

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΣΑΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ ΣΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:  
ΜΠΕΧΡΑΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ  
ΠΑΠΑΝΤΩΝΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2018**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την διερεύνηση της θαλάσσιας βιομάζας ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Αναλύονται οι πηγές της θαλάσσιας βιοενέργειας, ενώ παράλληλα εξετάζονται και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή των υδρόβιων φυτών σε βιοκαύσιμα.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στην θαλάσσια βιοενέργεια. Θα γίνει εκτενής αναφορά στην βιοενέργεια και στον ρόλο που διαδραματίζει στις πολιτικές που έχουν υιοθετηθεί σε παγκόσμια κλίμακα για την αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τις διαθέσιμες πηγές βιοκαυσίμων. Θα αναλυθούν όλες οι διαθέσιμες πηγές υδρόβιων φυτών με παράθεση όλων των χαρακτηριστικών που τα καθιστά κατάλληλα για την χρήση τους ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνολογίες και οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί σχετικά με την αξιοποίηση των θαλάσσιων βιοκαυσίμων με στόχο των παραγωγή βιοενέργειας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύονται οι δυνατότητες διάθεσης της παραγομένης βιοενέργειας προς την διεθνή αγορά ενέργειας. Τέλος στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν σχετικά με την θαλάσσια βιομάζα και τον ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει στο μέλλον για την παραγωγή ενέργειας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	8
1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα.....	8
1.2 Χρήση ορυκτών καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο .....	10
1.3 Βιοενέργεια .....	13
1.4 Βιοκαύσιμα.....	16
1.4.1 Βιοντίζελ.....	18
1.4.3 Βιοαιθανόλη.....	19
1.4.4 Βιοαέριο .....	20
1.4.5 Πέλλετς.....	22
1.5 Πολιτικές βιοκαυσίμων σε παγκόσμια κλίμακα .....	23
1.5.1 Πολιτικές που ακολουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση.....	23
1.5.2 Πολιτικές που ακολουθούν οι ΗΠΑ.....	25
1.5.3 Πολιτικές που ακολουθεί ο Καναδάς .....	26
1.5.4 Πολιτικές που ακολουθεί η Νότιος Αφρική .....	26
1.6 Θαλάσσια βιοενέργεια.....	27
2. ΠΗΓΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	30
2.1 Βιολογία των φυκών .....	30

2.2 Διάτομα άλγη (Bacillariophyceae ή Diatomeae) .....	32
2.3 Χλωροφύκη - Πράσινα άλγη (Chlorophyta, Chlorophyceae, Green algae).....	34
2.4 Ευστιγματόφυτα άλγη (Eustigmatophytes – Eustigmatophyceae).....	35
2.5 Πρυμνεσιόφυτα - Απτόφυτα άλγη (Haptophyta - Prymnesiophyceae).....	37
2.6 Κόκκινα άλγη (Rhodophyta).....	38
3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	40
3.1 Τεχνικές νανοτεχνολογίας στη παραγωγή βιοενέργειας.....	40
3.1.1 Παραγωγή και χαρακτηριστικά των νανοϋλικών: .....	42
3.2 Τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων από θαλάσσια φυτά.....	45
3.3 Φωτοαυτοτροφική παραγωγή.....	46
3.3.1 Σύστημα παραγωγής ανοιχτής λίμνης .....	47
3.3.2 Κλειστό σύστημα παραγωγής .....	49
3.4 Ετεροτροφική παραγωγή.....	53
3.5 Μικτοτροφική παραγωγή .....	54
3.6 Περιορισμοί στην παρασκευή και στην απόδοση της βιομάζας φυκών .....	54
3.7 Μέθοδοι επεξεργασίας αλγών .....	55
3.8 Μέθοδοι συγκομιδής.....	58
3.8.1 Κροκίδωση και συσσωμάτωση υπερήχων .....	58
3.8.2 Βαρύτητα και φυγοκεντρική καθίζηση .....	60
3.8.3 Διήθηση βιομάζας.....	61
3.8.4 Διαδικασίες αφυδάτωσης .....	62

3.9 Τεχνολογίες μετατροπής βιολογικών καυσίμων.....	63
3.9.1 Θερμοχημική μετατροπή .....	64
3.9.2 Βιοχημική μετατροπή.....	69
3.10 Παραγωγή βιοντίζελ από θαλάσσια μικροάλη .....	72
3.10.1 Παραγωγή βιοντίζελ.....	76
3.11 Παραγωγή βιοηλεκτρισμού από θαλάσσια βακτηρία , ακτινοβακτήρια και μύκητες .....	77
3.11.1 Φωτοτροφικά MFC.....	79
4. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΘΝΗ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	82
4.1 Παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη της θαλάσσιας βιοενέργειας.....	82
4.2 Βιωσιμότητα και αξιολόγηση του κύκλου ζωής.....	83
4.3 Εμπορικά προϊόντα που παράγονται από την θαλάσσια βιομάζα.....	85
4.4 Περιορισμοί στην εμπορευματοποίηση της θαλάσσιας βιομάζας.....	86
4.5 Βασικές στρατηγικές για την εμπορευματοποίηση της θαλάσσιας βιομάζας.....	89
4.6 Συμφωνία Task 40.....	90
4.7 Σύγκριση βιωσιμότητας της αλυσίδας εφοδιασμού βιοκαυσίμων από θαλάσσια και μη βιομάζα .....	96
4.7.1 Βιωσιμότητα θαλάσσιας βιομάζας από περιβαλλοντική άποψη .....	96
4.7.2 Βιωσιμότητα θαλάσσιας βιομάζας από οικονομική άποψη.....	97
4.7.3 Βιωσιμότητα θαλάσσιας βιομάζας από κοινωνική άποψη .....	99
4.8 Πολιτικές και εμπορικά καθεστώτα .....	101

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	102
5.1 Γενικά συμπεράσματα για την θαλάσσια βιομάζα .....	102
5.2 Συμπεράσματα για τα φύκη ως αιφόρο πηγή βιοκαυσίμων .....	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ

## 1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Η χρήση πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας, αποτελεί κομμάτι της ανθρώπινης ζωής για αιώνες. Η χρήση του ξύλου αλλά και άλλων οργανικών υλικών αποτέλεσε βασική πηγή ενέργειας μέχρι τον 16<sup>ο</sup> αιώνα. Από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση ο άνθρακας αντικατέστησε το ξύλο, παρέχοντας μια νέα πηγή ενέργειας, η οποία προσφέρει περισσότερα πλεονεκτήματα ως προς την παραγωγή ενέργειας. Στην αρχή του 20<sup>ου</sup> αιώνα, με την εύρεση κοιτασμάτων πετρελαίου, ο άνθρακας υποκαταστάθηκε από μια νέα πηγή ενέργειας. Η μη ανανεώσιμη αλλά εύχρηστη αυτή πηγή ενέργειας, βοήθησε στο να βελτιωθεί το βιοτικό επίπεδο του ανθρώπου, προσφέροντας ουσιώδη πλεονεκτήματα. Μέχρι σήμερα, ο άνθρακας και το πετρέλαιο, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται, παρόλο που αποτελούν μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με τα αποθέματα τους να μειώνονται με γοργούς ρυθμούς.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής βασίζεται σε μέγιστο βαθμό στην χρήση της ενέργειας, για την εκτέλεση ακόμα και των πιο απλών ενεργειών. Ως ένα αναπόσπαστο κομμάτι για την κάλυψη βασικών αναγκών όπως η θέρμανση, η υδροδότηση, ο φωτισμός, το μαγείρεμα και άλλα, η ενέργεια θεωρείται δεδομένη, οδηγώντας τους χρήστες της στο να παραβλέπουν τις επιπτώσεις που επιφέρει η αλόγιστη χρήση της.

Η πρώτη αναφορά στο ενεργειακό πρόβλημα, εμφανίζεται κατά την δεκαετία του 1950. Κατά την περίοδο αυτή, είχε εκτιμηθεί ότι τα προς εκμετάλλευση αποθέματα των ορυκτών καυσίμων, επαρκούσαν για τουλάχιστον 20 χρόνια. Η ενεργειακή κρίση του 1973 αποτέλεσε την αρχή της συνειδητοποίησης του ενεργειακού προβλήματος.

