εμπορικού εργοστασίου βιοκαυσίμων από άλγη που δημιουργείται από τις εκπομπές CO₂ ως τροφοδοτική ύλη. Το εργοστάσιο θα χρησιμοποιήσει είδη άλγης που η Seambiotic έχει αναπτύξει σε συνδυασμό με τις διαδικασίες μετατροπής που αναπτύχθηκαν από την Inventure για την παραγωγή αιθανόλης, βιοντίζελ και άλλων χημικών [35].

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής [Σχήμα 11] από το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων πηγαίνει στο σύστημα καλλιέργειας άλγης [Σχήμα12] και στη συνέχεια από τις διαδικασίες ανάκτησης του ελαίου από την άλγη, της διύλισης και της μετεστερεοποίησης παράγεται βιοντίζελ.



Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής για την παραγωγή βιοντίζελ

Τέλος η άλγη μπορεί να καλλιεργηθεί κοντά σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου τα οποία εκπέμπουν περίπου ενάμιση τόνο διοξειδίου του άνθρακα για κάθε τόνο τσιμέντου που παράγεται. Κατά μέσο όρο κάθε μονάδα εκπέμπει 100.000 τόνους διοξειδίου του άνθρακα ετησίως. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, υπάρχουν περισσότερα από 1.175 εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου σε παγκόσμιο επίπεδο από τα οποία συνολικά παράγονται 932.000.000 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα. Επειδή τα εργοστάσια τσιμέντου παράγουν άφθονα ποσά διοξειδίου του άνθρακα και πολλά βρίσκονται σε τροπικές ή υποτροπικές περιοχές του κόσμου, είναι ιδανικοί υποψήφιοι για να επωφεληθούν από την τεχνολογία της άλγης για τη μετατροπή των αερίων σε έλαιο άλγης. Πολλές εταιρείες όπως η HR Biopetroleum, η Pond Biofuels και η Associated Cement Companies εργάζονται για την χρησιμοποίηση των καυσαερίων από τα εργοστάσια τσιμέντου για την παραγωγή άλγης [35].



Σχήμα 12: Εργοστάσιο παραγωγής άλγης

5. Τεχνολογίες παραγωγής μικροάλης

Η διαδικασία παραγωγής μικροάλης είναι μία από τις κύριες δυσκολίες του όλου εγχειρήματος της ενέργειας από μικροάλη. Μπορεί να χωριστεί στο κομμάτι της συγκομιδής και την εξόρυξης του ελαίου της μικροάλης και στο κομμάτι της μετατροπής της ενέργειας. Η συγκομιδή και η εξόρυξη του ελαίου συναντούν κάποιες δυσκολίες λόγω της μικρής διαμέτρου (3-30 μm) των κυττάρων της άλης και της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε νερό. Γιαυτό είναι πολύ δύσκολο να συλλεχθεί μικροάλη από τον εξοπλισμό της καλλιέργειας. Το υψηλό κόστος συγκομιδής το οποίο είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα στην παραγωγή μικροάλης, καταλαμβάνει το 20%-30% του συνολικού κόστους παραγωγής. Έτσι η επιλογή μιας αποτελεσματικής μεθόδου με χαμηλό κόστος είναι ο βασικός στόχος της μελλοντικής τεχνολογικής ανάπτυξης της μικροάλης.[6] Η διαδικασία της μετατροπής ενέργειας είναι επίσης ένα σημαντικό κομμάτι της παραγωγής βιοενέργειας από μικροάλη επειδή οι τεχνολογίες μετατροπής της ενέργειας καθορίζουν άμεσα για το αν τα βιοκαύσιμα που παράγονται μπορούν να είναι αποτελεσματικά.

5.1 Συγκομιδή μικροάλης

Η συγκομιδή της άλης [Σχήμα 13] αποτελείται από τον διαχωρισμό της από το καλλιεργητικό υπόστρωμα, την ξήρανση και την επεξεργασία για να ληφθεί το επιθυμητό προϊόν. Οι μέθοδοι συγκομιδής εξαρτώνται από το είδος της άλης. Η υψηλή περιεκτικότητα της άλης σε νερό, πρέπει να αφαιρεθεί για να επιτρέψει τη συγκομιδή.



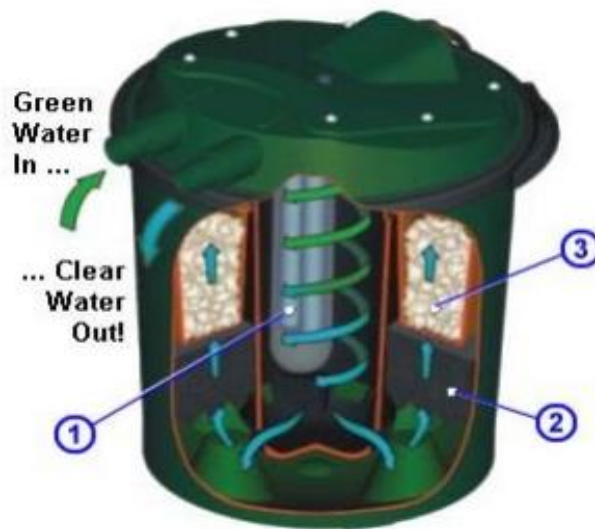
Σχήμα 13: Συγκομιδή μικροάλης

Ο όρος συγκομιδή άλγης αναφέρεται στην συγκέντρωση του αραιωμένου εναιωρήματος άλγης μέχρι να προκύψει μια παχιά πάστα άλγης. Η συγκομιδή της μικροάλγης από τις λίμνες και τους φωτοβιοαντιδραστήρες χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για την συγκέντρωση και τη συγκομιδή της άλγης. Κανονικά η συγκομιδή της μικροάλγης μπορεί να είναι μια ενιαία διαδικασία ή δύο διαδικασίες που περιλαμβάνουν τη συγκομιδή και την αφυδάτωση. Η συγκομιδή της μικροάλγης είναι δύσκολη λόγω του μικρού μεγέθους της άλγης. Η επιλογή της διαδικασίας συγκομιδής για ένα συγκεκριμένο είδος εξαρτάται από το μέγεθος και τις ιδιότητες του είδους της άλγης. Τα πιο γρήγορα αναπτυσσόμενα είδη άλγης είναι συνήθως και τα πιο μικρά σε μέγεθος και συχνά ευκίνητα μονοκύτταρα. Αυτά είναι τα πιο δύσκολα στη συγκομιδή. Είναι απαραίτητο να διατηρηθεί μια αποτελεσματική αλληλεπίδραση μεταξύ της ανάπτυξης της τεχνολογίας συγκομιδής και της επιλογής των κατάλληλων ειδών άλγης για τη μαζική καλλιέργεια [6].

Η άλγη μπορεί να συλλέγεται με σχάρες (microscreens), με φιλτράρισμα, με φυγοκέντριση, με κροκίδωση και με αφρό επίπλευσης. Αυτές πρέπει να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης και σχετικά φθηνές ώστε να είναι εύκολη η συγκομιδή.

5.1.1 Φιλτράρισμα

Το φιλτράρισμα πραγματοποιείται συνήθως στις μεμβράνες της τροποποιημένης κυτταρίνης με τη βοήθεια μιας αντλίας αναρρόφησης. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να συλλέξει μικροάλγη ή κύτταρα με πολύ χαμηλή πυκνότητα. Εντούτοις, η συγκέντρωση με φιλτράρισμα περιορίζεται σε μικρές ποσότητες και οδηγεί στην απόφραξη του φίλτρου από τα κύτταρα όταν εφαρμόζεται υποπίεση (κενό). Αρκετές μέθοδοι έχουν επινοηθεί που αποφεύγουν αυτά τα προβλήματα. Το ένα περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση μιας υποπίεσης αντίστροφης ροής στην οποία η πίεση λειτουργεί από ψηλά, καθιστώντας τη διαδικασία πιο ήπια για να αποφευχθεί το μπλοκάρισμα του φίλτρου από τα κύτταρα. Αυτή η μέθοδος έχει τροποποιηθεί για να επιτρέπει μια σχετικά μεγάλη ποσότητα νερού που πρέπει να συγκεντρωθεί σε μικρό χρονικό διάστημα (20 λίτρα σε 3 ώρες). Μια δεύτερη διαδικασία χρησιμοποιεί μια άμεση υποπίεση, αλλά περιλαμβάνει και μια περιστρεφόμενη λεπίδα στη φιάλη πάνω από το φίλτρο που εμποδίζει τα σωματίδια να εγκαθίστανται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκέντρωσης. Μερικές φορές μπορεί να συλλέγονται πολύ καλά με έναν μικρό διηθητήρα. Όταν χρησιμοποιείται ένας μικροδιηθητήρας [Σχήμα 14] για τη συλλογή άλγης το αρχικό αιώρημα μπορεί να είναι ελαφρώς πράσινο το οποίο θα μπορούσε να είναι περισσότερο συμπυκνωμένο [36].



Σχήμα 14: Μικροδιηθητήρας για τη συλλογή άλγης

5.1.2 Φυγοκέντρηση

Η φυγοκέντρηση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού της άλγης χρησιμοποιώντας την φυγόκεντρο δύναμη ώστε να προκαλέσει την καθίζηση της άλγης στον πάτο της δεξαμενής ή της φιάλης. Η φυγοκέντρηση και η ξήρανση είναι δυο διαδικασίες που σήμερα θεωρούνται πολύ ακριβές για προσωπική χρήση, αν και μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη σε εμπορική και βιομηχανική κλίμακα. Ένας φυγοκεντρητής είναι μια χρήσιμη συσκευή για την εξαγωγή ελαίου από την άλγη και τον χημικό διαχωρισμό για βιοντίζελ. Σε συνδυασμό με έναν ομογενοποιητή, μπορεί κανείς να είναι σε θέση να διαχωρίσει τα βιολιπίδια και άλλα χρήσιμα υλικά από την άλγη. Ένας φυγοκεντρητής είναι ένα κομμάτι εξοπλισμού το οποίο οδηγείται από έναν κινητήρα που θέτει ένα αντικείμενο σε περιστροφή γύρω από έναν σταθερό άξονα, με την εφαρμογή δύναμης κάθετης προς τον άξονα. Ο φυγοκεντρητής λειτουργεί με την αρχή της καθίζησης όπου η κεντρομόλος επιτάχυνση χρησιμοποιείται για να διανείμει ομοιόμορφα ουσίες (συνήθως σε μια λύση για εφαρμογές μικρής κλίμακας), για μεγαλύτερη και μικρότερη πυκνότητα. Η φυγοκέντρηση συνεχούς ροής με τον κλασικό ρότορα Foerst είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά αποτελεσματική αλλά τα ευαίσθητα κύτταρα της άλγης μπορούν να καταστραφούν καθώς σχηματίζονται μπαλίτσες στα τοιχώματα του ρότορα. Όλα τα σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης πάνω από κάποια οριακή τιμή συλλέγονται. Η χρησιμοποίηση φυγοκέντρησης κατά ζώνες μπορεί να έχει κάποια θεωρητικά πλεονεκτήματα στη συγκέντρωση και στον ταυτόχρονο καθαρισμό των σωματιδίων όπως μεγάλη χωρητικότητα, πιο

αποτελεσματική ανάκτηση σε σημαντικά χαμηλότερες ταχύτητες από ό,τι απαιτείται για τη συμβατική συνεχούς ροής φυγοκέντρωση, και την αποφυγή του σχηματισμού συσφαιρωμάτων. Το πλαγκτόν συμπεριλαμβανομένου και της άλγης συλλέγεται σε βαθμίδες σακχαρόζης στους ρότορες με ζώνες αλλά δεν γνωρίζουμε την αποτελεσματικότητα της ανάκτησης ή της ακεραιότητας της ανακτηθέντος άλγης [37].

5.1.3 Επίπλευση

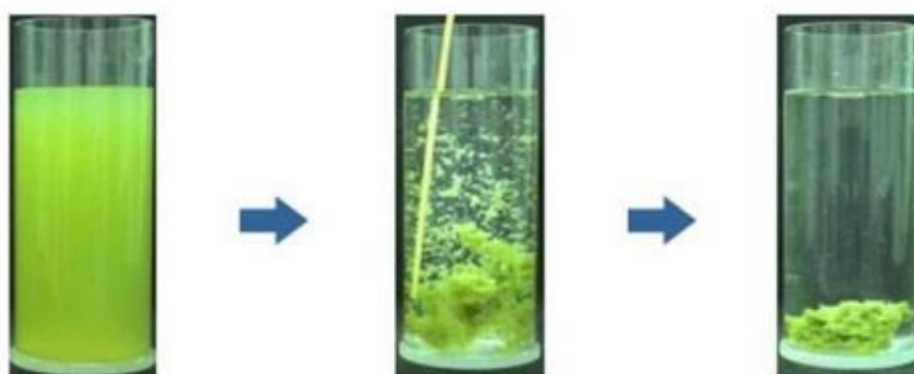
Συνήθως η επίπλευση χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την κροκίδωση για τη συγκομιδή άλγης σε λύματα. Είναι μια απλή μέθοδος με την οποία η άλγη μπορεί να επιπλεύσει στην επιφάνεια και να απομακρυνθεί ως αφρός. Με την μέθοδο της επίπλευσης διαλυμένου αέρα γίνεται διαχωρισμός της άλγης από την καλλιέργεια της χρησιμοποιώντας αφρό επίπλευσης και κροκίδωση. Με την μέθοδο του αφρού επίπλευσης, διαχωρίζεται η άλγη με τη ρύθμιση του pH και με την διοχέτευση του αέρα μέσα από μια στήλη για να δημιουργήσει έναν αφρό από άλγη που συσσωρεύεται πάνω από τη στάθμη του νερού. Η άλγη συγκεντρώνεται σαν αφρός και απομακρύνεται με αναρρόφηση. Το pH που απαιτείται εξαρτάται από το είδος της άλγης. Το κόστος της επίπλευσης αφρού εκτιμάται ότι θα είναι πολύ υψηλό για εμπορική χρήση. Παρά αυτό το γεγονός, το κόστος μπορεί να μειωθεί με την περαιτέρω έρευνα [38].



Σχήμα 15: Μηχάνημα διαχωρισμού της άλγης σε μορφή αφρού από την επιφάνεια της θάλασσας

5.1.4 Κροκίδωση

Είναι μια μέθοδος διαχωρισμού της άλγης με τη χρήση χημικών ώστε να αναγκάσει την άλγη να σχηματίσει σβώλους. [Σχήμα 16] Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου διαχωρισμού είναι η απομάκρυνση των χημικών από τη διαχωρισμένη άλγη καθιστώντας την μέθοδο αναποτελεσματική, ασύμφορη οικονομικά για εμπορική χρήση, αν και μπορεί να είναι πρακτική για προσωπική χρήση. Το κόστος για την απομάκρυνση αυτών των χημικών ουσιών μπορεί να είναι πολύ υψηλό για να είναι εμπορικά βιώσιμη [39].



Σχήμα 16: Διαχωρισμός της άλγης με κροκιδωτικά μέσα

Τα κροκιδωτικά μέσα είναι χημικές ουσίες που προωθούν την κροκίδωση προκαλώντας τα κολλοειδή και τα άλλα αιωρούμενα σωματίδια να ομαδοποιηθούν. Ο χλωριούχος σίδηρος είναι χημική κροκιδωτική ουσία που χρησιμοποιείται στη συγκομιδή της άλγης. Ένα εμπορικό προϊόν που ονομάζεται "Chitosan", που χρησιμοποιούνται συνήθως για τον καθαρισμό του νερού, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως κροκιδωτικό μέσο αλλά είναι πολύ πιο ακριβό. Η συγκομιδή με χημική κροκίδωση είναι μια μέθοδος που είναι συχνά πολύ ακριβή για μεγάλες επιχειρήσεις. Μια ενδεχόμενη διακοπή της παροχής του διοξειδίου του άνθρακα σε ένα σύστημα άλγης μπορεί να προκαλέσει την αυτόματη κροκίδωση της [39].

5.1.5 Συγκομιδή μακροάλγης

Η μακροάλη αναπτύσσεται είτε σε ένα συμπαγές υπόστρωμα ή επιπλέοντας ελεύθερα στο νερό. Με την επιπλεύουσα μακροάλη η συγκομιδή είναι εύκολη και γίνεται ανυψώνοντας ένα δίχτυ το οποίο είναι εγκατεστημένο στο σύστημα με μια μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με την μικροάλη, η οποία πρέπει να φιλτραριστεί για το διαχωρισμό της. Παλαιότερα, ο μόνος τρόπος για να συλλέξει κανείς τα φύκη ήταν να τα μαζέψει ένα προς ένα από τα δίχτυα, κάτι το οποίο ήταν πολύ χρονοβόρο. Σήμερα χρησιμοποιούνται βενζινοκίνητοι περιστροφικοί κόπτες. Ένας ή δύο άνδρες τραβούν τα δίχτυα προς τον κόπτη ενώ κάποιος άλλος διαχειρίζεται το σκάφος. Τα δίχτυα συγκομίζονται 3-4 φορές αλλά η συγκομιδή γίνεται βαθμιαία μικρότερη κάθε φορά. Στο τέλος της εποχής συγκομιδής, τα δίχτυα καθαρίζονται με νερό, στεγνώνουν και αποθηκεύονται για την επόμενη σεζόν. Επειδή τα είδη της άλης με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια μπορούν να αναπτυχθούν μέχρι και 30 φορές γρηγορότερα από τα είδη με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια, οι δυσκολίες για την αποτελεσματική παραγωγή βιοντίζελ από άλη βρίσκονται στην εξεύρεση ενός είδους με έναν συνδυασμό από υψηλό περιεχόμενο σε λιπίδια και γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης, οικονομικά αποδοτικό και εύκολο στη συγκομιδή [40].



Σχήμα 17: Μακροάλη η οποία έχει συλλεχθεί και αποξηραίνεται

5.2 Εξαγωγή ελαίου από Άλγη

Η εκχύλιση ελαίου μικροάλγης είναι το επόμενο στάδιο της συγκομιδής. Το έλαιο μικροάλγης παραμένει στα κύτταρα μετά από την ξήρανση. Το έλαιο παραμένει στο κύτταρο μέσω του κυτταρικού τοιχώματος και της κυτταρικής μεμβράνης που σταματάει την απελευθέρωση λαδιού από το κελί. Το βασικό σημείο της εξαγωγής ελαίου είναι η θραύση του κυτταρικού τοιχώματος και της κυτταρικής μεμβράνης, και στη συνέχεια η απελευθέρωση του λαδιού από τα κύτταρα της μικροάλγης. Το έλαιο μικροάλγης μπορεί να εξαχθεί με πολλές μεθόδους. Η Χημική μέθοδος ψυκτικής πρέσας, η Ενζυματική Εκχύλιση και η Υπερκρίσιμη Εξαγωγή Υγρών είναι οι συνήθεις μέθοδοι χρήσης στη διαδικασία εκχύλισης ελαίου από μικροάλγη [41].