Το ενεργειακό πρόβλημα αφορά τις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε ενέργεια και την σταδιακή μείωση των αποθεμάτων πηγών ενέργειας. Η αυξημένη ζήτηση ενέργειας προς κατανάλωση, σε συνδυασμό με την εξάντληση των ενεργειακών πόρων και την αύξηση των τιμών της παροχής ενέργειας έχουν δημιουργήσει ένα σημαντικό πρόβλημα με σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον καθώς και στον άνθρωπο. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση που η ενέργεια είναι είτε δυσπρόσιτη ή εξαιρετικά δαπανηρή, οι άνθρωποι που δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτή, υποφέρουν από υλική στέρηση και οικονομικές δυσκολίες.

Εκτός από την μείωση των αποθεμάτων, ένα άλλο εξίσου σημαντικό πρόβλημα είναι και η παραγωγή ενέργειας με τρόπους οι οποίοι επιβαρύνουν το περιβάλλον. Αυτό έχει ως συνέπεια την



επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ρύπους αλλά και την αύξηση στα πολιτικά κόστη, απειλώντας κατά βάση την ανθρώπινη ευημερία.

Γενικά το ενεργειακό πρόβλημα αποτελεί αποτέλεσμα πολλών παραγόντων όπως:

- Περιορισμένη ή και ανύπαρκτη πρόσβαση στην ενέργεια από ένα μεγάλο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού για την κάλυψη των βασικών αναγκών.
- Κάθετη αύξηση του κόστους της ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ενεργειακού εφοδιασμού αυξάνονται σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο, προκαλώντας ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπανση των υδάτων, ρύπανση των ωκεανών και κλιματική αλλαγή.
- Οι κοινωνικοπολιτικοί κίνδυνοι του ενεργειακού εφοδιασμού αυξάνονται, τόσο με την εμφάνιση συγκρούσεων ανάμεσα σε χώρες με κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων και μέσω της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας με τρόπο καταστροφικό.

Σε κάθε χώρα, οι απαιτήσεις σε ενέργεια επηρεάζονται από παράγοντες όπως:

- ο ρυθμός ανάπτυξης
- το μέγεθος της
- η κατανομή του πληθυσμού σε γεωγραφικό επίπεδο
- τα μέσα παραγωγής και διάθεσης της ενέργειας στον πληθυσμό (Holdren, 1991).

Ο Holdren (1991) προέβλεπε ότι το πρώτο βήμα για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος, θα πρέπει να γίνει προσπάθεια σε παγκόσμιο επίπεδο για την αύξηση των επενδύσεων σχετικά με τη βελτίωση του τρόπου με τον οποίο καταναλώνεται η ενέργεια. Θέτοντας την βελτίωση της καταναλωτικής συμπεριφοράς ως προς την ενέργεια ως την βάση, επισήμανε επίσης την ανάγκη για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σύγχρονων ενεργειακών τεχνολογιών, οι οποίες, σύμφωνα με τα δεδομένα της εποχής, θα απαιτούσαν υψηλή χρηματοδότηση για την μετάβαση στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών.

Η αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας οφείλεται σε πολλούς αίτιους παράγοντες. Η έλλειψη υγιούς καταναλωτικής συνήθειας, έχει οδηγήσει σε κατασπατάληση της παραγόμενης ενέργειας. Τα αίτια της αύξησης της κατανάλωσης εντοπίζονται ως εξής:

- i. Η αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη και η οικονομική ανάπτυξη, έχουν οδηγήσει σε αξιοσημείωτη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Στις ανεπτυγμένες χώρες, όπως η Γερμανία, η Ιαπωνία, η Γαλλία και η Κορέα, ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας

οφείλεται ως επί το πλείστο στην οικονομική ανάπτυξη. Σε άλλες χώρες πάλι όπως οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ινδονησία και η Ινδία, αυτοί οι δύο παράγοντες επηρεάζουν τον ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας σε διαφορετικό βαθμό. Από την άλλη πλευρά, στην Αφρική, αν και ο ρυθμός ανάπτυξης της εξαρτάται από την αύξηση του πληθυσμού των χωρών της, η συμβολή του στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή (Kadoshin et al, 2000).

- ii. Η ανομοιογένεια που παρατηρείται στις περιοχές του πλανήτη, ακολουθείται και από μια εξίσου ανομοιογενή κατανάλωση ενέργειας. Ορισμένες χώρες καταναλώνουν πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από κάποιες άλλες. Αυτή η ανισότητα στα επίπεδα της κατανάλωσης ενέργειας, περιπλέκει σε μεγάλο βαθμό οποιαδήποτε παγκόσμια συμφωνία για τον περιορισμό της, λόγω της τεράστιας διαφοράς μεταξύ των χωρών (Lawrence et al, 2013).
- iii. Η αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας, η οποία πηγάζει από την συνεχή προσπάθεια του ανθρώπου για την βελτίωση του βιοτικού του επιπέδου. Η προσπάθεια όμως της μείωσης της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας δεν είναι εφικτή για όλες τις χώρες. Όπως αναφέραμε πιο πάνω, οι υποανάπτυκτες χώρες καθώς και οι χώρες που βρίσκονται σε φάση ανάπτυξης, δεν μπορούν να περιορίσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες (Ang, 2007).
- iv. Οι απώλειες ενέργειας από τα συστήματα παραγωγής ενέργειας, αποτελούν έναν ακόμα εξαιρετικά σημαντικό παράγοντα. Με την υπερκατανάλωση ενέργειας, οι απαιτήσεις σε ενέργεια αυξάνονται διαρκώς. Έτσι απαιτείται παραγωγή περισσότερης ενέργειας έτσι ώστε να καλυφθούν πλήρως οι ενεργειακές ανάγκες. Από την παραγωγή ενέργειας όμως προκύπτουν και απώλειες με την μορφή ενέργειας χαμηλότερης ποιότητας, όπως η θερμική ενέργεια.

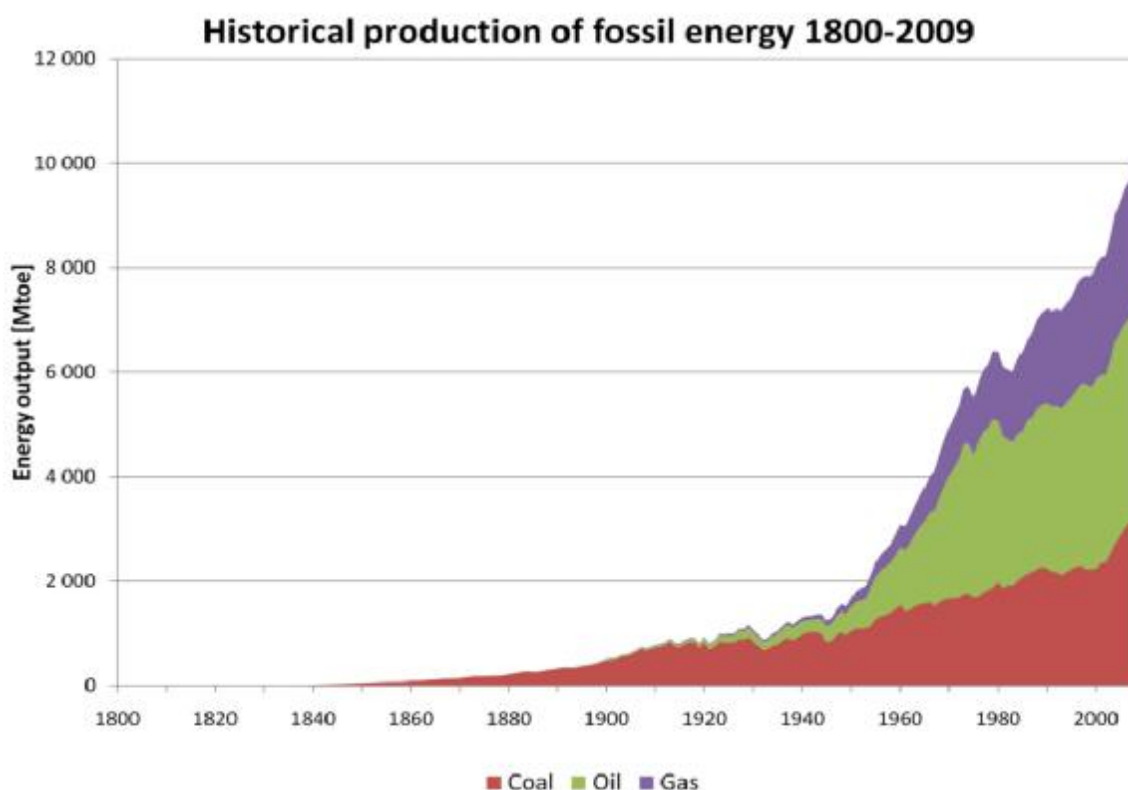
## 1.2 Χρήση ορυκτών καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο

Η χρήση των ορυκτών καυσίμων διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας. Ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτέλεσε την θεμελιώδη κινητήρια δύναμη από την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι και σήμερα, συμβάλλοντας ενεργά στην παγκόσμια αλλαγή.

Παρά την συμβολή τους στην τεχνολογική ανάπτυξη, τα καύσιμα αυτά έχουν επιφέρει εξαιρετικά αρνητικές επιπτώσεις, οι οποίες αποτελούν τη κυρίαρχη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης και δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με τους Ritchie & Roser (2017), υπάρχουν ιστορικά ευρήματα που αποδεικνύουν ότι ο άνθρακας ήταν το πρώτο ορυκτό καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε στον κόσμο και πιο συγκεκριμένα

στην Κίνα, κατά την 4<sup>η</sup> π.Χ. χιλιετία. Στο επόμενο γράφημα παρουσιάζεται η εξέλιξη της χρήσης των ορυκτών καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1800 μέχρι το 2009.



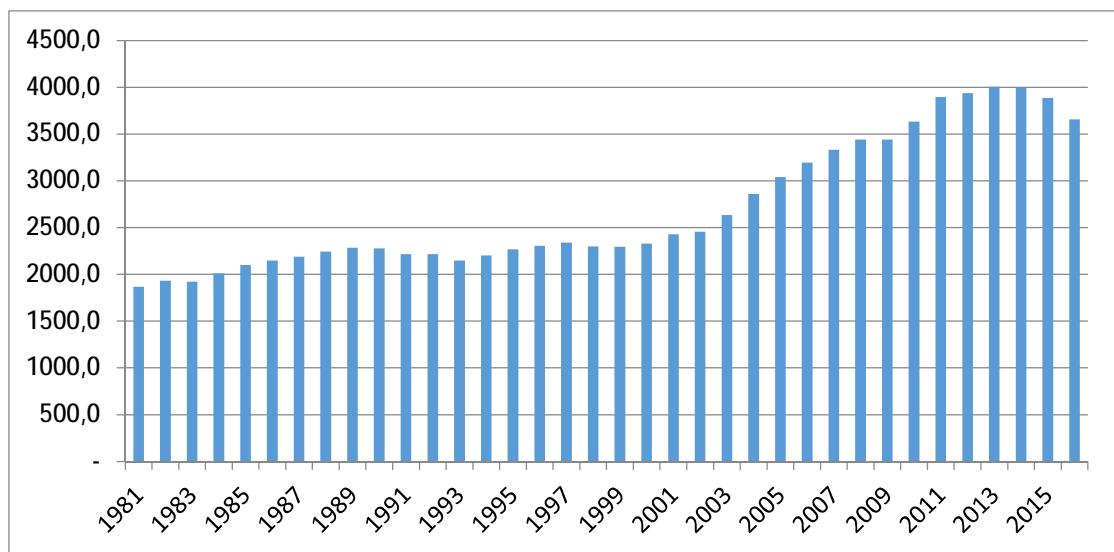
Γράφημα 1 Ιστορική εξέλιξη παραγωγής ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων 1800-2009

Σύμφωνα με το διάγραμμα από το κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, η χρήση του άνθρακα ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή ενέργειας ήταν αποκλειστική. Από την πρώτη δεκαετία του 20<sup>ου</sup> αιώνα, εισάγονται στην παραγωγή ενέργειας και δύο νέα ορυκτά καύσιμα το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Μέχρι και το 2009, η χρήση των ορυκτών καυσίμων αυξήθηκε κατά 1300 φορές,

Ο άνθρακας χρησιμοποιείται από πολλές χώρες ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Ως υλικό, αποτελεί ένα ορυκτό καύσιμο, το οποίο δημιουργήθηκε από μεταλλαγμένα υπολείμματα προϊστορικής βλάστησης που αρχικά συσσωρεύτηκαν σε ελώδεις περιοχές και τέλματα. Η ενέργεια που λαμβάνουμε από τον άνθρακα σήμερα προέρχεται από την ενέργεια που απορρόφησαν τα φυτά από τον ήλιο πριν από εκατομμύρια χρόνια (World Coal Institute, 2009).

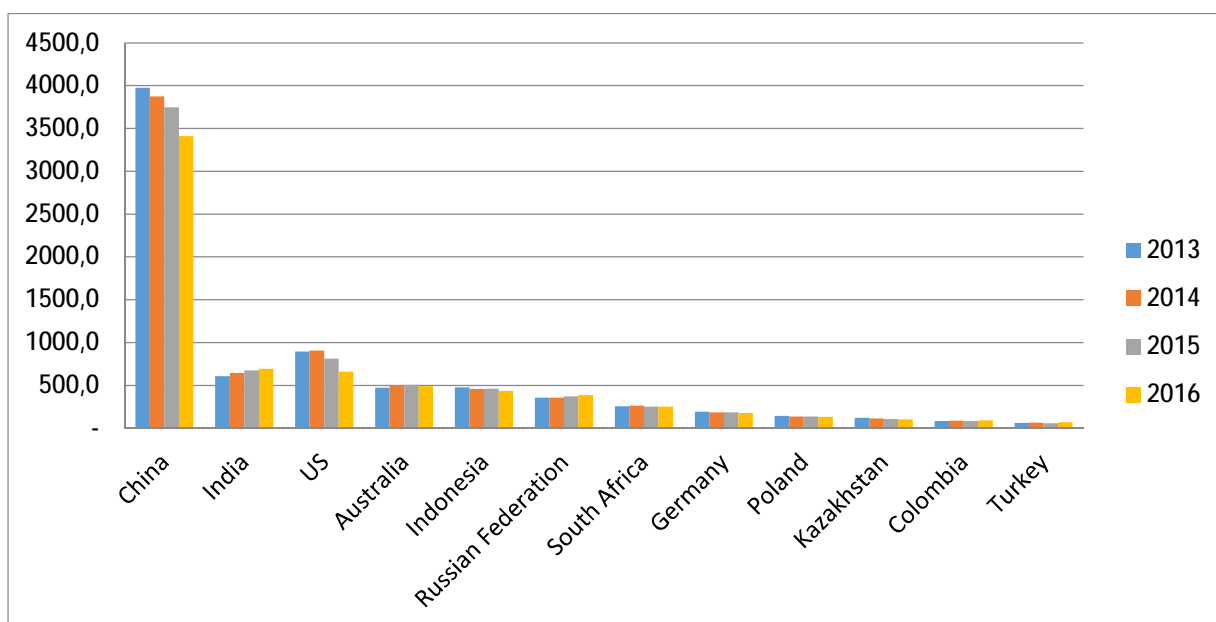
Η αυξητική τάση που παρατηρήθηκε στην παραγωγή άνθρακα κατά την πρώτη δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα, αποκορυφώθηκε κατά την διετία 2013-2014 με 3887,0 και 3889,4 Mtoe αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, το 2015 παρατηρήθηκε μείωση στους 3784,7 Mtoe, ενώ και το 2016 συνεχίστηκε η πτωτική πορεία του άνθρακα φτάνοντας στο 3732 Mtoe. Η μείωση αυτή επήλθε εξαιτίας των χαμηλών τιμών του φυσικού αερίου, της αύξησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και των βελτιώσεων

της ενεργειακής απόδοσης στον τεχνολογικό τομέα, ενώ η ζήτηση σε άνθρακα μειώθηκε κατά 4,2% σε σχέση με το 2014.



Γράφημα 2 Παραγωγή άνθρακα σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1981 μέχρι το 2016

Ο αριθμός των χωρών που παράγει άνθρακα είναι μεγάλος. Σε κάθε ήπειρο υπάρχουν κοιτάσματα άνθρακα τα οποία βοηθούν στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι 12 χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή άνθρακα.



Γράφημα 3 Χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή άνθρακα για την περίοδο 2013-2016

### 1.3 Βιοενέργεια

Η βιοενέργεια είναι ενέργεια που παράγεται από την βιομάζα, η οποία μπορεί να αναπτυχθεί σε στερεή, υγρή και αέρια μορφή για χρήση ως καύσιμη ύλη για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, της θέρμανσης, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και του μαγειρέματος. Τα συστήματα παραγωγής βιοενέργειας μπορούν να επιφέρουν τόσο θετικά όσο και αρνητικά αποτελέσματα καθώς ο ποιο σημαντικός παράγοντας είναι η σωστή ανάπτυξή τους, η οποία θα πρέπει να εξισορροπήσει ένα φάσμα περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών στόχων που δεν είναι πάντα πλήρως συμβατοί (Creutzig, 2015).

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της βιοενέργειας είναι οι εξής (Creutzig, 2015):

- η τεχνολογία και η τεχνογνωσία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών
- η τοποθεσία και ο ρυθμός υλοποίησης
- η κατηγορία γης που χρησιμοποιείται όπως δάση, λιβάδια, οριακά εδάφη και καλλιεργούμενες εκτάσεις
- τα συστήματα διακυβέρνησης και το νομοθετικό πλαίσιο που καλύπτει την ανάπτυξη και την λειτουργία των συστημάτων βιοενέργειας
- τα επιχειρηματικά μοντέλα και οι πρακτικές που υιοθετούνται για την λειτουργία των συστημάτων βιοενέργειας.

Η προσφορά βιώσιμης ενέργειας αποτελεί μία από τις κύριες προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα τις επόμενες δεκαετίες, εξαιτίας δύο βασικών λόγων, (α) λόγω της ανάγκης αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και (β) λόγω της μείωσης των κοιτασμάτων ορυκτών καυσίμων. Για την εξασφάλιση της βιωσιμότητας της μελλοντικής ενεργειακής ζήτησης, θα πρέπει να αναζητηθούν εναλλακτικές πηγές καυσίμων όπως η βιομάζα. Σήμερα, η βιομάζα αποτελεί την μεγαλύτερη συνεισφορά ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, ενώ έχει σημαντικές δυνατότητες επέκτασης στην παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων για χρήση στις μεταφορές. Η περαιτέρω ανάπτυξη της βιοενέργειας, με προσεκτική διαχείριση, θα μπορούσε να παράσχει (Bauen et al, 2009):

- μέγιστη συμβολή πρωτογενή ενεργειακό εφοδιασμό σε παγκόσμιο επίπεδο
- σημαντικές μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη

- βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας και του εμπορικού ισοζυγίου, με αντικατάσταση των εισαγόμενων ορυκτών καυσίμων με εγχώρια βιομάζα
- ευκαιρίες για οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη των αγροτικών περιοχών
- μείωση του προβλήματος διάθεσης των αποβλήτων και βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων, μέσω της χρήσης των αποβλήτων και των καταλοίπων.

Τα δασικά, γεωργικά και δημοτικά υπολείμματα και τα απόβλητα αποτελούν τις κύριες πρώτες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω της αξιοποίησης της βιομάζας. Επιπλέον, ένα μικρό μερίδιο των καλλιεργειών ζαχαροκάλαμου, σιτηρών και φυτικών ελαίων χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Σήμερα, η βιομάζα παρέχει περίπου 1200 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου σε παγκόσμιο επίπεδο, που αντιπροσωπεύει το 10% της παγκόσμιας ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Bauen et al, 2009).

Έχουν εκπονηθεί πολλές μελέτες για την εκτίμηση της πιθανής συμβολής της βιομάζας στον μελλοντικό παγκόσμιο ενεργειακό εφοδιασμό, τα συμπεράσματα των οποίων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Οι Berndes et al (2003) που διερεύνησαν διάφορες μελέτες σχετικά με το θέμα αυτό, έβγαλαν ορισμένα αξιοσημείωτα συμπεράσματα. Οι μελέτες που βασίστηκαν στη ζήτηση της βιοενέργειας αποφάνθηκαν ότι η ζήτηση μπορεί να αυξηθεί σε αρκετές εκατοντάδες exajoules ετησίως σε μελλοντική βάση. Επίσης αναφέρουν ότι η ζήτηση βιοενέργειας διαθέτει ευαίσθητο χαρακτήρα εξαιτίας της συνολικής ζήτησης ενέργειας αλλά και της ανταγωνιστικότητας μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων ενεργειακού εφοδιασμού.

Από την άλλη πλευρά, οι μελέτες που ασχολούνταν με το θέμα των πόρων έχουν καταλήξει σε πολύ διαφορετικά συμπεράσματα σχετικά με την ποσότητα βιομάζας που μπορεί να διατεθεί για ενέργεια στο μέλλον. Σε αυτό σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η παράμετρος της διαθεσιμότητας της γης καθώς και η αβεβαιότητα σχετικά με το επίπεδο απόδοσης της παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών (Berndes et al, 2003).

Ένα άλλο σημείο όπου παρουσιάζουν σημαντική διαφορά οι μελέτες αυτές, είναι στα συμπεράσματα σχετικά με τη μελλοντική διαθεσιμότητα δασικής ξυλείας και υπολειμμάτων από τη γεωργία και τη δασοκομία. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση δασικής ξυλείας εντοπίστηκε ως δυνητικά σημαντική πηγή βιομάζας για ενέργεια σε κάποιες από τις μελέτες, ενώ σε κάποιες άλλες ο ρόλος της δασικής ξυλείας στην παραγωγή βιομάζας για ενέργεια, λαμβάνει μικρότερο ποσοστό σε σχέση με άλλες πηγές (Berndes et al, 2003).

Οι Berndes et al καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι παρόλο που οι μελέτες ου εξετάστηκαν έχουν αποδείξει ότι μιας τεράστιας κλίμακας προσφορά είναι τεχνικά εφικτή, δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί εάν μια τέτοιας έκτασης προσφορά βιομάζας για ενέργεια αποτελεί ελκυστική επιλογή για

την άμβλυση της αλλαγής του κλίματος στον ενεργειακό τομέα. Όπως αναφέρουν μάλιστα, υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι για αυτό:

1. Στις μελέτες θεωρήθηκε ότι ο τομέας της βιοενέργειας εξελίσσεται παράλληλα και δεν επηρεάζει τον τομέα των τροφίμων και των υλικών, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να εξαχθούν αρκετά συμπεράσματα σχετικά με τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες μιας παγκόσμιας μεγάλης κλίμακας επέκτασης της χρήσης βιομάζας στην ενέργεια στον τομέα αυτό.
2. Η ελλιπής ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της πραγματοποίησης των εκτιμώμενων δυνατοτήτων βιοενέργειας. Ως αποτέλεσμα αυτού είναι η ασάφεια σχετικά με τον βαθμό κατά τον οποίο οι αξιολογούμενες δυνατότητες εναρμονίζονται με άλλους περιβαλλοντικούς στόχους όπως η βιοποικιλότητα και η προστασία της φύσης.