Η Χημική ψυκτική τεχνολογία είναι μια σχετικά απλή μέθοδος στη βιομηχανική παραγωγή. Η αρχή είναι ότι οι αποξηραμένες πρώτες ύλες μικροάλγης πιέζονται απευθείας από ειδικές μηχανές με κάποιους χημικούς διαλύτες για να εξαχθεί το έλαιο. Η λειτουργία του χημικού διαλύτη (βενζόλιο, αιθέρας και εξάνιο) είναι να διαλυθεί το κυτταρικό τοίχωμα προκειμένου να γίνει απελευθέρωση ελαίου από τα κύτταρα της μικροάλγης. Κατά τη διάρκεια ολόκληρης της διαδικασίας, δεν υπάρχει ενέργεια θερμότητας. Το 95% της συνολικής περιεκτικότητας του ελαίου σε λάδι ενδέχεται να πιέζεται από τα κύτταρα της μικροάλγης χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο [41].

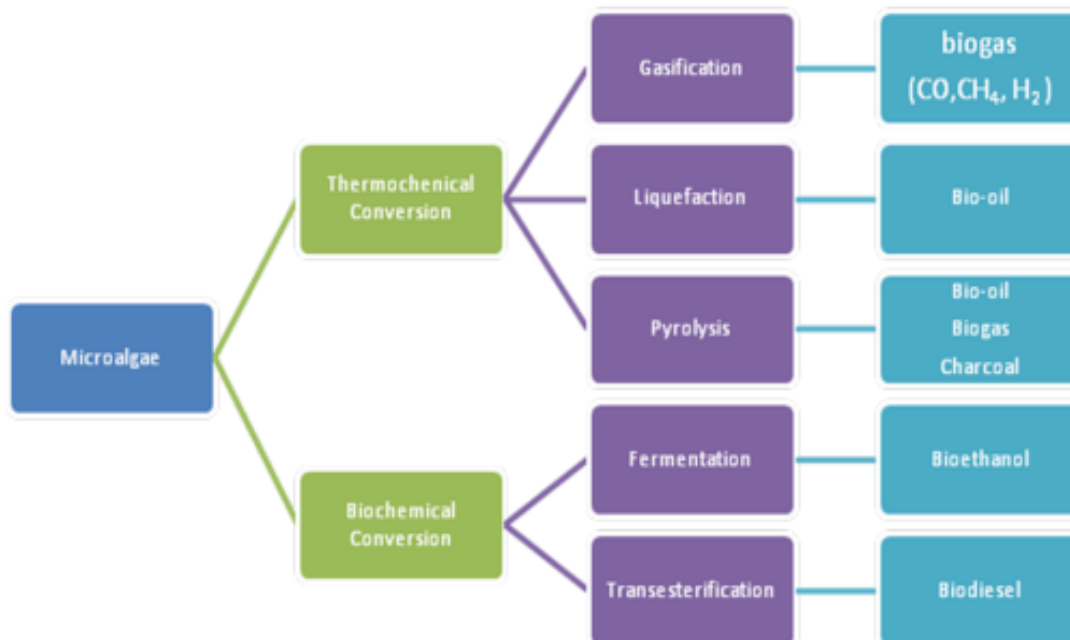
Η Ενζυματική Εκχύλιση αναφέρεται στη χρήση ενζύμου για την αποικοδόμηση του κυτταρικού τοιχώματος των αλγών, για να εξαχθεί το έλαιο. Αυτή η μέθοδος είναι πολύ πιο εύκολη από τις άλλες. Ο καταλύτης και η μεθανόλη προστίθενται στην ξηρή μικροάλγη μετατρέποντάς την σε μεθυλεστέρες, που είναι το κύριο περιεχόμενο του βιοντίζελ. Επειδή ο δεσμός των λιπιδίων του ελαίου υπάρχει στους μεθυλεστέρες, το έλαιο εξάγεται από τους αυτούς [42].

Το υπερκρίσιμο ρευστό αναφέρεται στη μείωση της θερμοκρασίας σε υπερκρίσιμη τιμή: το διοξείδιο του άνθρακα έχει τόσο αέρια όσο και υγρή μορφή που συνυπάρχουν στην υπερκρίσιμη θερμοκρασία. Αυτό το υπερκρίσιμο ρευστό ως οργανικός διαλύτης εισρέει στα κύτταρα της μικροάλγης για την εξαγωγή ελαίου. Η ποιότητα των λιπιδίων της άλγης μπορεί να προστατευτεί από το υπερκρίσιμο ρευστό στη διαδικασία εκχύλισης σε χαμηλή θερμοκρασία. Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί σε μια μικρή κλίμακα εκχύλισης βιοντίζελ. Ωστόσο, λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής, δεν έχει εφαρμοστεί για παραγωγή βιοκαυσίμων μεγάλης κλίμακας μέχρι στιγμής [43].

5.3 Μετατροπή ενέργειας από μικροάλγη σε βιοενέργεια

Η αρχή λειτουργίας της μετατροπής της ενέργειας από μικροάλγη είναι ότι τα υλικά βιομάζας μετατρέπονται σε ενέργεια βιοκαυσίμων με τη χρήση χημικών ή βιολογικών μεθόδων. Η θερμοχημική μετατροπή και η βιοχημική μετατροπή ως οι δύο κύριες ενεργειακές μετατροπές χρησιμοποιούνται συνήθως στα εργαστηριακά πειράματα και για ορισμένες βιομηχανικές παραγωγές.

Τα διάφορα είδη βιοενέργειας μπορούν να παραχθούν από μικροάλγη με διαφορετικές τεχνικές στις διαδικασίες μετατροπής ενέργειας [Σχήμα 18]. Προκειμένου να κατανοηθεί η καταλληλότερη τεχνική μέθοδος μετατροπής μικροάλγης, πρέπει να μελετηθεί η μετατροπή της ενέργειας. Υπάρχουν πέντε κοινά χρησιμοποιούμενες τεχνικές, οι οποίες είναι η αεριοποίηση, η υγροποίηση, η πυρόλυση, η ζύμωση και η διεστεροποίηση. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου, βιο-ελαίου, βιοντίζελ και βιοιθανόλης από μικροάλγη [44].



Σχήμα 18: Μετατροπή της μικροάλγης σε βιοενέργεια

5.3.1 Θερμοχημική μετατροπή

Η θερμοχημική μετατροπή είναι μια τεχνική που αναφέρεται στη χρήση χημικών μεθόδων για τη μετατροπή των υλικών βιομάζας σε βιοκαύσιμο υπό την επίδραση θερμότητας. Περιλαμβάνει αεριοποίηση, πυρόλυση και υγροποίηση.

Η **Αεριοποίηση** χαρακτηρίζεται από μερικές μη καταλυτικές αντιδράσεις οξείδωσης σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (Περίπου 800-900 °C), κατά την οποία τα στερεά καύσιμα μετατρέπονται σε καύσιμα φυσικού αερίου. Τα κύρια προϊόντα περιλαμβάνουν CO, H₂, CH₄ και αμμωνία τα οποία μετατρέπονται από τα παράγωγα του αζώτου.[45] Ωστόσο, στις έρευνες μετατροπής ενέργειας μικροάλης, έχει βρεθεί μία τεχνολογία αεριοποίησης με χαμηλή θερμοκρασία. Με αυτή την τεχνική, το βιοαέριο εξάγεται από τη μικροάλη με κυκλοφορία αζώτου. Ο κύκλος του αζώτου είναι ένα είδος συστήματος ανακύκλωσης μαζί με την αεριοποίηση των μικροαλγών. Το άζωτο μπορεί να μετατραπεί σε αμμωνία στη διαδικασία αεριοποίησης, οπότε η αμμωνία διαλύεται στο ανακτηθέν διάλυμα. Το ανακτηθέν διάλυμα που περιέχει αμμωνία ως θρεπτικό άζωτο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια μικροάλης. Η υψηλή υγρασία που περιέχει η μικροάλη μπορεί να αεριοποιηθεί με μεθανόλη χωρίς ξήρανση [46].

Η **Υγροποίηση** στην παραγωγή βιομάζας σημαίνει ότι κάτω από τη δράση του καταλύτη, οι μικρές μοριακές ενώσεις αποσυντίθενται. Στη συνέχεια, οι μικρές μοριακές ενώσεις πολυμερίζονται σε ενώσεις ελαίου. Στη διαδικασία εκχύλισης μικροάλης, τα κύτταρα της μικροάλης τοποθετούνται σε ένα αεροστεγή λέβητα από ανοξείδωτο χάλυβα, στη συνέχεια προστίθεται ένα μίγμα αντίδρασης και όλα θερμαίνονται. Το άζωτο προστίθεται στο λέβητα για τον καθαρισμό του υπολειμματικού αερίου. Ο λέβητας θερμαίνεται για να πάρει μία κατάλληλη θερμοκρασία (525-600 °C) για περίπου 5-60 λεπτά, κατόπιν ψύχεται με ηλεκτρικό ανεμιστήρα [46]. Το διχλωρομεθάνιο (CH₂Cl₂) ως οργανικός διαλύτης χρησιμοποιείται συνήθως στην αντίδραση αυτή για να διαχωρίσει το νερό από τη μικροάλη και το κλάσμα ελαίου. Εν τω μεταξύ, τα στερεά κατάλοιπα μπορούν να φιλτραριστούν από το διχλωρομεθάνιο. Η λειτουργία της υγροποίησης στην παραγωγή μικροάλης είναι η χρήση ακατέργαστων υλικών μικροάλης για την παραγωγή βιοκαυσίμου, αντί για βενζίνη.

Η **Πυρόλυση** είναι μια αντίδραση αποσύνθεσης σε υψηλή θερμοκρασία χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Στη μετατροπή ενέργειας από μικροάλη, η πυρόλυση είναι μια θερμοχημική διαδικασία η οποία μετατρέπει τη βιομάζα σε βιοκαύσιμο. Το υλικό της βιομάζας καίγεται με απουσία οξυγόνου μέχρι περίπου 500 °C. Έπειτα παράγονται πλούσιο σε υδρογονάνθρακα αέριο μείγμα, κλάσμα ελαίου και στερεό υπόλειμμα με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα [47]. Η διαδικασία αργής πυρόλυσης και η διαδικασία γρήγορης πυρόλυσης είναι οι δύο κύριες μέθοδοι της

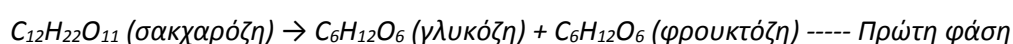
τεχνολογίας πυρόλυσης. Στη διαδικασία της γρήγορης πυρόλυσης, υπό την επίδραση του καταλύτη, της υψηλής ταχύτητας θέρμανσης και του σύντομου χρόνου παραμονής του αερίου, η βιομάζα μπορεί να αποσυντεθεί και τότε όλα τα αέρια θα ψυχθούν ταχέως στο υγρό καύσιμο ως βιοκαύσιμο. Λόγω της λειτουργικής θεωρίας της γρήγορης πυρόλυσης, η διαδικασία γρήγορης πυρόλυσης συνιστάται για να εφαρμοστεί στην παραγωγή βιοκαυσίμων [47]. Ο αρχή λειτουργίας είναι η ξήρανση και η λείανση των υλικών βιομάζας και στη συνέχεια η πλήρωση των υλικών στον αντιδραστήρα. Μετά από αυτό, τα προϊόντα ρέουν σε έναν κυκλώνα για ψύξη και διαχωρισμό των τελικών προϊόντων (βιο-ντίζελ, άνθρακα και φυσικό αέριο). Ορισμένα από τα αέρια μπορούν να ανακυκλωθούν στο στάδιο ξήρανσης και άλλα αέρια ανακατεύονται στον αντιδραστήρα για την παροχή θερμότητας κατά τη διαδικασία θέρμανσης.

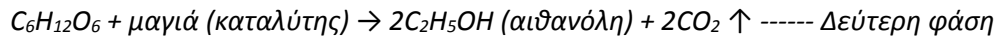
Σε σύγκριση με τη διαδικασία γρήγορης πυρόλυσης, η αργή διαδικασία πυρόλυσης έχει χαμηλή ταχύτητα θέρμανσης και μεγαλύτερο χρόνο παραμονής του αερίου. Προκαλεί μείωση της απόδοσης του ελαίου και επηρεάζει τις ιδιότητες του βιοκαυσίμου. Επί του παρόντος, η αργή διαδικασία πυρόλυσης σπάνια έχει χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή βιοκαυσίμων.

5.3.2 Βιοχημική μετατροπή

Βιοχημική διαδικασία σημαίνει μια διαδικασία στην οποία τα βιοχημικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών βιομάζας και ο μεταβολισμός των μικροβίων χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αερίου και υγρού καυσίμου. Υπάρχουν δύο συνήθεις μέθοδοι βιοχημικής μετατροπής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ενέργειας μικροβίων, η ζύμωση και η μέθοδος διεστεροποίησης.

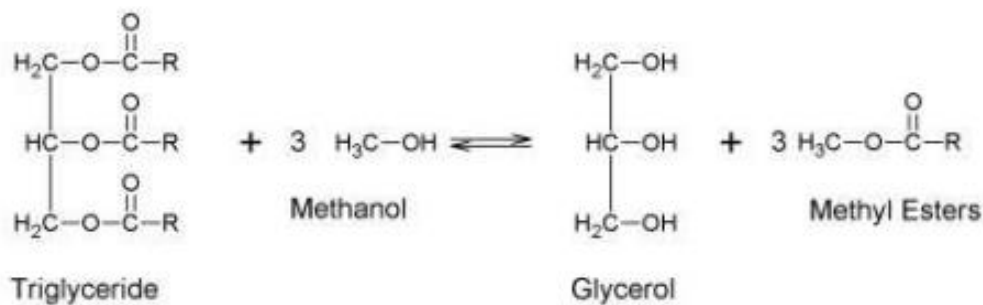
Η **ζύμωση** αναφέρεται σε μια διαδικασία που μετατρέπει το σάκχαρο σε αέρια και αιθανόλη (αλκοόλη) με παρουσία καταλύτη. Η ζύμωση εφαρμόζεται ευρέως στην παραγωγή βιοαιθανόλης από καλλιέργειες ζάχαρης και καλλιέργειες αμύλου [48]. Η μετατροπή του βιοκαυσίμου από τη μικροάλγη με τη μέθοδο ζύμωσης είναι πρακτική προσεγγίσιμη. Η μικροάλγη περιέχει πλούσια ποσότητα αμύλου, το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε ζάχαρη. Οι διαδικασίες παραγωγής μπορούν να παρουσιαστούν με τα ακόλουθα βήματα. Στο πρώτο βήμα, το άμυλο εξάγεται από τη μικροάλγη με τη βοήθεια ενός ενζύμου ή μιας μηχανολογικής μηχανής. Το δεύτερο βήμα είναι όταν τα κύτταρα της μικροάλγης αρχίζουν να αποικοδομούνται. Κατόπιν παράγεται αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Οι εξισώσεις αντίδρασης είναι:





Στο τελευταίο βήμα, η υγρή αιθανόλη θα αφαιρεθεί από τη δεξαμενή και θα εισαχθεί σε άλλη δεξαμενή αποθήκευσης για να αποσταχθεί. Το αέριο διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί ξανά για καλλιέργεια μικροάλης [6].

Η **διεστεροποίηση** είναι αντίδραση ανταλλαγής. Με την παρουσία καταλύτη, ένας εστέρας αντιδρά με μία αλκοόλη για να παράγει ένα νέο εστέρα και μια νέα αλκοόλη. Ο καταλύτης μπορεί να είναι ένα οξύ, μια βάση ή ένα ένζυμο (βιοκαταλύτης). Δεδομένου ότι αυτή η αντίδραση είναι μια αναστρέψιμη αντίδραση, η μεθανόλη πρέπει να προστεθεί ως περίσσεια για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων[49]. Η αντίδραση διεστεροποίησης είναι:



Σχήμα 19: Αντίδραση διεστεροποίησης [50]

Η διεστεροποίηση μπορεί να εφαρμοστεί για την παραγωγή βιοντίζελ από μικροάλη. Το πρώτο βήμα είναι η εκχύλιση του λαδιού από τη μικροάλη και στη συνέχεια η αφαίρεση του νερού από το λάδι αυξάνοντας τη θερμοκρασία μέχρι τους 120 °C σε 5-10 λεπτά. Η απομάκρυνση του νερού γίνεται επειδή μπορεί να οδηγήσει σε σαπωνοποίηση όταν ραγίσει ο εστερικός δεσμός του τριγλυκεριδίου. Στη συνέχεια, το δεύτερο βήμα είναι η διαδικασία ανάμιξης, στην οποία το λάδι, το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και η μεθανόλη ψύχονται και αναμιγνύονται. Μετά από αυτό, το μίγμα συγκεντρώνεται σε μια δεξαμενή με καταλύτη για ανάδευση. Το προϊόν είναι μεθοξείδιο του νατρίου. Το ακόλουθο βήμα είναι η θέρμανση του καθαρού λαδιού στους 60 °C μέσα σε 5 λεπτά, και στη συνέχεια η μηχανική ανάμιξη για περίπου 30 λεπτά. Στη συνέχεια το διάλυμα του μίγματος ψύχεται και διαχωρίζεται στο τρίτο βήμα. Η διαδικασία διαχωρισμού πρέπει να διαρκεί 15-60 λεπτά. Μετά από όλα αυτά, ο μεθυλεστέρας επιπλέει στην κορυφή και η γλυκερόλη

στο κάτω μέρος. Το τελευταίο βήμα είναι η πλύση και το στέγνωμα το μεθυλεστέρα (βιοντίζελ) [51].

Τα χαρακτηριστικά της μικροάλγης και των διαδικασιών παραγωγής τους με διαφορετικές τεχνικές έχουν αναφερθεί και έχουν μελετηθεί. Η μικροάλγη ως πρώτη ύλη τρίτης γενιάς βιοκαυσίμων έχει κατανοηθεί λεπτομερώς από την καλλιέργεια στην παραγωγή βιοενέργειας. Μετά από αυτό, πρέπει να αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μικροαλγών σε σύγκριση με άλλες πρώτες ύλες βιομάζας.

6.Αποτελέσματα

6.1 Η σύγκριση μεταξύ μικροαλγών και άλλων αποθεμάτων βιομάζας

Το βιοκαύσιμο χρησιμοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Οι αρχικές πρώτες ύλες για βιοκαύσιμα είναι μόνο τα ξύλα και τα καλαμπόκια. Χρησιμοποιούνται μόνο για θέρμανση και μαγείρεμα. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ελαίου κάποιες καλλιέργειες τροφίμων (καλαμπόκι, σιτάρι). Αυτές οι καλλιέργειες είναι γνωστές ως βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς. Μετά από αυτό, οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι η βιοαιθανόλη και το βιομεθάνιο μπορούν να εξαχθούν και από λιγνοκυτταρινικά υλικά. Από τότε, εμφανίστηκε το βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς. Οι μικροάλγες, ως αντιπροσωπευτική πρώτη ύλη για το βιοκαύσιμο τρίτης γενιάς, αναγνωρίζονται πρόσφατα από τους ανθρώπους. Σε σύγκριση με το βιοκαύσιμο της πρώτης και της δεύτερης γενιάς, για το ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μικροαλγών στον ενεργειακό εφοδιασμό και στην παραγωγή ενέργειας, θα συζητηθούν σε αυτό το κεφάλαιο.

6.1.1 Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς

Τα τρόφιμα ως κύριος αντιπρόσωπος της πρώτης γενιάς βιοκαυσίμων έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη βιομηχανική παραγωγή βιοκαυσίμων. Οι πρώτες ύλες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: καλλιέργειες ζάχαρης (ζαχαροκάλαμο και ζαχαρότευτλα), καλλιέργειες αμύλου (καλαμπόκι, σιτάρι και σόργο) και ελαιούχες καλλιέργειες (κράμβη, σόγια και ηλίανθος) [Σχήμα 20]. Όλες αυτές οι πρώτες ύλες μπορούν να μετατραπούν στο βιοκαύσιμο με διαφορετικές τεχνικές. Για παράδειγμα, το καλαμπόκι είναι μια από τις πιο κοινές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην Αμερική και τη Βραζιλία [52]. Το κύριο προϊόν είναι η βιο-μεθανόλη η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει ποσοστό της βενζίνης. Αλλά η ανάπτυξη του βιοκαυσίμου πρώτης γενιάς περιορίζεται από ορισμένα προβλήματα. Οι καλλιέργειες δεν έχουν μόνο μεγαλύτερο κύκλο ανάπτυξης, αλλά απαιτούν επίσης μεγάλες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης. Η πρώτη γενιά βιοκαυσίμων παρήχθη σε μεγάλη κλίμακα, έτσι ώστε να καταλήξει σε πολλή αρόσιμη γη και να οδηγήσει σε μειωμένο πρόβλημα παραγωγής τροφίμων. Ως εκ τούτου, η επίλυση της

"ενεργειακής κρίσης" από τις καλλιέργειες τροφίμων θα αυξήσει την "κρίση τροφίμων"



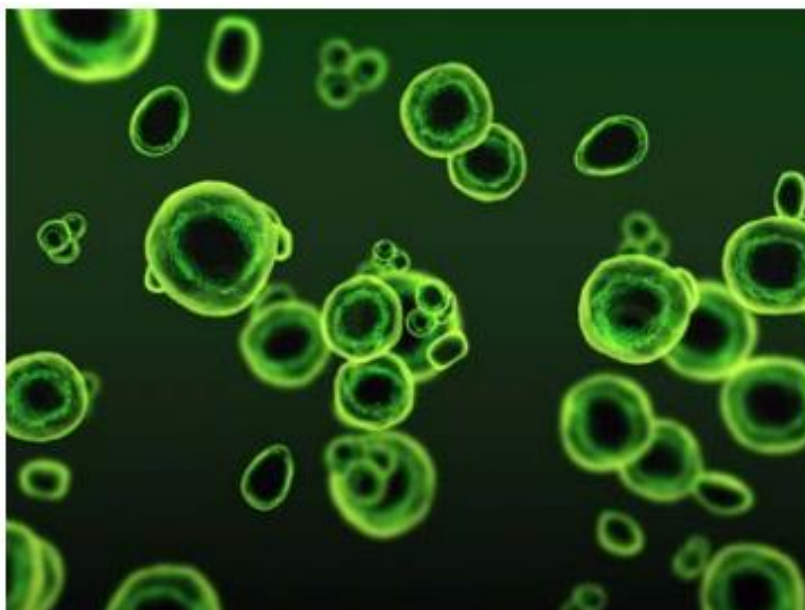
Σχήμα 20: Οι πρώτες ύλες των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς [82]

6.1.2 Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς

Το βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς χρησιμοποιεί τις καλλιέργειες λιγνοκυτταρινών ως πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Οι λιγνοκυτταρίνες υπάρχουν σε ποώδη και ξυλώδη φυτά, καθώς και σε όλα τα είδη ξυλείας και άλλα απορρίμματα καλλιεργειών (χλοοτάπητα). Εφόσον δοκιμάστηκε η σκοπιμότητα παραγωγής της δεύτερης γενιάς βιοκαυσίμων, οι άνθρωποι ελπίζουν ότι αυτή η νέα πρώτη ύλη βιοκαυσίμων μπορεί να επιβραδύνει ελαφρώς την έλλειψη τροφίμων και τα υπερβολικά προβλήματα αποκατάστασης της γης. Ακόμα και οι πρώτες ύλες λιγνοκυτταρίνης μπορούν να αντικατασταθούν από τις καλλιέργειες τροφίμων. Αλλά ακόμα κι αν η χαμηλότερη τιμή των πρώτων υλών βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς και η υψηλή συγκέντρωση της κυτταρίνης είναι τα πλεονεκτήματα του βιοκαυσίμου δεύτερης γενιάς, το κόστος παραγωγής του βιοκαυσίμου δεύτερης γενιάς είναι πολύ υψηλότερο από το βιοκαύσιμο πρώτης γενιάς [52]. Έτσι, η δεύτερη γενιά βιοκαυσίμων δεν έχει επιτύχει ακόμη εμπορική παραγωγή.

6.1.3 Τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς

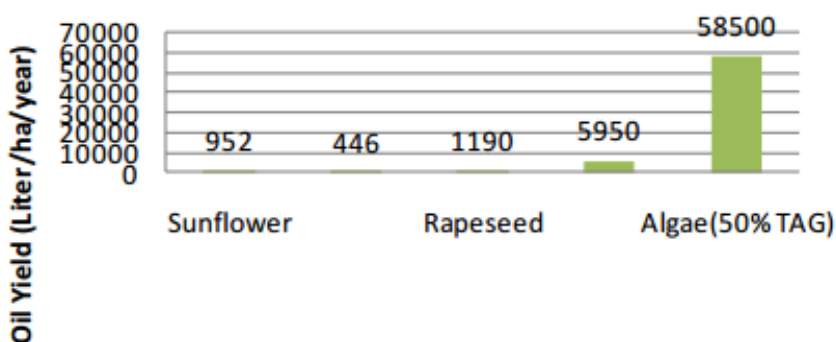
Τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς προέρχονται από βιομάζα με μεγάλη στρεμματική απόδοση (άλγη – μικροφύκη). Τα τροφοδοτικά αποθέματα βιοκαυσίμων τρίτης γενιάς είναι υδρόβιοι μικροοργανισμοί [Σχήμα 21]. Τα πλεονεκτήματα των μικροαλγών είναι η υψηλή ικανότητα προσρόφησης άνθρακα, τα υψηλά λιπιδικά περιεχόμενα, το απλό περιβάλλον ανάπτυξης και η βραχύχρονη ανάπτυξη. Μεταξύ αυτών, τα λιπίδια που προέρχονται από τις μικροάλγεις είναι 25 έως 200 φορές περισσότερα από αυτά που παράγονται από τη τη σόγια [53]. Το εκχυλισμένο έλαιο από μικροάλγη μπορεί να μετατραπεί σε βιοντίζελ και ο υδατάνθρακας του μπορεί να ζυμωθεί με αλκοόλη, καθώς και το άζωτο και ο φώσφορος μπορούν να ανακυκλωθούν ως λίπασμα.



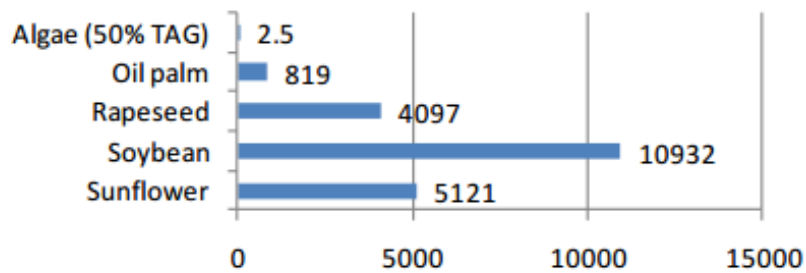
Σχήμα 21: Μικροοργανισμοί της μικροάλης

Σε σύγκριση με τα χερσαία φυτά, η μικροάλη μπορεί να εξοικονομήσει πολύ περισσότερη αρόσιμη γη και πηγές γλυκού νερού από άλλες πρώτες ύλες βιοκαυσίμων. Αλλά η πρώτη γενιά βιοκαυσίμων (καλαμπόκι) έχει επιτευχθεί μέσω παραγωγής μεγάλης κλίμακας. Αντιθέτως, οι ανώριμες τεχνικές παραγωγής βιοενέργειας από μικροάλγεις και οι άγνωστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι δύο από τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την επίτευξη μεγάλης κλίμακας παραγωγής βιοκαυσίμου από μικροαλγών.

Τα αποθέματα ελαίου μικροάλης και οι απαιτήσεις σε έκταση διαφορετικών ειδών βιομάζας φαίνονται στα Σχήματα 22 και 23 παρακάτω [53]:



Σχήμα 22: Αποθέματα ελαίου διαφορετικών ειδών βιομάζας



Σχήμα 23: Απαιτήσεις εκτάσεων γης για διαφορετικά είδη βιομάζας (ha x10⁶)

Σε αυτές τις δυο αναλύσεις, η 50% Triacylglycerols (TAG) άλγη, δηλαδή μικροάλγη η οποία περιέχει 50% λιπίδια και καλλιεργείται σε σύστημα κλειστών φωτοβιοαντιδραστήρων, χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα. Τα αποτελέσματα αυτών μελετών έδειξαν ότι το φοινικέλαιο είναι η καλύτερη πρώτη ύλη πρώτης και δεύτερης γενιάς βιοκαυσίμων, η οποία έχει την υψηλότερη απόδοση ελαίου και τη χαμηλότερη χρήση έκτασης γης [Σχήμα 22 και Σχήμα23]. Σε σύγκριση με το φοινικέλαιο, οι μικροάλγες με 50% περιεκτικότητα σε έλαιο μπορούν να παράγουν τουλάχιστον 10 φορές την ποσότητα φοινικέλαιου, με μόνο 1/160 χρήση της έκτασης. Η πολύ χαμηλότερη απαίτηση σε έκταση και η υψηλή απόδοση ελαίου είναι επομένως σημαντικά πλεονεκτήματα των μικροαλγών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα σύγκρισης μεταξύ μικροαλγών και άλλων τροφοδοτικών αποθεμάτων βιομάζας, τα κύρια πλεονεκτήματα των μικροαλγών μπορούν να παρατηρηθούν παραπάνω. Πρόκειται για υψηλές αποδόσεις ελαίου και λιγότερη χρήση της γης. Ωστόσο, η μεγαλύτερη πρόκληση έχει αποδειχθεί ότι είναι η μη επίτευξη παραγωγής βιομάζας μικροαλγών σε μεγάλη κλίμακα. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις για παραγωγή μεγάλης κλίμακας.

6.2 Οι απαιτήσεις της παραγωγής μικροάλγης μεγάλης κλίμακας

Για την υλοποίηση του στόχου της βιομηχανοποίησης της βιοενέργειας που είναι δυνατό να παραχθεί από τις μικροάλγεις και προκειμένου να αντικατασταθεί εν μέρει τα ορυκτά καύσιμα, πρέπει να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται παραγωγή μικροαλγών μεγάλης κλίμακας. Οι συνθήκες παραγωγής μεγάλης κλίμακας είναι πιο περίπλοκες από τα πειραματικά εργοστάσια, τα οποία χρειάζονται σταθερές πηγές ώστε να μπορούν να παρέχουν συνεχώς εφοδιασμό. Η κλιματική κατάσταση, οι υδάτινοι πόροι, το διοξείδιο του άνθρακα, η γη και τα θρεπτικά

συστατικά είναι οι βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την παραγωγή μικροαλγών μεγάλης κλίμακας.

● Κλιματική κατάσταση

Οι αυτότροφες μικροάλγες χρειάζονται ένα περιβάλλον χαμηλού ηλιακού φωτός για καλλιέργεια. Η έντονη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη μικροαλγών, ακόμη και να οδηγήσει σε θάνατο τα μικροκύτταρα τους. Η ηλιακή ακτινοβολία περίπου $1500 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$ είναι η καταλληλότερη προϋπόθεση για ανάπτυξη μικροαλγών [54]. Δεδομένου ότι οι οργανισμοί της μικροάλγης ζουν στο νερό, η θερμοκρασία του αέρα έχει μικρή επίδραση στην παραγωγή τους. Η θερμοκρασία του νερού που μπορεί να επηρεαστεί από την ηλιακή θέρμανση και την εξάτμιση ψύξης, είναι σημαντική για την ανάπτυξη τους. Έτσι, όταν η θερμοκρασία του νερού αλλάξει λόγω των κλιματικών συνθηκών, θα επηρεαστεί σημαντικά ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροαλγών. Βάσει της βιβλιογραφίας, για την επίτευξη μιας κατάλληλης κλιματολογικής κατάστασης, η καλύτερη μέση μηνιαία θερμοκρασία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $15 \text{ }^\circ\text{C}$ [54]. Επομένως, το ξηρό τροπικό περιβάλλον είναι η καλύτερη συνθήκη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια μικροαλγών μεγάλης κλίμακας όλο το χρόνο.

● Υδατικοί πόροι

Απαιτούνται μεγάλες ποσότητες υδάτινων πόρων κατά τη διάρκεια της παραγωγής μικροαλγών. Επομένως, το χαμηλό κόστος των υδάτινων πόρων είναι ένα κρίσιμο πρόβλημα στην εμπορική παραγωγή. Για την καλλιέργεια μικροαλγών πρέπει να προστεθεί γλυκό νερό στη λίμνη και για να εξισορροπηθεί η εξάτμιση του νερού καθώς και για να γίνει η ψύξη των φωτοβολταϊκών στο κλειστό σύστημα καλλιέργειας. Γενικά, οι συνιστώμενες προσεγγίσεις είναι (1) η χρήση θαλασσινού ή αλατούχου υπόγειου ύδατος σε καλλιέργειες μικροαλγών. Οι παράκτιες περιοχές διαθέτουν αρκετούς πόρους θαλάσσιων υδάτων που έχουν εν δυνάμει δυνατότητα υποστήριξης καλλιέργειας μικροαλγών για παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Όμως, εξαιτίας της αυξημένης αλατότητας θα πρέπει να επιλέγονται είδη άλγης ανθεκτικά σε τέτοια περιβάλλοντα ή θα πρέπει το νερό να υπόκειται σε μερική αφαλάτωση ώστε να μην αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Αυτή η διαδικασία προεπεξεργασίας θα αυξήσει την απαίτηση σε ενέργεια για την λειτουργία της μονάδας και το κόστος παραγωγής [50]. (2) Το νερό ανακύκλωσης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος των υδάτινων πόρων. Ωστόσο, η υψηλή συγκέντρωση μολυσματικών και ρυπογόνων παραγόντων (όπως βακτηρίδια, ιοί και μερικές χημικές ουσίες) που περιέχονται στο νερό ανακύκλωσης μπορεί να καταστρέψει τα κύτταρα των μικροαλγών.

Η πιθανότητα καλλιέργειας μικροάλγης σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης εξαιτίας της ικανότητας τους να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε αέριο υδρογόνο απευθείας χωρίς να καταναλώνουν νερό υπό τις κατάλληλες συνθήκες [55]. Η ποσότητα κατανάλωσης νερού των χερσαίων φυτών κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης είναι 200 -1000 φορές το ξηρό βάρος των προϊόντων τους. Ως εκ τούτου, οι μικροάλγεις είναι πιο κατάλληλες για καλλιέργεια από τα χερσαία φυτά σε περιοχές με λειψυδρία [55].

- **Διοξείδιο του άνθρακα:**

Απαιτείται υψηλή συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα για την παραγωγή μικροαλγών, έτσι ώστε το εμπλουτισμένο με CO₂ περιβάλλον να είναι κατάλληλο για παραγωγή μικροαλγών μεγάλης κλίμακας. Τα εργοστάσια παραγωγής τους θα πρέπει να κατασκευαστούν κοντά σε χώρους υψηλής εκπομπής CO₂ όπως ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανικά εργοστάσια χημικών, εργοστάσια επεξεργασίας φυσικού αερίου και εργοστάσια παραγωγής αμμωνίας κλπ.

- **Εκτάσεις:**

Το θαλασσινό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια μικροαλγών στην παράκτια περιοχή, ώστε να χρησιμοποιηθεί λιγότερη έκταση από άλλες πρώτες ύλες. Εάν υπάρχουν λίγες ανοιχτές λίμνες που χρειάζονται εγκατάσταση στην χερσαία γη, ίσως η καλύτερη επιλογή είναι μια επίπεδη έκταση με κλίση εδάφους μικρότερη από 5%. Διαφορετικά, η εγκατάσταση εργοστασιακού εξοπλισμού και το κόστος παραγωγής θα επηρεαστούν σημαντικά.

- **Θρεπτικά συστατικά:**

Η ενίσχυση με θρεπτικά συστατικά, όπως το άζωτο, το κάλιο και ο φώσφορος, μιας καλλιέργειας μικροάλγης με χρήση λιπασμάτων απαιτεί πολύ χρόνο προκειμένου να αυξήσει τον ρυθμό ανάπτυξης τους,. Επειδή κάθε κύτταρο άλγης περιέχει περίπου 7% άζωτο και 1% φώσφορο στην παραγωγή μικρής κλίμακας, οι μικροάλγεις μπορούν να απορροφήσουν αυτές τις θρεπτικές ουσίες από το νερό. Αλλά η ζήτηση θρεπτικών συστατικών σε μεγάλη κλίμακα είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγωγή μικρού μεγέθους. Για παράδειγμα, αν όλα τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για μεταφορές στην ΕΕ αντικατασταθούν από καύσιμα που προέρχονται από μικροάλγεις, χρειάζονται περίπου 25 εκατομμύρια τόνους αζώτου

και 4 εκατομμύρια τόνους φωσφόρου ετησίως. Οι ποσότητες αυτές υπερβαίνουν αρκετά την τρέχουσα παραγωγική ικανότητας λιπασμάτων της ΕΕ και επομένως δεν θα ήταν δυνατή η υποστήριξη μόνο από τα εργοστάσια λιπασμάτων της ΕΕ μιας τόσο μεγάλης κλίμακας καλλιέργειας μικροαλγών [56].

Η υπέρβαση της απαιτούμενης ποσότητας λιπασμάτων μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό και να οδηγήσει σε πρόβλημα ρύπανσης του περιβάλλοντος. Μια από τις προτάσεις για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η χρήση αποβλήτων που περιέχουν άζωτο, κάλιο και φώσφορο για την καλλιέργεια μικροάλης [57]. Επιπλέον, οι καταλύτες χρησιμοποιούνται στη διαδικασία εκχύλισης ελαίου. Οι καταλύτες ως ένα είδος μικροθρεπτικών συστατικών θα πρέπει να έχουν σταθερές πηγές που θα παρέχονται στην παραγωγή μικροαλγών μεγάλης κλίμακας.

6.3 Οικονομία της παραγωγής βιοενέργειας μικροαλγών

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας πέρα από τους προαναφερθέντες είναι ο οικονομικός. Είναι ζωτικής σημασίας παράγοντας στην παραγωγή μικροαλγών σε εμπορική κλίμακα. Το κόστος της παραγωγικής ικανότητας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το περιεχόμενο του ελαίου, η ποσότητα παραγωγής μικροάλης, το κόστος μετατροπής, το κόστος μεταφοράς, οι φόροι κλπ. Επί του παρόντος, το κόστος του ελαίου μικροαλγών είναι πολύ πιο ακριβό από το πετρέλαιο. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι η τιμή ετήσιας παραγωγής 10.000 τόνων μικροαλγών που περιέχουν 30% λιπίδια είναι \$ 2,80 / λίτρο (ίση με 10,50 / γαλόνι), εξαιρώντας το κόστος μετατροπής, το κόστος μάρκετινγκ και τον φόρο [58]. Κατ' αντιστοιχεία, η τιμή πετρελαίου είναι 3,80 - 4,5 δολάρια ανά γαλόνι στις Η.Π.Α.