Οι Hoogwijk et al (2003), οι οποίοι διερεύνησαν τον βαθμό στον οποίο μπορεί να συμβάλει η βιομάζα στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, κατέληξαν στο ότι ο βαθμός αυτός εξαρτάται από τα εξής:

- Στην αύξηση του πληθυσμού, την οικονομική ανάπτυξη καθώς και στην παγκόσμια ζήτηση τροφής.
- Στην αποτελεσματικότητα της παραγωγής τροφίμων.
- Στην απόδοση των ενεργειακών καλλιεργειών σε πλεονασματική γεωργική έκταση και υποβαθμισμένη γη.
- Στις μελλοντικές εξελίξεις των ανταγωνιστικών προϊόντων, όπως βιο-υλικά, και ανταγωνιστικοί τύποι χρήσεων γης.

Όπως υποστηρίζουν, για την αποτελεσματική επίτευξη παραγωγής της απαιτούμενης ποσότητας βιομάζας θα πρέπει πρώτα να γίνουν σημαντικές αλλαγές, ώστε να πληρούν τις πολιτικές οικονομικής ανάπτυξης για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του συστήματος παραγωγής τροφίμων.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση της βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας είναι τα εξής (Cheng, 2009):

- Ενεργειακή αυτονομία: Τα αποθέματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου βρίσκονται σε περιορισμένες περιοχές του κόσμου. Αυτό οδηγεί πολλές χώρες στην εισαγωγή καυσίμων από άλλες χώρες, δημιουργώντας τόσο ενεργειακή όσο και οικονομική εξάρτηση. Από την άλλη πλευρά, η βιομάζα είναι διαθέσιμη σε κάθε χώρα, αποτελώντας ανανεώσιμη πηγή

ενέργειας η οποία μπορεί να απαλλάξει τις χώρες από την εξάρτησή τους από την εισαγωγή πετρελαίου, προάγοντας μάλιστα την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στις χώρες αυτές.

- Ποιότητα αέρα: Τα οξυγονούχα καύσιμα, όπως η αιθανόλη, τυπικά ευνοούν την τέλεια καύση σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Η τέλεια καύση με την σειρά της ωφελεί στην ποιότητα του αέρα καθώς έτσι παρουσιάζονται λιγότερες εκπομπές και πιο συγκεκριμένα στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα.
- Ποιότητα νερού: Η προσθήκη αιθανόλης στα καύσιμα αντικαθιστά τον μεθυλοτριτοταγές βουτυλαιθέρα (MTBE), στην ενίσχυση των οκτανίων σε χώρες όπως οι ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι το MTBE αποτελεί σοβαρό περιβαλλοντικό κίνδυνο με αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού και την ανθρώπινη υγεία. Η αιθανόλη από την άλλη, διασπάται γρήγορα και οι τυχόν διαρροές της δεν αποτελούν κρίσιμη απειλή για το περιβάλλον.
- Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου: Η καύση των ορυκτών καυσίμων αποτελεί μία από τις κύριες αιτίες για την αύξηση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Ο αντίκτυπος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές προκαλεί αυξανόμενη ανησυχία σε όλο τον κόσμο. Η χρήση βιοαερίου, βιοαιθανόλης και βιοντίζελ ως πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ωφελώντας σημαντικά στην ποιότητα του περιβάλλοντος.

## 1.4 Βιοκαύσιμα

Η αξιοποίηση των τεραστίων ποσοτήτων αποβλήτων και υπολειμμάτων, μπορεί να αποτελέσει σημαντική επέκταση στην χρήση της βιομάζας. Η χρήση συμβατικών καλλιεργειών για ενεργειακή χρήση μπορεί επίσης να επεκταθεί, εφόσον βέβαια γίνει προσεκτική μελέτη σχετικά με την διαθεσιμότητα της γης και της ζήτησης τροφής. Μεσοπρόθεσμα, οι λιγνοκυτταρινούχες καλλιέργειες, όπως ποώδη και ξυλώδη φυτά, θα μπορούσαν να παραχθούν σε οριακές, υποβαθμισμένες και πλεονασματικές γεωργικές εκτάσεις και να παράσχουν το μεγαλύτερο μέρος του πόρου βιομάζας. Μακροπρόθεσμα, η υδατική βιομάζα (άλγη) θα μπορούσε επίσης να συμβάλει σημαντικά στην βελτίωση του ενεργειακού προβλήματος (Creutzig, 2015).

Η βιομάζα είναι μοναδική πηγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί ενώ παράλληλα, παρέχει ως εναλλακτική λύση την μετατροπή της σε υγρά καύσιμα για χρήση στον τομέα μεταφορών. Βραχυπρόθεσμα, τα βιοκαύσιμα είναι οι μόνοι ανανεώσιμοι πόροι που μπορούν να αντιμετωπίσουν τη μεγάλη εξάρτηση του τομέα των μεταφορών από το εισαγόμενο πετρέλαιο χωρίς να απαιτείται αντικατάσταση του στόλου (Yue et al, 2014).

Όπως αναφέρουν οι Brennan & Owende (2010), η χρήση των υγρών βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών έχει επιδείξει ταχεία παγκόσμια ανάπτυξη, βασισμένη κυρίως στις πολιτικές που

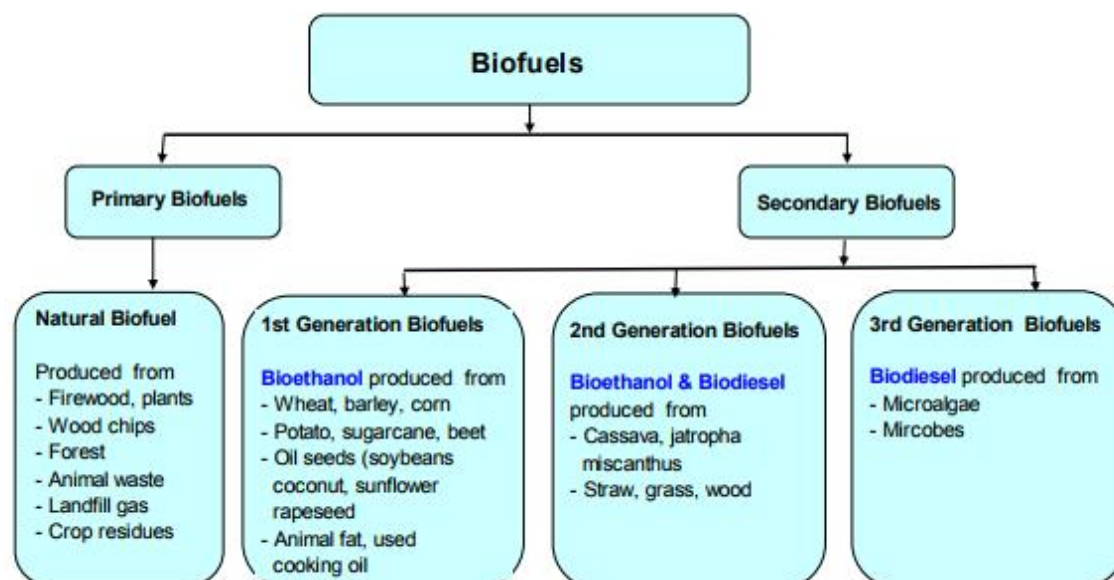


εστιάζονται στην επίτευξη ενεργειακής ασφάλειας και στην μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Ως βιοκαύσιμα χαρακτηρίζονται όλα τα στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα που προέρχονται από τη βιομάζα. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα που παράγονται είναι η βιοαιθανόλη, το βιοντίζελ, το βιοαέριο και τα πέλλετς. Τα βιοκαύσιμα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Alam et al, 2012):

1. Τα πρωτογενή βιοκαύσιμα (primary biofuels), όπως δασικά και γεωργικά υπολείμματα (ροκανίδια, καυσόξυλα, κλαδιά, κοπριά και άλλα).
2. Τα δευτερογενή βιοκαύσιμα (secondary biofuels), τα οποία προέρχονται από φυτικής και ζωικής προέλευσης πρώτες ύλες.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται σχηματικά οι κατηγορίες των βιοκαυσίμων (Alam et al, 2012).