Η τιμή του ελαίου μικροαλγών σχετίζεται άμεσα με την τιμή του πετρελαίου. Υπάρχει μια εξίσωση υπολογισμού που μπορεί να εξηγήσει τη σχέση μεταξύ του ελαίου άλης και του πετρελαίου.

$$C_{microalgae\ oil} = 25,9 \times 10^{-3} C_{petroleum\ oil} \quad (C = Cost)$$

(Το κόστος ελαίου των μικροαλγών είναι \$ / γαλόνι, η μονάδα του πετρελαίου κοστίζει \$ / βαρέλι).

Αυτή η εξίσωση είχε ως αποτέλεσμα την επίτευξη ανταγωνιστικής ανωτερότητας του ελαίου μικροαλγών. Η τιμή του ελαίου μικροάλης πρέπει να

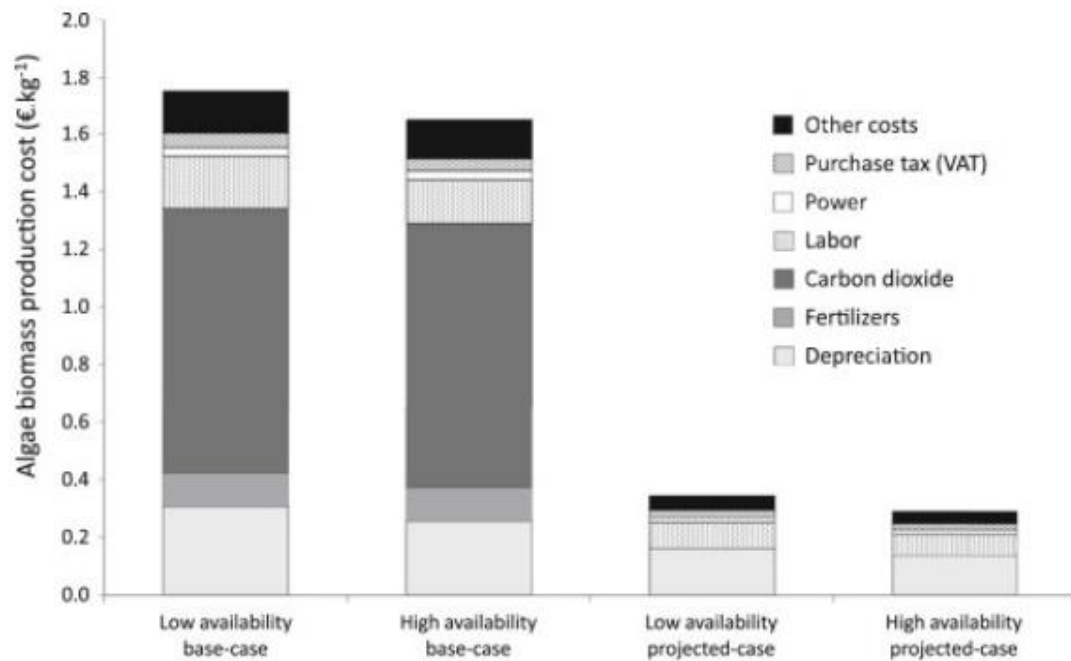
είναι κάτω από 2,59 \$ / γαλόνι εάν η τιμή πετρελαίου είναι 100 \$ / βαρέλι. Συνεπώς, ο τρόπος μείωσης της τιμής του ελαίου μικροαλγών είναι το πιο δύσκολο πρόβλημα για την εκμετάλλευση της βιοενέργειας τους.

Το κόστος κατανάλωσης ενέργειας των μικροαλγών

Η ανάλυση κόστους ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του κόστους του συστήματος παραγωγής μικροάλγης και να βοηθήσει να εντοπιστούν οι κύριοι παράγοντες που κατέλαβαν το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους παραγωγής. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα αυτά μπορούν να παρέχονται στη μελλοντική βελτίωση της τεχνολογίας. Τα δεδομένα βασίζονται στην παραγωγή σε εργαστηριακή κλίμακα. Παρουσιάζονται τέσσερα διαφορετικά σενάρια που δείχνουν το κόστος παραγωγής από την καλλιέργεια μέχρι τις διαδικασίες συγκομιδής. Τα κόστη των παραπροϊόντων και το κόστος επεξεργασίας λυμάτων εξαιρέθηκαν σε αυτά τα ακόλουθα στοιχεία.

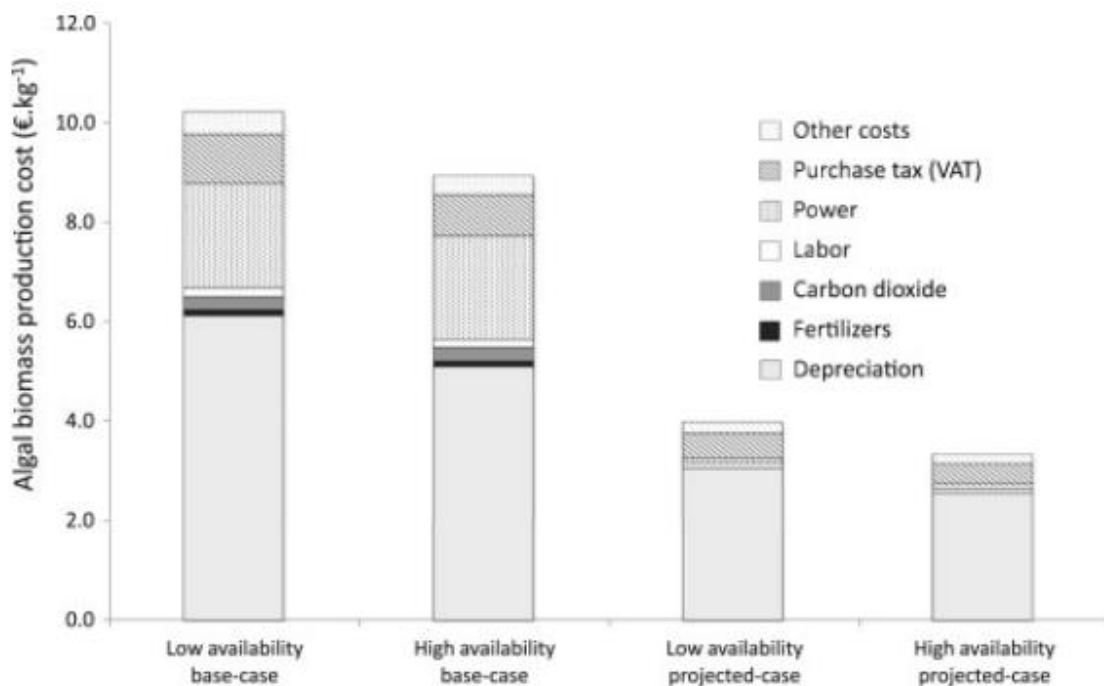
Στο Σχήμα 24 περιγράφονται οι περιπτώσεις των βασικών συστημάτων. Στα βασικά σενάρια είναι η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών για την επίτευξη μεγάλης κλίμακας παραγωγής. Τα σχεδιασμένα σενάρια υποθέτουν την αύξηση της παραγωγικότητας με χρήση προηγμένων προσεγγίσεων για την επίτευξη εμπορικής παραγωγής, π.χ. το CO₂ θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιεί καυσαέρια και τα θρεπτικά συστατικά προέρχονται από λύματα. Τα χαμηλά και υψηλά επίπεδα αναφέρονται στον αριθμό των ημερών παραγωγής, το χαμηλό επίπεδο υποτίθεται ότι είναι 300 ημέρες το χρόνο και το υψηλό επίπεδο υποτίθεται ότι είναι 360 ημέρες το χρόνο.

Το κόστος παραγωγής στη βασική περίπτωση κυμαίνεται μεταξύ 1,6 € / kg και 1,8 € / κιλό, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 24. Το κόστος στην προβλεπόμενη περίπτωση είναι μεταξύ 0,3 € / kg και 0,4 € / kg. Υπάρχουν μικρές διαφορές μεταξύ χαμηλών και υψηλών επιπέδων. Η διαφορά επιτοκίων είναι περίπου 5%. Σε σύγκριση με την βασική υπόθεση, το κόστος της προβλεπόμενης περίπτωσης μειώθηκε περισσότερο από 50%. **Τα δεδομένα έδειξαν ότι το κόστος του CO₂ είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που πλήττει το κόστος παραγωγής στο ανοικτό σύστημα λιμνών.** Ο κύριος λόγος είναι ότι το ανοικτό σύστημα λιμνών έχει κακή σταθεροποίηση CO₂. Ωστόσο, η προβλεπόμενη περίπτωση μπορεί να μειώσει το κόστος του CO₂ (περίπου 0,25 € / kg), επειδή η υψηλή παραγωγικότητα και οι πηγές CO₂ θεωρήθηκαν ότι προέρχονται από παρακείμενο σταθμό παραγωγής ενέργειας (χωρίς χρέωση). Το κόστος του λιπάσματος είναι ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το κόστος παραγωγής. Εάν η μονάδα παραγωγής μικροαλγών και η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, τότε τα θρεπτικά συστατικά θα είναι δωρεάν.



Σχήμα 24: Το κόστος παραγωγής στα ανοικτά συστήματα λίμνης αυλακοειδούς τύπου [59]

Στο σύστημα φωτοβιοαντιδραστήρων PBRS [Σχήμα 25], το βασικό κόστος είναι μεταξύ 9 € / kg και 10,5 € / kg. Το προβλεπόμενο κόστος είναι περίπου 3,8 € / kg έως 4,5 € / kg.



Σχήμα 25: Το κόστος παραγωγής στα συστήματα φωτοβιοαντιδραστήρων PBRS [59]

Το κόστος του CO₂ έχει μεγάλη μείωση. Ο κύριος λόγος είναι ότι τα PBRS έχουν καλύτερη απόδοση σταθεροποίησης CO₂ από το ανοιχτό σύστημα λιμνών. Ωστόσο, λόγω του συστήματος PBRS χρειάζονται μεγάλη ποσότητα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τη διατήρηση της μηχανικής λειτουργίας. Το κόστος ενέργειας έλαβε το μεγαλύτερο κομμάτι του κόστους παραγωγής στο σύστημα PBRS. Παρόλο που το κόστος ενέργειας της προβλεπόμενης περίπτωσης μειώνεται κατά 90% της βασικής περίπτωσης στα PBRS, το συνολικό κόστος παραγωγής των PBR (τουλάχιστον 3,8 € / kg) είναι πολύ υψηλότερο από το κόστος του συστήματος ανοικτής λίμνης (τουλάχιστον 0,3 € / kg). Αυτές οι αναλύσεις καταδεικνύουν ότι ανεξάρτητα από το είδος των μεθόδων καλλιέργειας που χρησιμοποιούνται, **η μείωση του κόστους παραγωγής είναι ένα κρίσιμο πρόβλημα στην εμπορική παραγωγή ενέργειας των μικροαλγών.** Ορισμένες νέες αποτελεσματικές μέθοδοι παραγωγής (με χρήση καυσαερίων και λυμάτων) θα βοηθούσαν σημαντικά στη μείωση του κόστους παραγωγής στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας.

6.3.1 Μια ιδανική παραγωγή μικροαλγών μεγάλης κλίμακας.

Συνδυάζοντας όλες τις απαιτήσεις για την παραγωγή μικροάλγης μεγάλης κλίμακας, ο βέλτιστος συνδυασμός συστημάτων θα μπορούσε να είναι ο αυτός που παρουσιάζεται στο ακόλουθο υποθετικό σενάριο:

Κατασκευάζεται εργοστάσιο καλλιέργειας μικροάλγης με συστήματα ανοικτών λιμνών. Η παραγωγικότητα των μικροαλγών είναι 60 g / m² / ημέρα και η περιεκτικότητα σε έλαιο των μικροαλγών αυτών είναι 60%. Το εργοστάσιο είναι χτισμένο σε ξηρή τροπική περιοχή με χαμηλή βροχόπτωση, περιορισμένη αλλαγή θερμοκρασίας και διάρκεια ηλιοφάνειας τουλάχιστον 340 ημέρες το χρόνο. Επιλέχθηκε επίπεδη έκταση αργιλικού εδάφους προκειμένου να αποφευχθεί η βύθιση των λιμνών και η να γίνει εξοικονόμηση κόστους για την κατασκευή των κτιριακών υποδομών. Το θαλασσινό νερό μπορεί να αντληθεί στη καλλιέργεια μικροάλγης και το απαιτούμενο CO₂ εξασφαλίζεται μέσω μεταφοράς καυσαερίων που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση CO₂ στη λίμνη από πηγή που βρίσκεται κοντά στο εργοστάσιο παραγωγής μικροάλγης. Τα υπολείμματα της άλγης μπορούν να πωληθούν ως ζωτροφή.

Επιπλέον, υπάρχει και μια άλλη παραδοχή ότι το εργοστάσιο παραγωγής μικροάλγης μπορεί να χτιστεί σε κοντινό σταθμό παραγωγής ενέργειας και το νερό ψύξης ως πηγή ύδατος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια μικροάλγης. Το νερό ψύξης προέρχεται από το θαλασσινό νερό, αλλά η θερμοκρασία του είναι υψηλότερη από του θαλασσινού νερού. Έτσι, είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη

μικροαλγών. Αυτή η μέθοδος έχει και οικονομικά οφέλη μεταξύ του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και του εργοστασίου παραγωγής άλης. Μπορεί να εξοικονομήσει το κόστος επεξεργασίας λυμάτων του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αποφεύγοντας ακόμη και τη θερμική ρύπανση των υδάτων από το νερό ψύξης [60].

6.4 Τρέχουσα κατάσταση της παραγωγής βιοενέργειας από μικροάλη σε ορισμένες χώρες

Τον Νοέμβριο του 2006, η αμερικανική εταιρεία Green Energy Technology και η δημόσια υπηρεσία ενέργειας της Αριζόνα συνεργάζονται για τη δημιουργία μιας μονάδας παραγωγής μικροάλης στην πολιτεία της Αριζόνα. Η μονάδα συνδέεται με τα καυσαέρια που προέρχονται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που διαθέτουν παραγωγική ικανότητα 1040 MW. Η απόδοση του βιοκαυσίμου ανήλθε σε 5.000-10.000 γαλόνια ανά στρέμμα ετησίως [61].

Το 2007, το Εθνικό Συμβούλιο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών ξεκίνησε το "Πρόγραμμα Mini-Manhattan". Ο στόχος ήταν να μπορέσουν οι Ηνωμένες Πολιτείες να μειώσουν τις ποσότητες εισαγόμενου πετρελαίου από το εξωτερικό. Το 2010, οι Η.Π.Α. θα μπορούσαν να επιτύχουν την βιομηχανοποίηση παραγωγής μικροάλης και να παράγουν έλαιο μικροαλγών σε ποσότητες της τάξεως των εκατομμυρίων βαρελιών την ημέρα [61].

Το 2010, το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ χορήγησε κεφάλαια ύψους 6 εκατομμυρίων δολαρίων στο κρατικό πανεπιστήμιο της Αριζόνα για τη δημιουργία βιώσιμης κοινοπραξίας για τα βιοκαύσιμα από άλη (SABC). Επίσης, 9 εκατομμύρια δολάρια έχουν διατεθεί στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας (Σαν Ντιέγκο) από το Υπουργείο Ενέργειας για τη δημιουργία κοινοπραξίας εμπορίας βιοκαυσίμων βιομάζας (CABC). Η κοινοπραξία Cellana LLC της Kailua-Kona και της Χαβάης έχει επίσης πάρει κεφάλαιο ύψους 9 εκατομμυρίων δολαρίων από το Υπουργείο Ενέργειας. Η κυβέρνηση των ΗΠΑ υποστήριξε έντονα την ανάπτυξη της μικροάλης στη χρηματοδότηση.

Ο πρόεδρος Μπαράκ Ομπάμα σε ομιλία του στο Πανεπιστήμιο του Μαϊάμι το 2012 είπε ότι το μέλλον των ανανεώσιμων πηγών ενέργεια 2012 είναι η βιοενέργεια των μικροαλγών. Δηλώνει ότι η κυβέρνησή του θα επενδύσει 24 εκατομμύρια δολάρια για την ανάπτυξη βιοκαυσίμων και ισχυρίστηκε ότι «Είτε το πιστεύετε είτε όχι, μπορούμε να στηριχθούμε στο βιοκαύσιμο που παράγεται στις ΗΠΑ για να αντικαταστήσει το 17% των εισαγόμενων καυσίμων πετρελαίου» [61].

Η Κίνα δίνει επίσης προσοχή στην ανάπτυξη της βιοενέργειας από μικροάλγη. Στον τομέα της καλλιέργειας μικροάλγης μεγάλης κλίμακας, η Κινεζική Ακαδημία Επιστημών έχει αναπτύξει επιτυχώς ένα μεγάλο κλειστό σωληνοειδή φωτοβιολογικό αντιδραστήρα σωλήνα Σχήματος "S". Το 2008, το Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας του Shandong χρησιμοποίησε τα καυσαέρια από τον θερμοηλεκτρικό σταθμό και τα χημικά εργοστάσια ως πηγές διοξειδίου του άνθρακα για την τροφοδοσία καλλιέργειας μικροαλγών σε αντιδραστήρα καλλιέργειας τύπου πύργου. Μετά από αυτό, η μικροάλγη μεταφέρεται στον εξοπλισμό μετατροπής ενέργειας για να γίνει προϊόν βιο-πετρελαίου.

Το 2010, η Κινεζική Ακαδημία Επιστημών και η Κινεζική Πετρελαϊκή Χημική Συνεργασία πραγματοποίησαν μια συνάντηση σχετικά με τα «Τεχνολογικά Προγράμματα για Βιοντίζελ από Μικροάλγη». Μέχρι τώρα έχει γίνει μια πιλοτική μελέτη και η υπαίθρια μεσαίας κλίμακας μονάδα μικροαλγών δημιουργήθηκε το 2015 [62].

Η Hainan Greenbelt Microalgae Biotechnology Company έχει κατασκευάσει μια πειραματική μονάδα καλλιέργειας μικροάλγης στην επαρχία Ledong. Η περιεκτικότητα της μικροάλγης σε έλαιο μπορεί να ανέλθει στο 28% - 32%. Αυτή η εταιρεία σχεδίαζε να επενδύσει 29,8 εκατομμύρια δολάρια για την δημιουργία ξηρής μικροάλγης στην επαρχία Χαϊνάν. Το έργο αυτό θα έχει 30 εκατομμύρια τόνους ετήσιας παραγωγικής ικανότητας βιοντίζελ [63].