Εικόνα 1 Κατηγορίες βιοκαυσίμων και οι πηγές από τις οποίες προέρχονται

Τα δευτερογενή βιοκαύσιμα διακρίνονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες όπως:

1. Τα βιοκαύσιμα 1<sup>ης</sup> γενιάς: Βιοαιθανόλη ή βουτανόλη το οποίο παράγεται μέσω της ζύμωσης αμύλου, από πρώτες ύλες όπως το σιτάρι, το κριθάρι, το καλαμπόκι και η πατάτα ή μέσω της ζύμωσης των σακχάρων από πρώτες ύλες όπως το ζαχαροκάλαμο, το σόργο και άλλα. Και βιοντίζελ μέσω της μετεστεροποίησης ελαιούχων καλλιεργειών όπου ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κραμβόσπορος, σόγια, ηλιέλαιο, φοινικέλαιο, καρύδα, χρησιμοποιημένο μαγειρικό λάδι, ζωικά λίπη και άλλα (Alam et al, 2012; Dragone et al, 2010).

2. Τα βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς: Βιοαιθανόλη και βιοντίζελ που παράγονται από συμβατικές τεχνολογίες (βιοαιθανόλη μέσω ενζυματικής υδρόλυσης, βιοντίζελ μέσω θερμοχημικής επεξεργασίας και βιομεθάνιο μέσω αναερόβιας χώνευσης) και βασίζονται σε νέα φυτά αμύλου, ελαιολάδου και ζάχαρης όπως το *Jatropha*, η μανιόκα και το *miscanthus*. Βιοαιθανόλη και βιοβουτανόλη, που παράγονται από λιγνοκυτταρινικά υλικά, όπως το άχυρο, το ξύλο και το γρασίδι (Alam et al, 2012; Dragone et al, 2010).
3. Τα βιοκαύσιμα 3<sup>ης</sup> γενιάς: Βιοντίζελ από μικροφύκη, βιοαιθανόλη από μικροφύκη και φύκη και υδρογόνο από πράσινα μικροφύκη και μικρόβια (Alam et al, 2012; Dragone et al, 2010).

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς φαίνεται να δημιουργούν κάποιο σκεπτικισμό στους επιστήμονες. Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα ισοζύγια άνθρακα, που θέτει όρια στην αυξανόμενη παραγωγή βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς. Όπως αναφέρει ο Laursen (2005), το κύριο μειονέκτημα των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς είναι η συζήτηση που γίνεται σχετικά με το θέμα των τροφίμων αντί καυσίμων, καθώς πολλοί είναι εκείνοι που υποστηρίζουν ότι ένας από τους λόγους αύξησης των τιμών των τροφίμων οφείλεται στην αύξηση της παραγωγής αυτών των καυσίμων. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Eisberg (2006), το βιοντίζελ δεν αποτελεί μια οικονομικά αποδοτική τεχνολογία μείωσης εκπομπών. Συνεπώς, για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συνιστάται να υπάρχουν πιο αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες θα βασίζονται τόσο στις ανανεώσιμες όσο και στις συμβατικές τεχνολογίες.

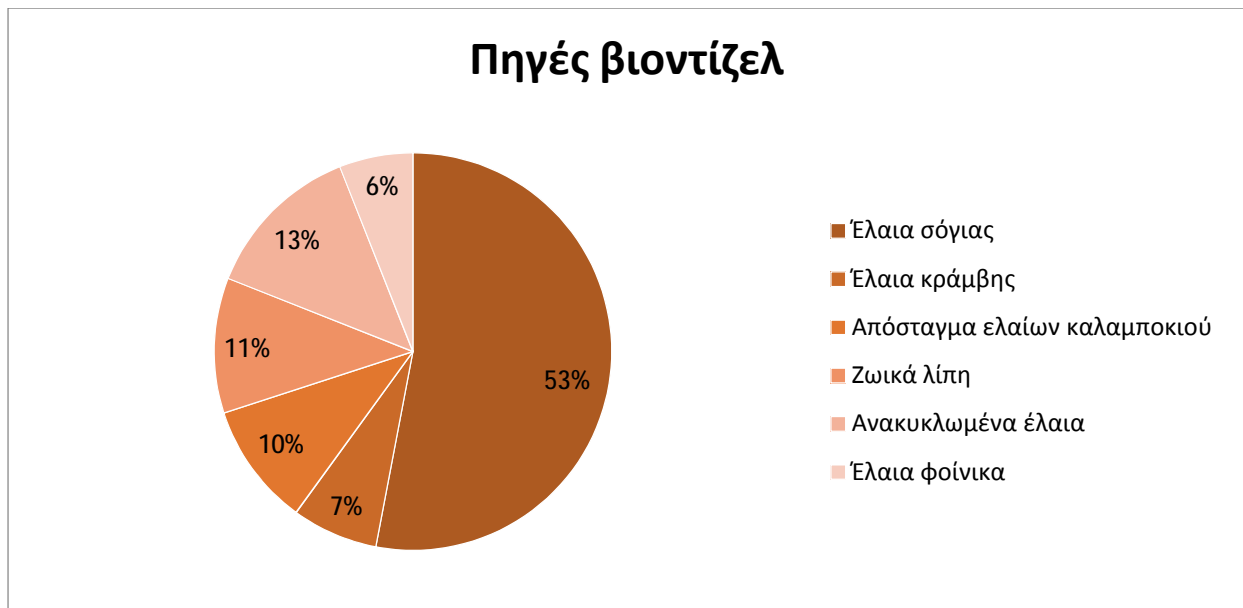
#### 1.4.1 Βιοντίζελ

Το βιοντίζελ ονομάζεται κάθε φυτικό έλαιο ή ζωικό λίπος που έχει συγκρίσιμες ιδιότητες ως καύσιμο με το ντίζελ και για το λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιολογικής προέλευσης υποκατάστατο του ντίζελ. Το βιοντίζελ μπορεί να παραχθεί από μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών. Αυτές οι πρώτες ύλες περιλαμβάνουν τα περισσότερα συνηθισμένα φυτικά έλαια όπως για παράδειγμα σόγια, βαμβακόσπορος, φοίνικας, φιστίκια, κράμβη, κρόκος, ηλιέλαιο, καρύδα, φύκη) και ζωικά λίπη, καθώς και χρησιμοποιημένα έλαια. Η επιλογή της πρώτης ύλης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωγραφία, ενώ ανάλογα με την προέλευση και την ποιότητα της πρώτης ύλης, ενδέχεται να απαιτούνται αλλαγές στη διαδικασία παραγωγής (Knothe et al, 2015).

Η χημική τους σύσταση αποτελείται από μακριές αλυσίδες όπως οι καρβοξυλικοί αλκυλεστέρες (RCOOR), οι μεθυλεστέρες (RCOOCH<sub>3</sub>), οι αιθυλεστέρες (RCOOCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>) ή προπυλεστέρες (RCOOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>). Το βιοντίζελ έχει πολλά διαφορετικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με το συμβατικό καύσιμο ντίζελ όπως (Knothe et al, 2015):

- Ανάπτυξη ενός ανανεώσιμου και εγχώριου πόρου, ο οποίος μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στο να μειωθεί η εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα πετρελαίου.

- Βιοδιασπασιμότητα.
- Μείωση των περισσότερων εκπομπών καυσαερίων (εξαιρουμένων των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>)).
- Υψηλότερο σημείο ανάφλεξης, που οδηγεί σε ασφαλέστερο χειρισμό και αποθήκευση.
- Εξαιρετική ικανότητα λίπανσης.