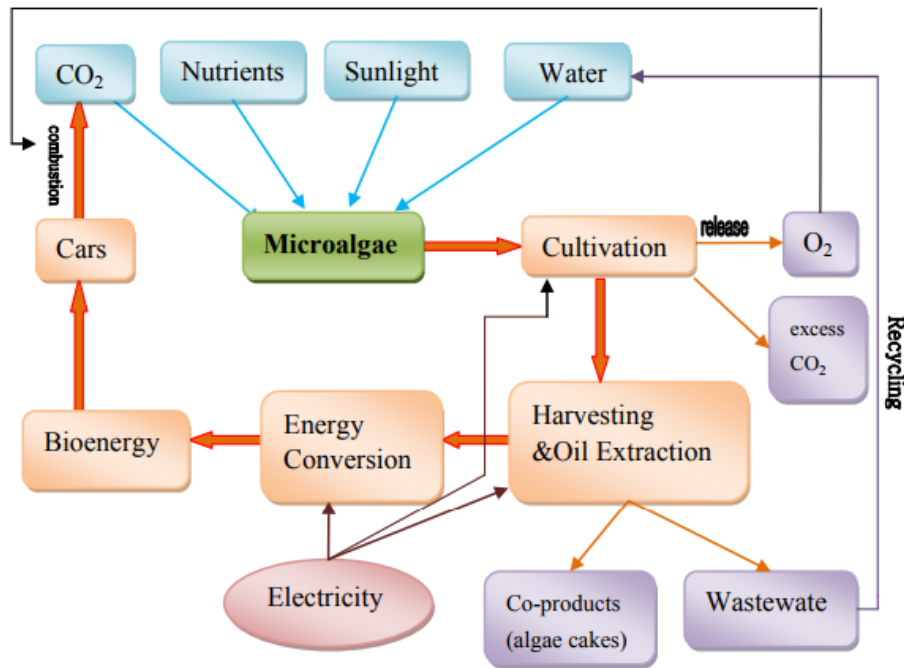
Στις 6 Σεπτεμβρίου 2011, η ΕΕ δρομολόγησε ένα σχέδιο δράσης για την ανάπτυξη της βιοενέργειας των φυκών, το οποίο θα τεθεί στο πρόγραμμα ανάπτυξης της άλγης (EnAlgae) κατά τα επόμενα τέσσερα χρόνια. Η δράση αυτή επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη και την απόδοση πληροφοριών σχετικά με τις μικροάλγες και τις γιγάντιες άλγες που αναπτύσσονται στη Βορειοδυτική Ευρώπη.

Στην Ελλάδα το 2012 ιδρύθηκε η μοναδική εταιρεία παραγωγής άλγης η λεγόμενη Algae-Farms. Η καλλιέργεια της άλγης γίνεται στην περιοχή της Πρέβεζας, όπου έχει την έδρα της η Algae-Farms. Ειδικότερα, η εταιρεία έχει νοικιάσει έκταση 300 στρεμμάτων στη ΒΙΠΕ Πρέβεζας από την Εθνική Τράπεζα. Η έκταση ανήκε παλαιότερα στα Κλωστήρια Πρεβέζης αλλά λόγω των χρεών το περιουσιακό αυτό στοιχείο έχει περάσει στην Εθνική Τράπεζα. Έτσι, η νεοσύστατη επιχείρηση δεν χρειάστηκε να δαπανήσει κεφάλαια για αγορά γης, αν και διατηρεί δικαίωμα αγοράς. Η συγκεκριμένη περιοχή θεωρείται ιδανική για τη συγκεκριμένη παραγωγή. Είναι επίπεδη και κοντά σε θαλασσίνο νερό, καθώς ο τύπος άλγης που χρησιμοποιείται χρειάζεται για να αναπτυχθεί υφάλμυρο νερό, δηλαδή μείξη γλυκού και θαλασσινού νερού. Παράλληλα, η Πρέβεζα διαθέτει και λιμάνι ώστε τα προϊόντα της εταιρείας να φεύγουν κατευθείαν για το εξωτερικό. Η εταιρεία παράγει pellet από άλγη και λάδι από άλγη, το οποίο με τη σειρά του θα καταλήξει σε βιοντίζελ.

Οι τεχνικές που έχει αναπτύξει η Algae είναι αποκλειστικά δικές της και για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος αντιγραφήs κάθε μικρό κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας καταλήγει σε πατέντες στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ. Η καινοτομία βρίσκεται στη διαδικασία παραγωγής που συνδυάζει χαμηλή επένδυση ανά στρέμμα και παράλληλα υψηλή παραγωγικότητα με ελεγχόμενο όμως λειτουργικό κόστος. Το έλαιο σε πρώτη φάση προορίζεται για τα περίπου 16 βιο-διυλιστήρια που βρίσκονται στην Ελλάδα. Όπως ισχυρίζονται από την εταιρεία, το έλαιο της Algae σε σχέση με τα βιοέλαια που παράγονται από άλλα γεωργικά προϊόντα είναι 30% φθηνότερο. Το pellet έχει δύο αγορές. Την ελληνική που δεν ξεπερνά τους 150.000 τόνους και την ευρωπαϊκή που είναι 12 εκατ. τόνοι. Το pellet στη Γερμανία αποτιμάται στα 285 ευρώ ο τόνος.

6.5 Βιωσιμότητα

Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι ένας χρήσιμος τρόπος που χρησιμοποιείται συνήθως για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος ή ενός συνόλου συστημάτων παραγωγής, στα στάδια χρήσης έως το τελικό στάδιο ανακύκλωσης. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν τη χρήση ενέργειας, την κατανάλωση πόρων και τις εκπομπές ρύπων [64]. Σε αυτό το μέρος, γίνεται ανάλυση του Κύκλου Ζωής και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της βιοενέργειας από μικροάλγη (Σχήμα 26). Επιπλέον, προκειμένου να κατανοηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροάλγη υπό την προϋπόθεση της βιώσιμης ανάπτυξης, γίνεται μια σύντομη SWOT ανάλυση.



Σχήμα 26: Ανάλυση του κύκλου ζωής της βιοενέργειας από μικροάλη [80]

Εδώ δίνεται η προοπτική του κύκλου ζωής των μικροαλγών, η οποία παρουσιάζει την ιδέα "λίκνο σε λίκνο" που ισχύει για το σύστημα παραγωγής και κατανάλωσης μικροαλγών. Οι μικροάλγες καλλιεργούνται είτε στις λίμνες είτε στους PBRS με νερό, με βάση το ηλιακό φως, το CO₂ και τα θρεπτικά συστατικά (N, P και K) για να αναπτυχθούν. Εν τω μεταξύ, το O₂ και η περίσσεια του CO₂ θα απελευθερωθούν στον αέρα. Οι μικροάλγες θα μεταφερθούν στο επόμενο στάδιο, το οποίο είναι η διαδικασία συγκομιδής και εξόρυξης πετρελαίου. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητη για την παροχή των μηχανών σε αυτό το στάδιο. Μετά τη συγκομιδή παράγεται ξηρή μικροάλη και μετά έλαιο μικροαλγής που εκχυλίζεται από την ξηρή άλη. Τα υπολείμματα από την εξόρυξη πετρελαίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συμπαραγωγή για πώληση, καθώς και τα λύματα θεωρείται ότι ανακυκλώνονται. Η βιοενέργεια θα παραχθεί στη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας, όπου υπάρχουν σχετικές μηχανές που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια, η βιοενέργεια θα πωληθεί στους κατόχους μηχανών κίνησης (αυτοκινήτων). Μέσω της καύσης βιοκαυσίμων, ουδέτερα αέρια που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση CO₂ θα απελευθερώνονται από τα μέσα κυκλοφορίας στην ατμόσφαιρα. Το CO₂ από τα καυσαέρια αυτοκινήτων και το πλεόνασμα CO₂ από το στάδιο καλλιέργειας συνδυάζονται με το υπάρχον CO₂ στον αέρα και έτσι μπορεί να σχηματιστεί νέα πηγή CO₂ για την τροφοδότηση των μικροαλγών.

Οι Clarens et al., 2010 [65] και Lardin et al., 2009 [66] δημοσίευσαν εκθέσεις Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA) για τη βιωσιμότητα του συστήματος παραγωγής μικροαλγών. Στην [65] αναφέρεται στο ότι λιγότερο καλλιεργήσιμη γη χρησιμοποιείται στην καλλιέργεια μικροαλγών και στον ευτροφισμό. Επίσης η παραγωγή βιοκαυσίμων από μικροάλγες είναι πολύ υψηλότερη από άλλες χερσαίες καλλιέργειες. Ωστόσο, οι μικροάλγες χρειάζονται περισσότερη κατανάλωση ενέργειας και υδάτινους πόρους από ό,τι άλλες πρώτες ύλες βιομάζας. Εκτός αυτού, κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, μερικές από τις εκπομπές των πράσινων αερίων μπορεί να οδηγήσουν σε ρύπανση του περιβάλλοντος εάν τα καύσιμα αυτά δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν καλύτερα. Αυτό είναι το μειονέκτημα της βιωσιμότητας. Η [66] με βάση τα αναλυθέντα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υπεροχή της καλλιέργειας των μικροαλγών είναι η λιγότερη χρήση της γης από τις χερσαίες καλλιέργειες. Αλλά η αρνητική πλευρά έδειξε ότι η διαδικασία καλλιέργειας μικροαλγών πρέπει να χρησιμοποιεί περισσότερα λιπάσματα (άζωτο και φώσφορο) από άλλες βιολογικές πρώτες ύλες εκτός εάν η περίσσεια αζώτου και φωσφόρου μπορεί να ανακυκλωθεί καλύτερα.

Η Εθνική Ακαδημία Επιστημών των Η.Π.Α. δημοσίευσε ορισμένα στοιχεία σχετικά με τη βιωσιμότητα της βιομηχανοποίησης της μικροάλγης. Ανέφεραν ότι για να παραχθεί 1 λίτρο βιοκαυσίμου μικροαλγών απαιτείται 3,15 – 3,65 λίτρα νερού. Στην παραγωγή εμπορικής κλίμακας, 123 δισεκατομμύρια λίτρα νερού μπορούν να παράγουν 39 δις λίτρα καυσίμου φυκών. Έτσι, μια μεγάλη ποσότητα νερού θα καταναλωθεί στην παραγωγή μικροαλγών, εάν οι κατασκευαστές χρησιμοποιούσαν γλυκό νερό. Επιπλέον, πολύ περισσότερα λιπάσματα θα χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή μικροάλγης από οποιαδήποτε άλλη βιομάζα [67].

Η Christi (2008) υποστηρίζει ότι οι μικροάλγες ως νέα βιώσιμη πρώτη ύλη αποτελεί την καλύτερη επιλογή από όλες τις άλλες πρώτες ύλες βιομάζας, έχοντας τη δυνατότητα να αντικαταστήσει το πετρέλαιο στο μέλλον, επειδή χρειάζονται λιγότερα εδάφη. Η Christi πιστεύει ότι δεν υπάρχει κανένας λόγος πιο σημαντικός από το λόγο της λιγότερης χρήσης γης.

Σύμφωνα με την ανάλυση της βιωσιμότητας των μικροαλγών έγινε μια SWOT ανάλυση [Πίνακας 5]:

Πίνακας 5: SWOT ανάλυση

<p><u>Δυνατότητες</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Η μικροάλγη έχει μικρή περίοδο ανάπτυξης, μόνο 1-4 ημέρες και υψηλή απόδοση λαδιού (τουλάχιστον 30% περιεχόμενο λιπιδίων) • Η μικροάλγη καταναλώνει CO₂ και απελευθερώνει O₂ στη διαδικασία καλλιέργειας. • Η καλλιέργεια μικροαλγών δεν απαιτεί καλλιεργήσιμες εκτάσεις γης, και μπορεί να καλλιεργηθεί σε λύματα. • Οι μικροάλγες μπορούν να παράγουν διάφορα βιοκαύσιμα, όπως το βιοαέριο, το βιο-πετρέλαιο και το βιοντίζελ 	<p><u>Αδυναμίες</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Δύσκολο να βρεθεί ένα είδος τέλειων μικροαλγών με υψηλή περιεκτικότητα λιπιδίων που να είναι εύκολο να συγκομιστεί και να έχει οικονομική απόδοση περισσότερα από 20.000 είδη μικροαλγών. • Υπάρχουν λίγες εμπορικές εταιρείες παραγωγής μικροάλγης • Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αβέβαιες λόγω της μικρότερη αξιολόγησης του κύκλου ζωής. • Έλλειψη στήριξης της κυβερνητικής πολιτικής.
<p><u>Ευκαιρίες</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Υπάρχουν δυνατότητες παραγωγής υψηλότερης αξίας βιοενεργειακών προϊόντων για εκβιομηχάνιση. • Οι τεχνικές δυσκολίες έχουν τη δυνατότητα να επιλυθούν στο άμεσο μέλλον. Αυτό θα βοηθήσει τις μικροάλγες να επιταχύνουν τη διαδικασία εμπορευματοποίησης. • Εάν για την τροφοδότηση της μικροάλγης με CO₂ χρησιμοποιούνται τα καυσαέρια από τα βιομηχανικά εργοστάσια, τότε η ρύπανση του περιβάλλοντος από CO₂ θα μειωνόταν και θα γινόταν και μία εξοικονόμηση ενός μέρους του κόστους πηγής του CO₂. 	<p><u>Απειλές</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Εάν το επενδυτικό κόστος και το κόστος παραγωγής της μικροάλγης δεν μπορούν να μειωθούν, τα βιοκαύσιμα από μικροάλγη θα εξακολουθούν να έχουν δυσκολίες στο να ανταγωνιστούν τη βενζίνη στην τιμή. • Η αποδοχή της αγοράς εξακολουθεί να είναι ασαφής. • Ο ανταγωνισμός από άλλη νέα πρώτη ύλης βιομάζα που μπορεί να βρεθούν στο μέλλον, όπως το πετρέλαιο σχιστόλιθου, τα βακτηρίδια και τα λουπά.

6.6 Προκλήσεις και μελλοντική εξέλιξη της ενέργειας των μικροαλγών

Παρότι τα βιοκαύσιμα από μικροάλγη έχουν πολλά πλεονεκτήματα και έχουν πιθανά οφέλη για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στο εγγύς μέλλον, ορισμένες προκλήσεις επηρεάζουν το εμπόριο των βιοκαυσίμων αυτών

- Η μείωση του κόστους παραγωγής της καλλιέργειας μικροαλγών είναι η κεντρική πρόκληση στην ανάπτυξη βιοενέργειας από άλγη. Το υψηλό κόστος παραγωγής είναι ένα πρόβλημα που υπάρχει σε όλη τη διαδικασία από την καλλιέργεια μέχρι τη συγκομιδή. Όπως επίσης και το κόστος της αρχικής επένδυσης για την κατασκευή λιμνών και η αγορά εξοπλισμού είναι τεράστια. Επειδή η ανάπτυξη των μικροαλγών απαιτεί υψηλού επιπέδου καλλιεργητικές συνθήκες, όπως το CO₂ και τα λιπάσματα που παρέχουν θρεπτικά συστατικά στις άλγες είναι απαραίτητο να αυξηθεί το κόστος παραγωγής στη διαδικασία καλλιέργειας. Επίσης, πριν από την μετατροπή της ενέργειας των μικροαλγών, οι πρώτες ύλες βρώσιμων φυκών πρέπει να αφυδατωθούν. Το κόστος συγκεκριμένων συσκευών είναι δαπανηρό. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η συγκομιδή των αλγών είναι η πιο δαπανηρή διαδικασία στην παραγωγή τους. **Το ζήτημα του τρόπου μείωσης του κόστους συγκομιδής καθορίζει τη δυνατότητα της συνολικής μείωσης του κόστους.**

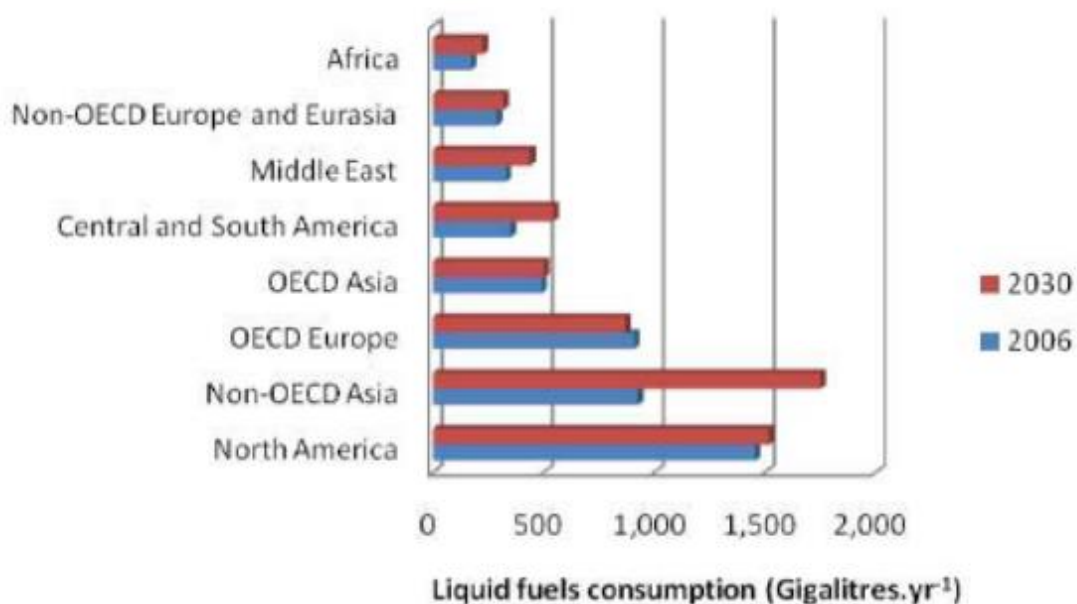
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή μικροάλγης και την επεξεργασία αποβλήτων αποτελούν δύο ακόμη σημαντικές προκλήσεις. Οι μικροοργανισμοί της άλγης ως βιώσιμη βιοενεργειακή πρώτη ύλη έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, στη διαδικασία πυρόλυσης βιοκαυσίμων των μικροαλγών, η τεχνολογία ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης στερεών, υγρών και αερίων δεν προχωρά αρκετά. Δεδομένου ότι τα λιπάσματα πρέπει να προστεθούν στην λίμνη καλλιέργειας, το εναπομείναν νερό μετά τη συγκομιδή των φυκιών τ πρέπει να υποστεί επεξεργασία. Η διαδικασία για την ανακύκλωση αυτού του νερού μέχρι στιγμής έχει πολλά προβλήματα και αν η παραγωγή μικροάλγης ήταν σε μεγάλη κλίμακα, η ποσότητα εκροής των λυμάτων θα είχε σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

- Άλλες τεχνικές προκλήσεις όπως το πρόβλημα επιλογής σπόρων μικροάλγης, η αύξηση της περιεκτικότητας των μικροαλγών σε λιπίδια και η αποδοτική μέθοδος εξαγωγής ελαίου, εξακολουθούν να απασχολούν την επιστημονική κοινότητα.