**Γράφημα 4 Πηγές βιοντίζελ**

Η παραγωγή του βιοντίζελ γίνεται μετά από χημική αντίδραση μεταξύ των λιπιδίων που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη και μιας αλκοόλης. Με τέτοιου είδους αντίδραση, η οποία αποκαλείται εστεροποίηση, παράγονται οι αντίστοιχοι εστέρες των χρησιμοποιούμενων λιπαρών οξέων. Αποτελεί ένα άριστο υποκατάστατο του συμβατικού ντίζελ ενώ η χρήση του μπορεί να γίνει είτε αυτούσια είτε σε μίγματα με πετροντίζελ σε υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες ή σε συστήματα που έχουν υποστεί κατάλληλη μετατροπή. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι αποτελεί καύσιμη ύλη και για την θέρμανση του κτιριακού τομέα (Knothe et al, 2015).

### 1.4.3 Βιοαιθανόλη

Η βιοαιθανόλη η οποία παράγεται από σακχαρούχα, κутταρινούχα και αμυλούχα φυτά και μπορεί να χρησιμοποιείται σε μίγματα που περιέχουν βενζίνη. Αποτελεί σημαντικό υποκατάστατο της βενζίνης στα οχήματα, ενώ παράγεται κυρίως από την αλκοολική ζύμωση της ζάχαρης. Μέσω των ενεργειακών καλλιεργειών, όπως καλλιέργειες τεύτλων, καλαμποκιού, σόργου, σιταριού ιτιάς και άλλων φυτών, καλύπτονται οι ανάγκες παραγωγής βιοαιθανόλης. Γενικά, η αιθανόλη (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) είναι

ένα άχρωμο διαυγές υγρό. Είναι βιοαποικοδομήσιμη και χαμηλής τοξικότητας το οποίο δεν προκαλεί αξιόλογη περιβαλλοντική μόλυνση(Gray et al, 2006).

Η βενζίνη με ανάμιξη αιθανόλης έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε κυψέλες καυσίμου (θερμοχημική δράση) και σε συστήματα συμπαραγωγής ισχύος και ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία (Πέτρου και Παππής, 2009). Αποτελεί ένα καύσιμο υψηλού αριθμού οκτανίων το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο για την αύξηση του αριθμού οκτανίου της βενζίνης. Η βιοαιθανόλη, γενικότερα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει ενισχυτές οκτανίων όπως τρικαρβονυλικό-μεθυλοκυκλοπενταδιένυλο μαγγάνιο και αρωματικούς υδρογονάνθρακες όπως βενζόλιο ή οξυγονούχες ενώσεις όπως μεθυλο-τριτοταγές βουτυλαιθέρας (MTBE) (Champagne, 2007).



Εικόνα 2 Τρόπος παραγωγής Βιοαιθανόλης ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται κάθε φορά

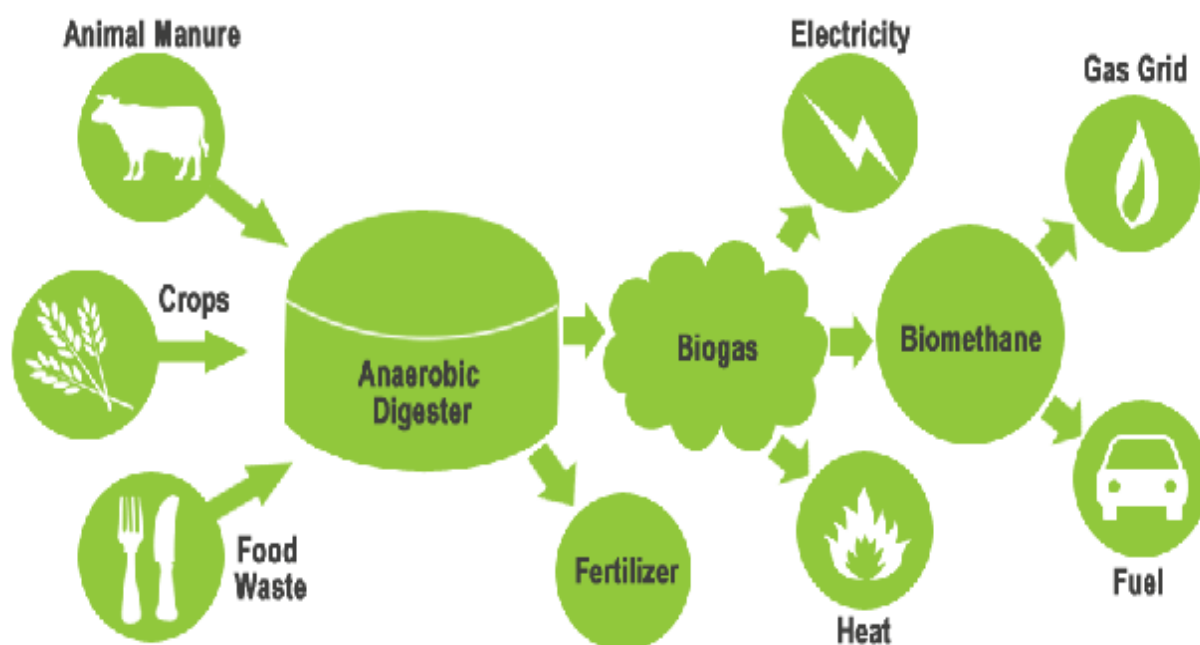
#### 1.4.4 Βιοαέριο

Το βιοαέριο αποτελείται από ένα μείγμα διαφορετικών αερίων τα οποία παράγονται από την αποσύνθεση οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου. Αποτελείται κυρίως από αέρια όπως το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, καθώς και ιχνοστοιχεία αζώτου, υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα. Το βιοαέριο διαφέρει από το φυσικό αέριο στο ότι είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία παράγεται βιολογικά μέσω αναερόβιας χώνευσης και όχι από γεωλογικές διαδικασίες.

Μπορεί να παραχθεί από ακατέργαστες πρώτες ύλες όπως τα οργανικά αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, αστικά απόβλητα, φυτική ύλη, βοθρολύματα, πράσινα απόβλητα ή απορρίμματα τροφών και μπορεί να καεί για να παράγει θερμότητα ή να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες καύσης για την

παραγωγή ηλεκτρισμού. Το βιολογικό υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιομηχανικού βιοαερίου περιλαμβάνει ζωικά απόβλητα, όπως κοπριά και λύματα, και αστικά στερεά απόβλητα (MSW) που χρησιμοποιούνται από χώρους υγειονομικής ταφής. Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιεί ένα πολύ μικρό αποτύπωμα άνθρακα (Weiland, 2010).

Τα απόβλητα ζώων και φυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου. Επεξεργάζονται σε αναερόβιους χωνευτήρες σε υγρή μορφή ή ως πολτός αναμεμιγμένος με νερό. Οι αναερόβιοι χωνευτήρες αποτελούνται γενικά από μία πηγής τροφοδοσίας, μια δεξαμενή χώνευσης, μια μονάδα ανάκτησης βιοαερίου και εναλλάκτες θερμότητας για τη διατήρηση της θερμοκρασίας που απαιτείται για την βακτηριακή χώνευση.



Εικόνα 3 Τρόπος παραγωγής βιοαερίου και χρήση του

Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 3, από την αναερόβια χώνευση, μπορούν να παραχθούν τόσο βιοαέριο όσο και λίπασμα. Το βιοαέριο με την σειρά του μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και βιομεθανίου. Το βιομεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου καθώς και ως καύσιμη ύλη για τον τομέα των μεταφορών.

Η χρήση του βιοαερίου είναι μια πράσινη τεχνολογία με περιβαλλοντικά οφέλη. Η τεχνολογία βιοαερίου επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση των συσσωρευμένων ζωικών αποβλήτων από την παραγωγή τροφίμων και των αστικών στερεών αποβλήτων από την αστικοποίηση. Η μετατροπή ζωικών αποβλήτων σε βιοαέριο μειώνει την παραγωγή μεθανίου το οποίο αποτελεί αέριο του

θερμοκηπίου, καθώς η αποδοτική καύση αντικαθιστά το μεθάνιο με διοξείδιο του άνθρακα. Δεδομένου ότι το μεθάνιο είναι σχεδόν 21 φορές πιο αποτελεσματικό στην παγίδευση θερμότητας στην ατμόσφαιρα από ότι το διοξείδιο του άνθρακα, η καύση βιοαερίου οδηγεί σε καθαρή μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Επιπλέον, η παραγωγή βιοαερίου στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις μπορεί να μειώσει τις οσμές, τα έντομα και τους παθογόνους οργανισμούς που σχετίζονται γενικότερα με τα αποθέματα κοπριάς.