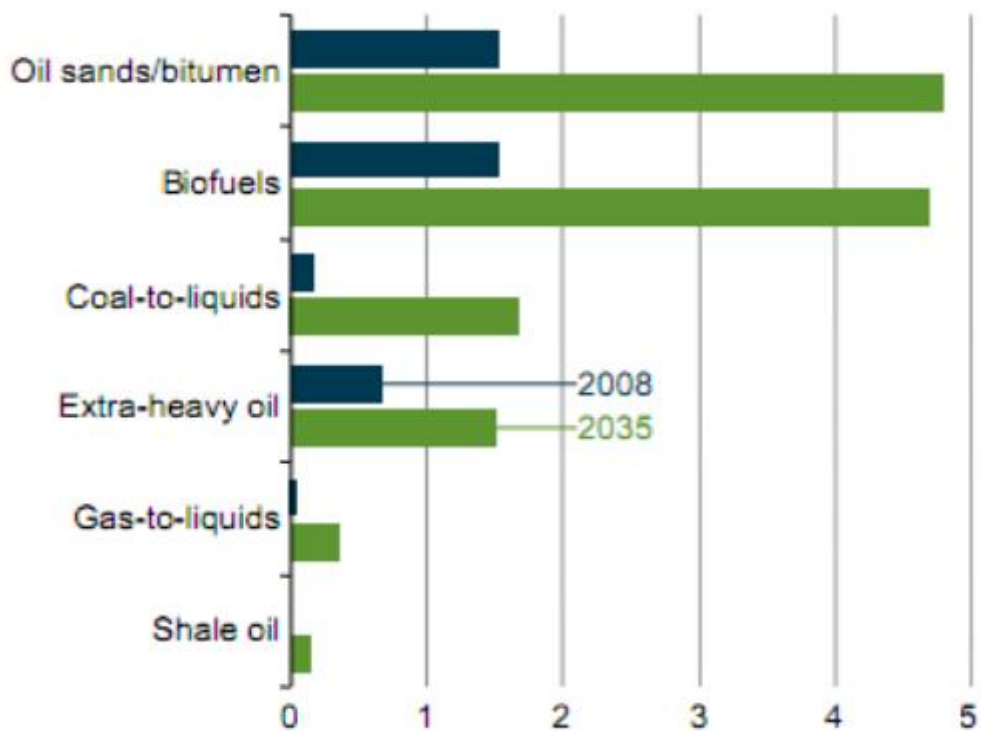
Η επίλυση ή βελτίωση των τεχνικών αυτών προβλημάτων θα επιτρέψει στην παραγόμενη από άλγη βιοενέργεια να έχει μελλοντικά οφέλη ως εναλλακτική λύση

για τα ορυκτά καύσιμα. Οι κυβερνήσεις πρέπει να προβούν σε νέες πολιτικές για την υποστήριξη της ανάπτυξης αυτού του ενεργειακού τομέα και τη διασφάλιση συνθηκών που θα επιτρέπουν στις εταιρίες να διεισδύσουν σε αυτόν τον τομέα.

Τα δύο παρακάτω Σχήματα δείχνουν την κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγή σε διάφορες χώρες και την παραγωγή διαφορετικής ενέργειας από το 2006 έως το 2030:



Σχήμα 27: Παγκόσμια κατανάλωση υγρού καυσίμου 2006-2030 [Πηγή - EIA International Energy Outlook, 2009]



Σχήμα 28: Παγκόσμια παραγωγή υγρού καυσίμου 2008-2035 (εκατομμύρια βαρέλια/ημέρα)[Πηγή - EIA International Energy Outlook, 2011]

Η παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου αυξάνεται δραματικά με την πάροδο των χρόνων, ειδικά στις χώρες εκτός ΟΟΣΑ. Επιπλέον, μέχρι το τέλος του έτους 2035, το βιοκαύσιμο, ως προϊόν υγρού πετρελαίου, θα αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό της παραγωγής όλων των υγρών καυσίμων. Η μικροάλγη ως βιοκαύσιμο τρίτης γενιάς θα συμβάλει στη θετική ενέργεια στις αγορές ενέργειας στο εγγύς μέλλον.

Το σχέδιο EnAlgae σχεδιάζει να κατασκευάσει περισσότερες από μία πιλοτικές φυτείες και καλλιέργειες μικροάλγης και να παράσχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της ανάπτυξης των φυκών και την αξιολόγηση της απόδοσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα συμβάλουν στην εκτίμηση των οικονομικών οφελών από την ανάπτυξη βιοκαυσίμων από άλγη και στην πρόβλεψη του επιπέδου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από την παραγωγή άλγης στη βορειοδυτική Ευρώπη αν και η προσομοίωση των υπολογιστών παρέχει μόνο προτάσεις στους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων και στους κατασκευαστές φυκών [EIA International Energy Outlook, 2011].

7. Τεχνοοικονομική μελέτη μονάδας παραγωγής βιοντίζελ από έλαιο μικροάλγης

7.1 Τοποθεσία μονάδας

Σύμφωνα με τα δεδομένα για μία ιδανική παραγωγή μικροάλγης μεγάλης κλίμακας η τοποθεσία που επιλέχθηκε για την κατασκευή της μονάδας βρίσκεται στο Ηράκλειο της Κρήτης καθώς είναι και ο τόπος καταγωγής μου και συγκεκριμένα στην περιοχή των Λινοπεραμάτων όπου εκεί βρίσκεται το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα η περιοχή βρίσκεται πάνω από την ακτή και μέσα στο χώρο της ΔΕΗ κάτι που εξυπηρετεί και τις απαιτήσεις μας (Σχήμα 29). Υπάρχουν τρεις εκτάσεις μέσα στα όρια της ΔΕΗ οι οποίες θεωρούνται κατάλληλες για να φιλοξενήσουν όλες τις διεργασίες που θα χρειαστεί η μονάδα.



Σχήμα 29: Περιοχή εγκατάστασης της μονάδας όπου φαίνονται οι 3 διαθέσιμες εκτάσεις



Σχήμα 30: ΔΕΗ Ηρακλείου

Παρακάτω γίνεται ανάλυση των κλιματικών δεδομένων και δικαιολογείται η επιλογή της τοποθεσίας λαμβάνοντας υπόψιν τις μετεωρολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχή.

7.2 Κλιματικά Δεδομένα

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται μέσες τιμές διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων για τη δεκαετία 2006-2015. Όλα τα κλιματικά δεδομένα του Πίνακα παρέχονται από την υπηρεσία του meteo.gr

Πίνακας 6: Κλιματικά δεδομένα για την πόλη του Ηρακλείου σύμφωνα με το για την περίοδο 2006-2015 [79]

ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΟΣ
Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	1016.8	1015.5	1014.8	1013.1	1013.5	1012.6	1011.1	1011.4	1014.6	1016.7	1017.6	1016.7	1014.5
Μέση θερμοκρασία (0C)	12	12.2	13.6	16.6	20.3	24.3	26.1	25.9	23.5	19.9	16.6	13.8	18.7
Μέση μέγιστη θερμοκρασία (0C)	15.2	15.5	16.8	20.2	23.5	27.3	28.6	28.4	26.4	23.1	20.1	17	21.8
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (0C)	9	9	9.8	12	14.9	19	21.7	21.7	19.3	16.5	13.4	10.9	14.8
Απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία (0C)	24.8	26.2	29.4	34.5	38	41.3	41	42	39.5	35.7	31.2	28.5	
Απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία (0C)	0.2	0.2	0.3	4.4	6	12.2	16.2	16.6	12.5	8.7	4.4	2.4	68
Μέση σχετική υγρασία (%)	68	67	66	62	61	57	57	58	61	66	67	68	63
Μέση βροχόπτωση (mm)	2	77	57	30	15	3	1	1	20	69	59	77	501
Μέσος αριθμός ημερών με βροχή μεγαλύτερη από 1 mm	10	9	7	3	2	1	0	0	1	5	6	9	53
Μέση ένταση ανέμου (m/s)	2.5	2.6	2.4	2.1	1.6	1.7	2.3	2.4	2	2	2.2	2.5	2.2

Σύμφωνα με τις παραπάνω θερμοκρασίες και το εύρος αυτών μας δίνεται η δυνατότητα για διαμόρφωση κατάλληλου περιβάλλοντος για την καλλιέργεια της άλγης.

Τα δεδομένα για τις μέσες βροχοπτώσεις μας δίνουν μια εικόνα έτσι ώστε να αποφύγουμε τυχόν καταστροφές των καλλιεργειών όπως η υπερχειλίση των δεξαμενών ή η αλλαγή του pH των δεξαμενών.

Σε ότι αφορά τα ηλιακά χαρακτηριστικά της περιοχής, είναι γνωστό πως η Κρήτη και συγκεκριμένα το Ηράκλειο συγκεντρώνει υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας κάθε χρόνο και όχι μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες. Με βάση αυτό καθώς και αναλυτικών δεδομένων που υπάρχουν στο διαδίκτυο μπορούμε να δούμε πως θα διαμορφώσουμε το κατάλληλο φωτεινό περιβάλλον που χρειάζεται το είδος της άλγης που θα επιλέξουμε.

Επιλογή άλγης

Τέλος για να επιλέξουμε το κατάλληλο είδος άλγης πρέπει να λάβουμε υπόψιν όλα τα παραπάνω δεδομένα καθώς και την ποσότητα και την ποιότητα της ημερήσιας παραγωγής που επιθυμούμε. Μία ιδανική παραγωγή θα ήταν 200 λίτρα/ημέρα ελαίου άλγης οπότε το είδος που θα επιλέξουμε πρέπει να είναι πλούσιο σε έλαιο και να έχει γρήγορο ρυθμό αναπαραγωγής. Γι' αυτό το λόγο η επιλογή του είδους άλγης είναι η Chlorella Protothecoides

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε πως η τοποθεσία έχει αρκετά πλεονεκτήματα καθώς εκτός από τα κλιματικά δεδομένα βρίσκεται σε βιομηχανική περιοχή που διαθέτει πόρους σε πρώτες ύλες (μεθανόλη, λιπάσματα κ.α.), ενέργεια (ΔΕΗ), νερό (δίπλα σε ακτή) κάτι που όπως αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια μας επωφελεί σε τεράστιο οικονομικό βαθμό.

7.3 Επιλογή μηχανικού εξοπλισμού

7.3.1 Μονάδα Καλλιέργειας

Φωτοβιοαντιδραστήρες

Για τη μονάδα μας επιλέγουμε σωληνοειδείς τύπου αντιδραστήρες και επειδή η ημερήσια παραγωγή βιοντίζελ που χρειαζόμαστε είναι 200-250 λίτρα για να επιτύχουμε αυτή την παραγωγή πρέπει να παράγουμε 550 κιλά μάζας άλγης ημερησίως. Ο τύπος μικροάλγης που έχουμε επιλέξει να καλλιεργήσουμε (*Chlorella Protothecoides*) θα θεωρήσουμε ότι διπλασιάζεται κάθε πέντε ώρες με σταθερό ρυθμό καθώς οι συνθήκες καλλιέργειας που μπορούμε να έχουμε από τους φωτοβιοαντιδραστήρες είναι ιδανικές.

Άρα στη διάρκεια μιας μέρας επιτυγχάνουμε 4.8 διπλασιασμούς

Όμως η μέγιστη πυκνότητα άλγης που μπορούμε να πετύχουμε σε ελεγχόμενες συνθήκες είναι 4g/l. Με βάση αυτό και της ημερήσιας παραγωγής σε κλά άλγης που πρέπει να πετύχουμε ο όγκος του βιοαντιδραστήρα που θα επιλέξουμε πρέπει να είναι:

$$V_{\text{βιοαντ.}} = \frac{550\text{KG}}{4\text{g/l}} = 137,5\text{m}^3$$

Ο όγκος αυτός είναι αρκετά μεγάλος και δύσκολα διαχειρίσιμος αλλά όπως φαίνεται και στο Σχήμα 29 μέσα στη ΔΕΗ υπάρχουν 3 εκτάσεις ανεκμετάλλευτες οπότε μπορούμε τον όγκο που χρειαζόμαστε να τον χωρίσουμε ανάλογα. Έτσι για να πετύχουμε την παραγόμενη ποσότητα άλγης που επιθυμούμε θα χρησιμοποιήσουμε 7 φωτοβιοαντιδραστήρες των 20m³.

Δεξαμενές

Για να αναπτυχθεί και να αναπαραχθεί η άλγη χρειάζεται ιδανικές συνθήκες όπως το υδάτινο περιβάλλον με τη χρήση θρεπτικών ουσιών, η ηλιακή ακτινοβολία ώστε να γίνει η φωτοσύνθεση αλλά και η κατάλληλη θερμοκρασία.

Κατά την καλλιέργεια της άλγης στους φωτοβιοαντιδραστήρες όλες οι παραπάνω συνθήκες πρέπει να καλυφθούν ώστε να αυξήσουμε την παραγωγικότητα. Οι απαραίτητοι χώροι μέσα στους οποίους θα γίνονται αυτές οι διαδικασίες είναι οι δεξαμενές όπου στη μία θα γίνεται η φωτοσύνθεση και ο εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα και στην άλλη θα έχουμε την εξασφάλιση μιας ιδανικής θερμοκρασίας και της απαραίτητης σκίασης ώστε να ευδοκιμήσει η άλγη.

Η κυκλοφορία θα γίνεται με τη χρήση μίας αντλίας ανακυκλοφορίας όπου θα τραβάει το μίγμα και θα το στέλνει στις δεξαμενές για φωτοσύνθεση. Εκεί το μίγμα θα έρχεται σε επαφή με το εισαγόμενο διοξείδιο του άνθρακα από τα καυσάερια του ΑΗΣ και με την ηλιακή ακτινοβολία θα επιτυγχάνεται η διαδικασία. Το μίγμα που θα βρεθεί στον πυθμένα της δεξαμενής μετά από κάποιο διάστημα θα οδηγείται μέσω σωληνώσεων στις δεξαμενές σκίασης ώστε να ξαναγίνει ο κύκλος αναπαραγωγής.

Για εξοικονόμηση χώρου η διάταξη των δεξαμενών θα είναι σε κατακόρυφη θέση με τη δεξαμενή της φωτοσύνθεσης να βρίσκεται στο πάνω μέρος και αυτή της σκίασης στο κάτω.



Σχήμα 31: Φωτοβιοαντιδραστήρας για καλλιέργεια μικροάλγης τύπου πυραμίδας

Για τον σχεδιασμό των φωτοβιοαντιδραστήρων και των αντίστοιχων δεξαμενών τους ώστε να υπολογίσουμε την έκταση που χρειαζόμαστε πρέπει να λάβουμε υπόψιν τον όγκο που περικλείει το $20m^3$ μίγμα. Η δεξαμενή σκίασης επιλέγουμε να είναι:

$$V_{\text{δεξ.σκίασης}} = 2,5 \times 2,5 \times 3 = 18,75m^3$$

Για την τοποθέτηση των δεξαμενών αυτών και κατά συνέπεια όλων των φωτοβιοαντιδραστήρων πρέπει να λάβουμε υπόψιν την τετραγωνική διατομή της δεξαμενής σκίασης μαζί με ένα περιθώριο της τάξεως του 10% ώστε να τοποθετηθούν και οι απαραίτητες σωληνώσεις. Οπότε:

$$A = 2,5 \times 2,5 + 0,1 \times 2,5 \times 2,5 = 6,875m^2$$

Άρα συνολικά:

$$A_{\text{ολικό}} = 7 \times 6,875m^2 = 48,125m^2$$

Αντλία ανακυκλοφορίας

Για την επιλογή του τύπου αντλίας πρέπει να λάβουμε υπόψιν κάποιες παραμέτρους όπως α) τον τύπο του ρευστού β) την πυκνότητα του γ) την παροχή δ) το ύψος και ε) τη διαφορά πίεσης

Τον τύπο του ρευστού και την πυκνότητα του μπορούμε να τα υπολογίσουμε με τα κατάλληλα όργανα.

Η παροχή μπορεί να υπολογιστεί με βάση το ρυθμό ανακυκλοφορίας που θα θέσουμε για να έχουμε τις ποσότητες που χρειαζόμαστε η οποία και αυτή μπορεί να γίνει με κατάλληλα όργανα.

Για το ύψος της αντλίας πρέπει να υπολογίσουμε το άθροισμα της δεξαμενής σκίασης και της δεξαμενής φωτοσύνθεσης όπου θα είναι περίπου $\Delta H = 3m + 2m = 5m$

Τέλος πρέπει να συνυπολογίσουμε και την απαιτούμενη διαφορά πίεσης που πρέπει να δημιουργείται ώστε να επιτυγχάνεται η ανακυκλοφορία.

Υπολογίζοντας τις παραπάνω παραμέτρους και κάνοντας τους απαραίτητους υπολογισμούς με τους ειδικούς για την κάθε περίπτωση μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η απαιτούμενη ισχύ θα είναι πολύ χαμηλότερη του ενός kW . Οπότε για την επιλογή της αντλίας ανακυκλοφορίας θα επιλέξουμε από τις ήδη υπάρχουσες της ισχύος του $1kW$.

Εναλλάκτης θέρμανσης μίγματος

Προκειμένου η άλγη να πολλαπλασιαστεί δίνοντας τη μέγιστη απόδοση είναι απαραίτητο να υπάρχει το κατάλληλο εύρος θερμοκρασίας. Λόγω των διαφορετικών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία πρέπει να ρυθμίζεται ανάλογα. Για το είδος άλγης (*Chlorella Protothecoides*) που επιλέξαμε εμείς η ιδανική θερμοκρασία είναι

$$T = 25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας μέσα στη δεξαμενή σκίασης καθώς το νερό για την καλλιέργεια θα παρέχεται από την άντληση του θαλασσινού νερού θα πρέπει να μελετηθεί το θερμοκρασιακό εύρος του θαλασσινού νερού κατά τη διάρκεια του έτους. Σύμφωνα με το meteo.gr η διαφορά μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του νερού είναι $16 \text{ }^\circ\text{C}$.

Παροχή CO_2

Λόγω της δυσκολίας στον υπολογισμό της απαραίτητης ποσότητας CO_2 που χρειάζεται η άλγη προσπαθούμε να την προσαρμόσουμε ώστε να ξεπερνά την αντίστοιχη συγκέντρωση που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Έτσι, επιλέγουμε μία παροχή της τάξεως του 2% του συνολικού όγκου κάθε φωτοβιοαντιδραστήρα. Δηλαδή η ημερήσια παροχή σε διοξείδιο είναι 400 λίτρα. Το διοξείδιο εισάγεται με τη μορφή καυσαερίων από τον ΑΗΣ. Για να επιτύχουμε την ποσότητα διοξειδίου που θέλουμε πρέπει να παρέχουμε 4000 λίτρα καυσαερίων ημερησίως. Δηλαδή 166 λίτρα/ώρα

Αεριστής

Για να εισάγουμε τέτοιες ποσότητες είναι απαραίτητη η χρήση αεριστή στη δεξαμενή φωτοσύνθεσης. Η παροχή των καυσαερίων θα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός φυσητήρα όπου θα πρέπει να έχει τη δύναμη να ξεπεράσει την πίεση του ρευστού στον πυθμένα των δεξαμενών και να διοχετεύσει τα καυσαέρια.

Αν θεωρήσουμε 90% βαθμό απόδοσης του συμπιεστή, 50 °C τη θερμοκρασία εισαγωγής του αερίου, 1 atm η πίεση στην είσοδο και 2 atm στην έξοδο τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ του κάθε αεριστή

$$P = 0,005KW$$

Και για το σύνολο όλων των βιοαντιδραστήρων είναι $P = 0,035KW$

Άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα συμπιεστή της ισχύος του 1KW.

Επίσης η ύπαρξη του αεριστή έχει μεγάλη σημασία καθώς βοηθάει και στην ανάδευση όλου του μίγματος ώστε αυτό να απορροφάει σε όλο του το εύρος την ηλιακή ακτινοβολία.

Εναλλάκτης καυσαερίου

Είναι απαραίτητος ώστε να ρίξει τη θερμοκρασία του καυσαερίου στην επιθυμητή για να μπορέσει να εισαχθεί στον φωτοβιοαντιδραστήρα. Η ψύξη του καυσαερίου θα γίνεται με ένα ρεύμα από την ατμόσφαιρα. Για να επιτευχθεί η ροή του ρεύματος είναι απαραίτητη η χρήση ενός ανεμιστήρα ισχύος 1 KW.

Τεχνητός φωτισμός

Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης χρειάζεται συνεχόμενο φωτισμό. Για να το επιτύχουμε όμως αυτό χρειάζονται και τα κατάλληλα μέσα. Η επιλογή της μονάδας δεν έγινε τυχαία στην Κρήτη καθώς το νησί φημίζεται για τα υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους. Για την αξιοποίηση αυτής της ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να τοποθετήσουμε διάφανες επιφάνειες και απορροφητικά υλικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 32. Επίσης θα πρέπει να προσέξουμε ώστε η τοποθέτηση των δεξαμενών φωτοσύνθεσης να αποτρέπει τη σκίαση τους από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια.

Κατά τη διάρκεια του έτους αλλά και της ημέρας η ηλιακή ακτινοβολία δεν διατηρείται σταθερή και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην πετυχαίνουμε τα μέγιστα ποσά που χρειαζόμαστε. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να σχεδιαστεί μια εναλλακτική πηγή φωτός η οποία θα αποπληρώνει τα επίπεδα φωτός όταν αυτά μειώνονται διατηρώντας σταθερή όλη τη διεργασία. Αυτή η εναλλακτική πηγή φωτός μπορεί να είναι λάμπες φωτισμού. Με τις κατάλληλες μελέτες και μετρώντας τις ανάγκες της

άλγης για φωτισμό τις νυχτερινές ώρες αλλά και τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ισχύ που χρειαζόμαστε.

Λιπάσματα

Για την καλλιέργεια της άλγης και την μέγιστη παραγωγικότητά της είναι απαραίτητη η παροχή λιπασμάτων όπως το άζωτο, ο φώσφορος και το ποτάσσιο ρυθμίζοντας το υδάτινο περιβάλλον με βάση τις ανάγκες μας.

7.3.2 Μονάδα Διαχωρισμού άλγης – νερού

Για τον διαχωρισμό της άλγης από το νερό επιλέγουμε τη μέθοδο της ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΗΣΗΣ. Η φυγοκέντρωση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού της άλγης χρησιμοποιώντας την φυγόκεντρο δύναμη ώστε να προκαλέσει την καθίζηση της άλγης στον πάτο της δεξαμενής και στη συνέχεια απομακρύνονται από αυτήν. Παίζει λοιπόν πολύ σημαντικό ρόλο η απόδοση και η μείωση του χρόνου λειτουργίας σε ημερήσια βάση.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω η ημερήσια παραγωγή μάζας άλγης πρέπει να είναι 550 κιλά και να διαχωρίζεται από 140m³ μίγματος. Για την επιλογή της κατάλληλης διάταξης φυγοκέντρωσης εξαρτάται το είδος και το μέγεθος του στερεού το οποίο διαχωρίζεται. Τα κύτταρα του είδους της μικροάλγης που έχουμε επιλέξει είναι παρόμοια με του ενζύμου Bacillus και σύμφωνα με την πηγή [81] επιλέγουμε τη χρήση φυγοκεντρικής διάταξης διαχωρισμού με έξοδο στερεού μέσω ακροφυσίου με μέγιστη παροχή εισόδου 7 m³ /h

Οπότε η συνολική δυναμικότητα της μονάδας λειτουργώντας για 8 ώρες είναι

$$Q = 140\text{m}^3/8 \text{ hours} = 17,5\text{m}^3/\text{hour}$$

Με βάση αυτό το αποτέλεσμα η επιλογή τεσσάρων (4) φυγοκεντρικών αντλιών δυναμικότητας 5 m³/hour θα καλύπτει τις ανάγκες μας βάση και της βιβλιογραφίας.

Με βάση τα παραπάνω και κάποια στοιχεία φυγοκεντρικών αντλιών που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία μας η κατάλληλη αντλία για μας είναι με ισχύ P=15KW

7.3.3 Ξήρανση

Διαστασιολόγηση Θερμοκηπίου (απαιτήσεις σε χώρο)

Αφού εξαχθεί η μάζα από τη φυγοκεντρική αντλία θα πρέπει να ξηρανθεί σε ένα ηλιακό θερμοκήπιο. Εκεί θα πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη επιφάνεια ώστε να καλύπτει τον όγκο της μάζας προς ξήρανση οπότε μπορούμε να τοποθετήσουμε πάγκους με συνολική επιφάνεια 60τ.μ.. Επίσης μέσα στο θερμοκήπιο θα πρέπει να υπάρχει και ένας εναλλάκτης για περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας όταν χρειαστεί. Οι διαστάσεις του θερμοκηπίου βάση των πάγκων που χρειαζόμαστε αλλά και των υπόλοιπων χρήσιμων εργαλείων προβλέπεται περίπου στα 300 τ.μ.

7.3.4 Εξαγωγή Ελαίου

Για την εξαγωγή του λαδιού θα χρειαστούμε δύο πρέσες λαδιού δυναμικότητας 100kg βιομάζας ανά ώρα η κάθε μία. Το πρώτο προϊόν της συμπίεσης είναι το λάδι που εξάγεται με ένα ρυθμό 25 λίτρων ανά ώρα. Σε αυτό το σημείο θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε και ένα φίλτρο για τα στερεά υπολείμματα που θα προκύψουν. Το δεύτερο προϊόν της συμπίεσης είναι η απελαιομένη βιομάζα η οποία είναι σε μορφή πέλλετ και εξάγεται με ένα ρυθμό 75 κιλών ανά ώρα από κάθε μηχανή.

Για την εξαγωγή της απαιτούμενης ποσότητας ελαίου θα χρησιμοποιηθεί πρέσα ψυχρής μηχανικής συμπίεσης. Οπότε η κάθε πρέσα μπορεί να διαχειριστεί 100 κιλά ξηρής βιομάζας άλγης και κατά συνέπεια αποδίδει 25 λίτρα ανά ώρα. Άρα χρησιμοποιώντας 2 πρέσες αυτού του τύπου μπορούμε να εξάγουμε 200 λίτρα ελαίου άλγης σε 4 ώρες.

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά επιλεγμένου τύπου εξαγωγής ελαίων

Τύπος μοντέλου	Tabypress Type-90
Ισχύς	4 kW
Δυναμικότητα εξαγωγής ελαίου	20-27 λίτρα/ώρα
Μήκος	1420mm
Πλάτος	400mm
Ύψος	370mm

7.3.5 Μετεστεροποίηση Φυτικών Ελαίων

Για να καταφέρουμε να σχεδιάσουμε μια μονάδα παραγωγής βιοντίζελ πρέπει να ορίσουμε μία βάση υπολογισμού έτσι ώστε να επιλέξουμε τον κατάλληλο, τον οικονομικότερο αλλά και τον αποδοτικότερο εξοπλισμό. Όπως προαναφέραμε η βάση που επιλέγουμε εμείς είναι 200-250 λίτρα/ημέρα

$$V_{biodiesel} = 200 \text{ λίτρα/ημέρα}$$

Η ποιότητα του βιοντίζελ εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το έλαιο της μικροάλης που θα καλλιεργήσουμε. Με βάση τους δικούς μας υπολογισμούς έχουμε επιλέξει για καλλιέργεια μικροάλης το είδος *Chlorella Protothecoides*. Έτσι για το στάδιο της μετεστεροποίησης πρέπει να επιλέξουμε μία αλκοόλη και ένα καταλύτη όπου η μία θα αντιδράσει με τα τριγλυκερίδια των λιπαρών οξέων του ελαίου της άλης και ο καταλύτης θα αυξήσει το ρυθμό μετατροπής του ελαίου σε βιοντίζελ.

Στη δική μας περίπτωση για οικονομικούς λόγους θα επιλέξουμε ως αλκοόλη τη μεθανόλη.

Πίνακας 8: Στοιχεία μεθανόλης [85]

Στοιχεία μεθανόλης	
Χημικός τύπος	CH_4O
Μοριακό βάρος	32,04 g/mol
Πυκνότητα	0,7918 g/cm ³
Χαρακτηρισμός	Εύφλεκτη - Τοξική

Ως καταλύτη επιλέγεται να είναι αλκαλικός γιατί οι αλκαλικοί σε σχέση με τους τοξικούς έχουν 4000 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα αντίδρασης [85]. Η επιλογή είναι το καυστικό νάτριο (NaOH) για οικονομικούς λόγους.

Πίνακας 9: Στοιχεία Καυστικού Νατρίου [86]

Στοιχεία Καυστικού Νατρίου	
Χημικός τύπος	NaOH
Μοριακό βάρος	39,99 g/mol
Πυκνότητα	2,13 g/cm ³
Χαρακτηρισμός	Διαβρωτικό

Με βάση την αντίδραση της μετεστεροποίησης [50] και της στοιχειομετρικής αναλογίας η απαιτούμενη ποσότητα ελαίου μικροάλγης για την παραγωγή βιοντίζελ είναι:

$$V_{algaeoil} = 200L/day$$

$$V_{methanol} = 40L/day$$

$$m_{NaOH} = 1kg/day$$

Για την αντίδραση αυτή θα χρειαστούμε μία δεξαμενή προετοιμασίας καταλύτη – μεθανόλης των 50 λίτρων και να είναι από υλικό που θα αντέχει στις αντιδράσεις που θα γίνουν. Επίσης θα χρειαστεί και μία δεξαμενή όπου προορίζεται η πραγματοποίηση της αντίδρασης της οποίας η χωρητικότητα πρέπει να είναι 250 λίτρα και η θερμοκρασία θα φτάνει τους 55-60 °C.

Αφού ολοκληρωθεί η αντίδραση στις εξόδους του αντιδραστήρα λαμβάνουμε 40 κιλά γλυκερίνης και 200 κιλά βιοντίζελ

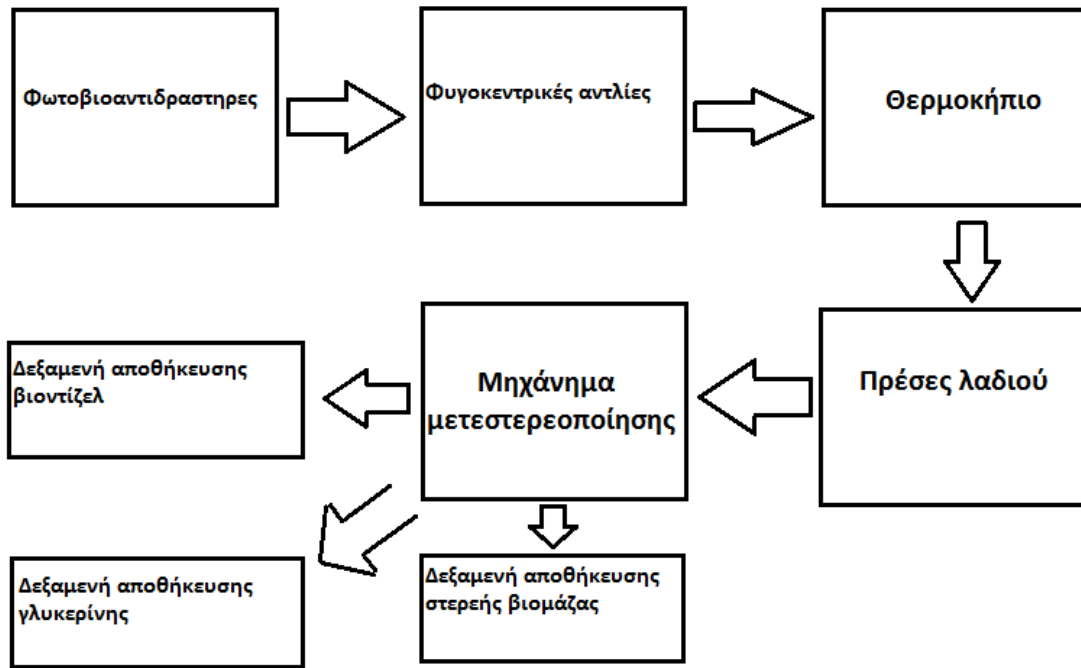
Το βιοντίζελ οδηγείται σε πλαστική δεξαμενή χωρητικότητας 2m³ για να αποθηκευτεί μέχρι την χρήση του ή την πώλησή του. Η γλυκερίνη αντίστοιχα συγκεντρώνεται σε διαφορετικό δοχείο από όπου διατίθεται για πώληση.

7.3.6 Προϊόντα Μονάδας

Ο λόγος ύπαρξης αυτής της μονάδας είναι για τρεις βασικές ανάγκες:

- Παραγωγή βιοντίζελ για πώληση ικανοποιώντας τον τομέα των μεταφορών
- Παραγωγή βρώσιμης ξηρής βιομάζας για την κάλυψη του τομέα των ζωοτροφών
- Παραγωγή ακατέργαστης γλυκερίνης για φαρμακευτική χρήση καλύπτοντας τον τομέα των χημικών βιομηχανιών

Η μονάδας μας παράγει **1) 200 λίτρα βιοντίζελ την ημέρα** καθώς επίσης και **2) ακατέργαστη γλυκερίνη 40 λίτρων την ημέρα** όπως και **3) ξηρή βιομάζα 300 κιλών ημερησίως**



Σχήμα 32: Διάγραμμα ροής μονάδας

7.3.7 Κτιριακές Εγκαταστάσεις

Είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν οι κατάλληλοι χώροι που θα φιλοξενούν τον μηχανικό εξοπλισμό καθώς και τις απαραίτητες ενέργειες για την επίτευξη του σκοπού του. Πιο συγκεκριμένα θα χρειαστεί ένα κτίριο όπου θα στεγάζονται:

- 4 φυγοκεντρικές αντλίες
- 2 πρέσες λαδιού
- 1 μηχάνημα μετεστεροποίησης
- 1 δεξαμενή αποθήκευσης μεθανόλης
- 1 δεξαμενή αποθήκευσης γλυκερίνης
- 1 δεξαμενή αποθήκευσης βιοντίζελ
- Αποθήκη λιπασμάτων, εργαλείων, ανταλλακτικών
- Εργαστήριο
- Γραφεία

Για τη στέγαση όλων των παραπάνω απαιτείται ένα κτίριο 350 τ.μ. και ύψους 5μ.

7.3.8 Ανθρώπινο Δυναμικό

Όλος ο παραπάνω εξοπλισμός απαιτεί και τον κατάλληλο χειρισμό από το κατάλληλο προσωπικό. Οπότε για να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις μας θα χρειαστούμε ανθρώπους για τους εξής τομείς:

- Χημικούς
- Μηχανικούς
- Ηλεκτρολόγους
- Βιολόγους
- Οικονομολόγους

7.4 Οικονομικά στοιχεία

Για τον ορισμό των οικονομικών στοιχείων θα λάβουμε υπόψιν :

- Το **κόστος εγκατάστασης της μονάδας** στο οποίο περιλαμβάνονται:
 - Κόστος οικοπέδου
 - Κόστος απαραίτητου εξοπλισμού
 - Κόστος απαραίτητων εργασιών για την κατασκευή της μονάδας
 - Κόστος για αδειοδότηση κ.α.
- Το **ετήσιο κόστος λειτουργίας**:
 - Κόστος κατανάλωσης ισχύος
 - Κόστος των πρώτων υλών (Λίπασμα, Μεθανόλη[<https://methanex.com/our-business/pricing>], Καυστικό Νάτριο)
 - Μισθοδοσία του προσωπικού
 - Κόστος συντήρησης του εξοπλισμού
 - Φόροι
- Έσοδα
 - Πώληση βιοντίζελ
 - Διάθεση απελαιωμένης άλγης για ζωοτροφές κ.α.
 - Διάθεση της γλυκερίνης

Πίνακας 10: Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης

Είδος		Τεμάχια	Κόστος (€)	
Μηχανολογικός Εξοπλισμός	Φωτοβιοαντιδραστήρες	7	600.000	
	Φυγοκεντρικές Αντλίες	4	120.000	
	Πρέσες ελαίου	2	100.000	
	Αντιδραστήρας Μετεστεροποίησης	1	7.000	
	Φίλτρα Βιοντίζελ	2	3.000	
	Εναλλάκτης Νερού	1	30.000	
	Εναλλάκτης Καυσαερίου	1	20.000	
	Αντλία Θαλασσινού Νερού	1	5.000	
	Κτιριακές Εγκαταστάσεις	Κεντρικό Κτίριο	1	85.000
		Θερμοκήπιο	1	10.000
Εργαστήριο		1	100.000	
Οικόπεδο			100.000	
Εργασίες Κατασκευής	Εγκατάσταση εξοπλισμού		85.000	
	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση		20.000	
	Υδραυλική εγκατάσταση		20.000	
Απρόβλεπτα			100.000	
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης			1.405.000	

Πίνακας 11: Κόστος Ετήσιας Λειτουργίας

Είδος		Κατανάλωση	Κόστος (€)
Ηλεκτρική Κατανάλωση (τιμή MWh=70€)	Φωτοβιοαντιδραστήρες	105Mwh	7.350
	Ανεμιστήρες	5Mwh	350
Πρώτες ύλες	Φυγοκεντρικές Αντλίες	96Mwh	6720
	Πρέσες ελαίου	9,6Mwh	672
	Αντιδραστήρας Μετεστεροποίησης	3,6Mwh	252
	Μεθανόλη	12000L	3.100
Συντήρηση Μηχανολογικού Εξοπλισμού	Καταλύτης (NaOH)	1000kg	230
	Λιπάσματα		5.000
Αμοιβές Προσωπικού			30.000
Φόροι			80.000
Απόσβεση Πάγιου Εξοπλισμού			15.000
Συνολικό Κόστος			59.000
			207.674

Είδος	
Βιοντίζελ	60.000L
Ακατέργαστη Γλυκερίνη	12.000L
Στερεή Βιομάζα	66.000kg

Πίνακας 12: Ποσότητες προϊόντων

Η χρονική περίοδος αποπληρωμής του μηχανολογικού εξοπλισμού επιλέγεται στα 15 χρόνια με βάση το μέσο χρόνο ζωής αυτού του εξοπλισμού.

Στο ετήσιο κόστος λειτουργίας συμπεριλαμβάνουμε και το ετήσιο κόστος απόσβεσης το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$S_{\text{αποσβ.}} = S_{\text{μηχ.εξοπλ.}}/n_{\text{αποσβ.}} = 885.000/15 = 59.000/\text{έτος}$$

Όπου $S_{\text{μηχ.εξοπλ.}}$ = το συνολικό κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού

Γνωρίζοντας πλέον το κεφάλαιο απόσβεσης και με την κατάλληλη έρευνα για την τιμολόγηση των προϊόντων που παράγουμε μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή που θα έχει το βιοντίζελ που παράγουμε.

Συνάρτηση κέρδους:

$$K = I - E$$

K: Κέρδος

I: Έσοδα

E: Έξοδα

$$\text{Οπότε έχουμε } K = 60.000 * X + 12.000 * 0,375 + 66.000 * 1,5$$

Μηδενίζοντας το κέρδος μπορούμε να υπολογίσουμε πόση πρέπει να είναι οριακά η τιμή πώλησης του βιοντίζελ.

$$K = 0 \rightarrow I = E \rightarrow 207.674 = 60.000 * X + 12.000 * 0,375 + 66.000 * 1,5$$

$$X = 1,73\text{€ ανά λίτρο}$$

Αυτή η τιμή αφορά τα 15 πρώτα χρόνια της επένδυσης. Οπότε θα πρέπει να επιλέξουμε μία τιμή πώλησης του βιοντίζελ η οποία να μπορεί να ανταγωνιστεί το πετρέλαιο κίνησης αλλά να μη δημιουργεί ζημιά στο οικονομικό ισοζύγιο. Οπότε η τιμή αυτή επιλέγεται στο 1,7€ ανά λίτρο.

Μετά τα 15 πρώτα χρόνια λειτουργίας όπου και θα αποσβεστεί το ετήσιο κόστος του εξοπλισμού, η τιμή αυτή θα αλλάξει καθώς η συνάρτηση του κέρδους θα είναι διαφορετική.

$$K' = I' - E'$$

για εκείνη την περίοδο η οριακή τιμή πώλησης θα είναι:

$$I' = E' \rightarrow 60.000 * X' + 4.500 + 99.000 = 207.674 - 59.000$$

$$X' = 0,7529\text{€ ανά λίτρο}$$

Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε τιμή πάνω από αυτήν μπορεί να επιφέρει κέρδος.

8. Συζήτηση και συμπεράσματα

Η ανάλυση δείχνει ότι οι μικροάλγες ως νέα πηγή βιομάζας μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο για την παραγωγή βιοενέργειας. Οι υψηλές αποδόσεις ελαίου και η μικρότερη χρήση της γης είναι τα κύρια πλεονεκτήματα τους. Ωστόσο, για να επιτευχθεί μεγάλη κλίμακας βιομηχανική παραγωγή, πολλά δύσκολα προβλήματα πρέπει να επιλυθούν. Η παραγωγή μικροάλγης επιτυγχάνεται μέσω ενός πολύπλοκου μηχανολογικού συστήματος, στο οποίο αναγκαστικά εμπλέκονται πολλές επιστήμες, πολλαπλά πεδία και τεράστιο επενδυτικό κόστος. Επί του παρόντος, οι μεγάλες τεχνολογικές εγκαταστάσεις απουσιάζουν, η μεγάλης κλίμακας παραγωγή δεν εφαρμόζεται ακόμη και το κόστος παραγωγής είναι πολύ υψηλότερο από αυτό του πετρελαίου. Πρέπει να βελτιωθούν ορισμένα τεχνικά προβλήματα όπως η επιλογή των ειδών μικροάλγης, η συγκομιδή, τα συμπυκνωμένα μικροάλγη, η θραύση του κυτταρικού τοιχώματος των μικροαλγών και η εκχύλιση του ελαίου. Λύνοντας αυτά τα προβλήματα τεχνικής φύσεως, ταυτόχρονα, μειώνεται το επενδυτικό κόστος εξοπλισμού και της παραγωγής καθώς οι δαπάνες θεωρούνται οι πιο δύσκολες προκλήσεις. Η καλλιέργεια μικροάλγης είναι η βάση της ανάπτυξης βιοκαυσίμων. Η γενετική μηχανική πρέπει να αναπτυχθεί προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα της περιεκτικότητας της μικροάλγης σε έλαιο και το πρόβλημα του ρυθμού ανάπτυξης για να δημιουργηθεί μια νέα βιώσιμη ανανεώσιμη ενέργεια.

Η ανάπτυξη της ενέργειας των αλγών δεν είναι απαραίτητη μόνο για τα τεχνικά ζητήματα, αλλά και για τη μείωση του κόστους της διαδικασίας παραγωγής. Μόνο με αυτόν τον τρόπο, η ενέργεια των μικροαλγών θα έχει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Ο λόγος για τον οποίο η σημερινή κοινωνία υποστηρίζει σθεναρά την ανάπτυξη νέων μορφών ενέργειας δεν είναι μόνο για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος, αλλά υπάρχουν και στρατηγικές εκτιμήσεις. Οι συγκρούσεις που συνδέονται με την ύπαρξη αργού πετρελαίου στην περιοχή της Μέσης Ανατολής ήταν αρκετές (ο πόλεμος στον Κόλπο και δύο φορές το IraqWar). Πρόσφατα, πολλές χώρες (όπως η Ιαπωνία, η Κίνα, οι ΗΠΑ, η Ρωσία και οι χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας κ.λπ.) άρχισαν να αναπτύσσουν διαδοχικά την υποθαλάσσια ενέργεια και αυτό είχε ως αποτέλεσμα διαμάχες (η διαμάχη της θάλασσας της Νότιας Κίνας μεταξύ Κίνας και Φιλιππίνων, η διαμάχη των νήσων Diaoyu μεταξύ Κίνας και Ιαπωνίας και η διαμάχη μεταξύ της Ιαπωνίας και της Ρωσίας για τα τέσσερα βόρεια νησιά) εντεινόμενες σε όλο τον κόσμο. Η διείσδυση νέων μορφών ενέργειας μπορεί να μας βοηθήσει να απαλλαγούμε από αυτά τα προβλήματα. Οι μικροάλγες δεν χρειάζεται να καταλαμβάνουν τη γη και μπορούν να τραφούν από λυματολάσπη. Αυτά τα χαρακτηριστικά φύκη είναι τα στοιχεία που μας ενθαρρύνουν στο να έχουμε εγχώρια παραγωγή σχεδόν σε κάθε χώρα. Έτσι, η εξάρτηση των εισαγωγών από το πετρέλαιο

μπορεί να μειωθεί σημαντικά, μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες να λεηλατηθούν οι πόροι σε όλο τον κόσμο.

Αναμφισβήτητα, η διαδικασία παραγωγής ενέργειας από άλγεις έχει ορισμένα προβλήματα αυξημένης δυσκολίας που παραμένουν προς μελέτη. Λόγω της απουσίας μεγάλης κλίμακας παραγωγής, τα επίπεδα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής μικροάλης εξακολουθούν να είναι άγνωστα. Ωστόσο, οι οργανισμοί αυτοί έχουν τη δυνατότητα να μας βοηθήσουν να μετριάσουμε την επισιτιστική κρίση, τα προβλήματα έλλειψης πετρελαίου και να αποφύγουμε κάποιους από τους “πολέμους” και τις διαμάχες που συνέβησαν λόγω των ενεργειακών πόρων. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, η βιομηχανοποίηση της διαδικασίας παραγωγής ελαίου από άλγη θα γίνεται εντονότερη και έτσι οι άλγεις, ως βιοκαύσιμο τρίτης γενιάς, θα συμβάλουν στην αντιμετώπιση των ολοένα αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων.

9. Βιβλιογραφία

1. Sims R., Taylor M. (2008). From 1st to 2st Generation Biofuel Technologies, International Energy Agency (IEA Bioenergy), pp 16-38
2. Burton B. (2011). An OXFAM Hunger Banquet, Media Voices For Children, 20, 4,2011. <http://mediavoicesforchildren.org/?p=8573> Accessed on : 20,4,2013.
3. Wu C., Z. X., Zhou F., Cao H. (2007). "The Analysis of Biomass Energy UseTechnology development" Chinese Renewable Energy 29: 35-41.
4. Patil, V., K. Q. Tran, et al. (2008). "Towards sustainable production of biofuel from microalgae." Int J Mol Sci 9(7): 1188-1195.
5. Ozkurt I. (2009). Qualifying of safflower and algae for energy. Energy Educ Sci Technol Part A ;23: 145-151.
6. Demirbas A. (2010). "Use of algae as biofuel sources." Energy Conversion and Management 51: 2738-2749.
7. Richmond A. (2004 a). Algae nutrition. In: Richmond A, editor. Handbook of microalgae culture: biotechnology and applied phycology. Blackwell
8. Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ, Calero ND. Biofuels from microalgae. Biotechnol Prog 2008;24(4):815–20.
9. Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ, Dubois-Calero N. Biocatalysts and bioreactor design. Biotechnol Progr 2008;24:815–20.
10. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. Biotechnol Adv 2007;25:294–306.
11. Kong Q, Yu F, Chen P, Ruan R. High oil content microalgae selection for biodiesel production. St. Joseph, Michigan: ASABE; 2007, [ASABE Paper No. 077034].
12. Spolaore P, Joannis-Cassam C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. J Biosci Bioeng 2006;101(2):87–96.
13. Oncel S, Sukan VF. Comparison of two different pneumatically mixed column photobioreactors for the cultivation of *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*). Bioresour Technol 2008; 99 :4755–60.
14. Negoro M, Shioji N, Niyamoto K, Miura Y. Growth of microalgae in high CO₂ gas and effects of SO_x, NO_x. Appl Biochem Biotechnol 1991;28–29:877–86.
15. Kommareddy AR, Anderson GA. Study of light as a parameter in the growth of algae in a photo-bioreactor (PBR). St. Joseph, Michigan: ASAE; 2003, [ASAE Paper No. 034057],
16. Kommareddy AR, Anderson GA. Mechanistic modeling of photobioreactor system. St. Joseph, Michigan: ASAE; 2005, [ASAE Paper No. 057007].
17. Onay M, Sonmez C, Oktem HA, Yucel AM. Thermo-resistant green microalgae for effective biodiesel production: isolation and characterization of unialgal species from geothermal flora of Central Anatolia. Bioresour Technol 2014;169:62–71
18. Sheehan J, Dunahay T, Benemann J, Roessler P. A look back at the U.S. Department of Energy's aquatic species program: biodiesel from algae. USA: National Renewable Energy Laboratory; 1998, [NREL/TP-580-24190].

19. Aslan S, Kapdan IK. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecol Eng* 2006;28(1):64–70.
20. Pratoomyot J, Srivilas P, Noiraksar T. Fatty acids composition of 10 microalgal species. *Songklanakarin J Sci Technol* 2005;27(6):1179–87.
21. Chaumont D. Biotechnology of algal biomass production: a review of systems for outdoor mass culture. *J Appl Phycol* 1993;5:593–604.
22. Carlsson AS, Van Beilen J, Moller R, Clayton D. *Micro- and macro-algae: utility for industrial applications*, 1st edition. Newbury, UK: CPL Press; 2007.
23. Kiran B, Kumar R, Deshmukh D. Perspectives of microalgal biofuels as a renewable source of energy. *Energy Convers Manag* 2014;88:1228-44.
24. Borowitzka MA. Culturing microalgae in outdoor ponds. In: Andersen RA, editor. *Algal culturing techniques*. Burlington (MA): Elsevier Academic Press; 2005. p.205–18.
25. Adesanya VO, Cadena E, Scott SA, Smith AG. Life cycle assessment on microalgal biodiesel production using a hybrid cultivation system. *Bioresour Technol* 2014;163:343–55.
26. Pirt SJ, Lee YK, Walach MR, Pirt MW, Balyuzi HHM, Bazin MJ. A tubular photobioreactor for photosynthetic production of biomass from carbon dioxide: design and performance. *J Chem Technol Biotechnol* 1983;33(1):35-58.
27. Molina E, Fernandez J, Acien FG, Chisti Y. Tubular photobioreactor design for algal cultures. *J Biotechnol* 2001;92(2):113–31.
28. Tredici MR, Zittelli GC. Efficiency of sunlight utilization: tubular versus flat photobioreactors. *Biotechnol Bioeng* 1998;57(2):187–97.
29. Brennan L, Owende P. Biofuels from microalgae – a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14(2):557–77.
30. Barbosa MJ, Zijffers WJ, Nisworo A, Vaes W, Schoonhoven VJ, Wijffels RH. Optimization of biomass, vitamins, and carotenoid yield on light energy in a flatpanel reactor using the A-stat technique. *Biotechnol Bioeng* 2005;89(2):233–42.
31. Degen J, Uebele A, Retze A, Schmid-Staiger U, Trosch W. A novel airlift photobioreactor with baffles for improved light utilization through the flashing light effect. *J Biotechnol* 2001;92(2):89–94.
32. Yadala S, Cremaschi S. Design and optimization of artificial cultivation units for algae production. *Energy* 2014;78:23–39.
33. <http://www.oilgae.com/algae/cult/des/des.html>
34. <http://www.oilgae.com/algae/cult/mar/mar.html>
35. <http://www.oilgae.com/algae/cult/cos/cos.html>
36. <http://www.oilgae.com/algae/har/fil/fil.html>
37. <http://www.oilgae.com/algae/har/cen/cen.html>
38. <http://www.oilgae.com/algae/har/flo/flo.html>
39. Zhang F., Cheng L., Xu X. , Zhang L., Chen H.. (2012) *Technologies of Microalgae Harvesting and Lipid Extraction; Process in Chemistry*.
40. <http://www.oilgae.com/algae/har/ma/ma.html>

41. Oilgae (2013). Algae oil extraction <http://www.oilgae.com/algae/oil/extract/extract.html>
42. Mendes, R.L.; Nobre, B.P.; Cardoso, M.T.; Pereira, A.P.; Palavra, A.F. (2003). Supercritical carbon dioxide extraction of compounds with pharmaceutical importance from microalgae. *Inorganica Chimica Acta*. (356:3); pp. 328-334.
43. Couto, R. M.; Simões, P. C.; Reis, A.; Da Silva, T. L.; Martins, V. H.; Sánchez-Vicente, Y. (2010). Supercritical fluid extraction of lipids from the heterotrophic microalga *Cryptocodinium*; *Eng. Life Sci.* (10); 158-164.
44. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002304>
45. Shie, J.L., Chang, C.Y., Lin, J.P., Wu, C.H., Lee D.J., Chang, C.F. (2004) "Kinetics of the oxidative thermal treatment of oil sludge at low heating rates," *Energy & Fuels*, 18(5), 1272-1281
46. Minowa T, Sawayama S. (1999) A novel microalgal system for energy production with nitrogen cycling. *Fuel*;78:1213-5.
47. Miao X, Wu Q, Yang C. (2004) Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuel. *J Anal App Pyrolysis*;71:855-63.
48. McKendry P. (2003) Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Biores Technol*;83:47-54.
49. Van Gerpen, J.; Shanks, B.; Pruszko, R.; Clements, D.; Knothe, G. (2004). Biodiesel Production Technology. NREL/SR-510-36244. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
50. Darzins A., Pienkos P., Edye L. (2010) Current Status and Potential for Algal Biofuel Production. IEA Bioenergy Task 39.
51. Amin, S. (2009). "Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae" *Energy Conversion and Management* 50: 1834-1840.
52. Sims R. , Taylor M. (2008). From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies, International Energy Agency (IEA Bioenergy), pp 16-38.
53. Chen F. (2010). "Microalgae lead the development of the third generation biofuel" *Energy Reports*. No.16, P23-26.
54. Maxwell, E.L; Folger, A.G.; Hogg, S.E. (1985). Resource evaluation and site selection for microalgae production systems. SERI/TR-215-2484. Golden, CO: Solar Energy Research Institute
55. Kuang T., K. Ma, K. Bai, (2005). Prospects of Bioenergy Exploitation; China Science Foundation – Subject improvement and prospects 2005: No.6 ; 326-330
56. Wijffels and Barbosa, 2010. Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels
57. Lundquist T. J. (2008). Production of Algae in Conjunction with Wastewater Treatment; California Polytechnic State University 2012. Accessed on: 04 June 2013 <http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/lundquist.pdf>
58. Christi, Y. (2008). —Biodiesel from microalgae beats bio ethanol. " Trends in Biotechnology (25); pp.126-131

59. Raphael S. & Ausilio B., (2012) Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects; Biomass and Bioenergy Volume 53 2013 29 – 38
60. Landgraf J.C., Starzyk M.J. (1987). The blue- green algae in nuclear power plant cooling water. US Nation Library of medicine national institutes;18(73-74):151-7
61. Keune N. Algae: Fuel of the Future? National Review Online of the U.S. 08.03.2012. Accessed on 09.04.2013 <http://www.nationalreview.com/articles/292913/algae-fuel-future-nash-keune>
62. Wei Zheng, (2010). China Academy of Science and China Petroleum Chemical Cooperation cooperate to develop microalgae biofuel technology. Chemical Technology Market, Vol.33-No.9 pp. 60.
63. Li N.. (2009) Algae biofuel development suggestions, Science Times, 09.02.2009
64. Rebitzera G., Ekvallb T. , Frischknechtc R. , Hunkelerd D. , Norrise G. , Rydbergf T. , W.P. Schmidtg, S. Suhh, B.P. Weidemai, D.W. Penningtonf (2004). Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications; Science Direct, Environment International 30 (2004) 701– 720
65. Clarens, A.; Resurreccion, E.P.; White, M.A.; Colosi, L.M. (2010). Environmental Life Cycle Comparison of Algae to Other Bioenergy Feedstocks. Environ. Sci.Technol. (44); 1813-1819.
66. Lardon, L., Helias, A., Sialve, B., Steyer, J.P., Bernard, O. 2009. Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae. Environmental Science & Technology, In Press. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es900705j>
67. Stecker T. (2013). Climatewire with permission from Environment & Energy Publishing, LLC.202-628-6500. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=algal-biofuel-sustainability-review-hightlights-concerns-about-water-safety>
68. Aylott M. (2011). European EnAlgae partnership to unlock the potential of algal bioenergy. NNFCC <http://www.nnfcc.co.uk/news/energetic-algae-project-to-investigate-potential-of-algae-energyand-fuels> Accessed on 09.04.2013
69. Algae Biofuel Production –Thesis - Adam Posthuma-libre [http://www.academia.edu/1293749/Adam M. Posthuma 2009 Algae Biofuel Production - Master Thesis - Sustainable Development Landuse Ecosystems and Biodiversity](http://www.academia.edu/1293749/Adam_M._Posthuma_2009_Algae_Biofuel_Production_-_Master_Thesis_-_Sustainable_Development_Landuse_Ecosystems_and_Biodiversity)
70. Techno-economic analysis of autotrophic microalgae for fuel production <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911002406>
71. The future viability of algae-derived biodiesel under economic <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24220544>
72. Ψύχα Μελίνα - ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός βιοδιυλιστηρίου μικροαλγών”

73. Environmental Technology – 2013 Swedish Solution. (2013) Published by the Ministry of the Environment and Foreign Affairs of Sweden. <http://www.regeringen.se/content/1/c6/17/61/39/67ff1a10.pdf>
74. Oilgae (2013). Algae oil extraction <http://www.oilgae.com/algae/oil/extract/extract.html>
75. Rushing Sam A. (2009) Examining CO2 Sources for Algae; Biodiesel Magazine, 14, October 2009 <http://www.biodieselmagazine.com/articles/3786/examining-co2-sources-for-algae/>
76. Schelmetic T. (2013). Biofuel from Algae Part One: The Pros and Cons of Pond Scum. Int green & clean journal. February 19th 2013. http://news.thomasnet.com/green_clean/2013/02/19/biofuel-from-algae-part-one-the-pros-and-cons-of-pond-scum/
77. Van Gerpen, J.; Shanks, B.; Pruszko, R.; Clements, D.; Knothe, G. (2004). Biodiesel Production Technology. NREL/SR-510-36244. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. http://www.global-greenhouse-warming.com/support-files/biodiesel_nrel.pdf
78. Καπλάνης Σ.Ν Ηλιάκη Μηχανική. Σ.1 : Εκδόσεις Ίων
79. www.meteo.gr
80. John Benemann, Ian Woertz, and Tryg Lundquist. Disruptive Science and Technology. December 2012, 1(2): 68-78 Edward P. Bennion a , Daniel M. Ginosar b , John Moses c , Foster Agblevor d , Jason C. Quinn. Lifecycle assessment of microalgae to biofuel: Comparison of thermochemical processing pathways
81. <https://en.wikipedia.org/wiki/Methanol>
82. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%BD%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85
83. Grace Pokoo-AikinsAhmed NadimMahmoud M. El-Halwagi. Design and analysis of biodiesel production from algae grown through carbon sequestration