#### 1.4.5 Πέλλετς

Τα πέλλετς (pellets) και οι μπρικέτες (briquettes) που παράγονται από υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών και επεξεργασίας των γεωργικών προϊόντων, δασικά υπολείμματα, καθώς και υπολείμματα ξύλου. Προσδίδουν μεγάλη ευκολία μεταφοράς και αποθήκευσης, η περιεκτικότητά τους σε υγρασία είναι πολύ χαμηλή από 5 μέχρι 10 %, όπως και η περιεκτικότητά τους σε τέφρα ενώ διαθέτουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (Johansson et al, 2004).

Όπως παρουσιάζεται και στην επόμενη εικόνα, η διαδικασία παραγωγής πέλλετ ακολουθεί μια συγκεκριμένη ακολουθία. Η πρώτη ύλη (ξύλο, κορμοί δέντρων, κλαδιά και άλλα) εισέρχεται μέσα σε έναν σφυρόμυλο όπου κατακερματίζεται σε μικρότερα τεμάχια ώστε να λάβουν την μορφή ροκανιδιών για την επίτευξη ομοιομορφίας. Στην συνέχεια τα ροκανίδια οδηγούνται στα ξηραντήρια όπου και απομακρύνεται η υγρασία της ύλης. Έπειτα το υλικό εισέρχεται στον μύλο σφαιριδίων όπου συμπιέζεται, δημιουργώντας τεμαχίδια με συγκεκριμένο σχήμα και μέγεθος. Τα τεμαχίδια οδηγούνται στην ζώνη ψύξης και στην συνέχεια είτε συσκευάζονται, είτε αποθηκεύονται για μελλοντική χρήση.



Εικόνα 4 Διαδικασία παραγωγής πέλλετ

## 1.5 Πολιτικές βιοκαυσίμων σε παγκόσμια κλίμακα

### 1.5.1 Πολιτικές που ακολουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση

Μέσω της συμφωνίας του Κιότο και των Οδηγιών 2003/30/EC και 2003/96/EK, τα οποία αφορούν την προώθηση καθώς και την αύξηση της χρήσης των βιοκαυσίμων και με στόχο την σταδιακή απεξάρτηση των μελών – κρατών από την χρήση ορυκτών καυσίμων, θέτοντας ενδεικτικούς στόχους που πρέπει να επιτευχθούν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Με την οδηγία 2003/30/EK η οποία αφορά την προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων στον τομέα των μεταφορών, ορίζει την βάση σχετικά με την προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Διευκρινίζει μάλιστα ότι θα πρέπει να εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση ότι ένα συγκεκριμένο μερίδιο της αγοράς καυσίμων κάθε κράτους μέλους θα καλύπτεται από βιοκαύσιμα καθώς και άλλα ανανεώσιμα καύσιμα, θέτοντας εθνικούς στόχους για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Τα βιοκαύσιμα που αναφέρονται στην οδηγία είναι το βιοντίζελ, η βιοαιθανόλη, το βιοαέριο, η βιομεθανόλη, ο βιοδιμεθυλικός αιθέρας, το βιο-ETBE, το βιο-MTBE, (τα οποία αναφέρονται και στον ιστότοπο του ΥΠΕΚΑ) τα συνθετικά βιοκαύσιμα (συνθετικοί υδρογονάνθρακες και τα μίγματα των συνθετικών υδρογονανθράκων που παράγονται από την βιομάζα) και τέλος το βιουδρογόνο.

Οι στόχοι που έθετε η οδηγία 2003/30/EK είναι:

- Κάλυψη του 2% των αναγκών της κατανάλωσης βενζίνης και πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών με βιοκαύσιμα μέχρι τις 31/12/2005.
- Κάλυψη του 5,75% των αναγκών της κατανάλωσης βενζίνης και πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών με βιοκαύσιμα μέχρι τις 31/12/2010.

Βασικός στόχος της οδηγίας αυτής είναι η μείωση των εκπομπών ρύπων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC's), καθώς και όλων των μικροσωματιδίων (PM<sub>2,5</sub>) και (PM<sub>10</sub>) τα οποία αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία και την ποιότητα του περιβάλλοντος.

Όπως αναφέρεται στην οδηγία, τα βιοκαύσιμα είναι διαθέσιμα σε οποιοσδήποτε από τις ακόλουθες μορφές:

- Ως καθαρά βιοκαύσιμα ή σε υψηλή συγκέντρωση σε παράγωγα του πετρελαίου.
- Ως βιοκαύσιμα αναμεμειγμένα σε παράγωγα του ορυκτού πετρελαίου, σύμφωνα με τους ευρωπαϊκούς κανόνες που περιγράφουν τις τεχνικές προδιαγραφές για τα καύσιμα μεταφορών (το EN 228 και το EN 590).
- Ως υγρά που προέρχονται από βιοκαύσιμα, όπως ETBE (αντίστοιχα MTBE) όπου το ποσοστό των βιοκαυσίμων είναι 47% κατ' όγκο (αντίστοιχα 36% v/v).

Από την άλλη πλευρά η οδηγία 2003/96/EK εστιάζει κυρίως στην φορολογία που εφαρμόζεται στα βιοκαύσιμα. Με την οδηγία αυτή, τα κράτη μέλη έχουν την δυνατότητα να εφαρμόσουν μείωση ή απαλλαγή στον φόρο των βιοκαυσίμων.

Στην συνέχεια το 2009 εκδόθηκε η οδηγία [2009/28/EK](#), η οποία εισάγει έναν νέο στόχο σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών, με κάλυψη της τελικής κατανάλωσης πετρελαιοειδών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατά 10% μέχρι το 2020.

Μετά από την έκδοση, αρκετών οδηγιών, το 2015 με την οδηγία (ΕΕ) 2015/1513, ορίζεται η χρήση προηγμένων βιοκαυσίμων για την κάλυψη των αναγκών του τομέα μεταφορών και για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κάθε κράτους μέλους. Τα προηγμένα βιοκαύσιμα, τα οποία όπως αναφέρει η οδηγία, εκείνα που παράγονται από απόβλητα και φύκη, εξασφαλίζουν σημαντική μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο της έμμεσης αλλαγής χρήσης γης καθώς και την μείωση του ανταγωνισμού των αγορών τροφίμων και ζωοτροφών. Έτσι με την οδηγία ενθαρρύνεται η έρευνα, η ανάπτυξη και η παραγωγή των προηγμένων βιοκαυσίμων σε μελλοντική βάση.



### 1.5.2 Πολιτικές που ακολουθούν οι ΗΠΑ

Οι Ηνωμένες Πολιτείες εισήγαγαν για πρώτη φορά στόχους σχετικά με τα ανανεώσιμα καύσιμα με τον νόμο περί ενεργειακής πολιτικής του 2005 (Energy Policy Act, 2005). Με την θέσπιση αυτού του νόμου, επιδιώχθηκαν οι εξής στόχοι:

- Παραγωγή εγχώριων βιοκαυσίμων παρέχοντας την δυνατότητα ενίσχυσης της ενεργειακής ασφάλειας της χώρας, μειώνοντας την εξάρτηση της από ξένες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με την National Academy of Science's (2011), πάνω από το 50% των πετρελαιοειδών που καταναλώθηκαν στις ΗΠΑ κατά την χρονική περίοδο 2005-2009 αποτελούσαν εισαγωγή από άλλες χώρες.
- Προώθηση της αγροτικής ανάπτυξης μέσω της αύξησης των τιμών του καλαμποκιού και των ελαιούχων σπόρων, δημιουργώντας παράλληλα νέες θέσεις εργασίας στις μονάδες ανανεώσιμων καυσίμων που βρίσκονται στις αγροτικές περιοχές.
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και όλων των ατμοσφαιρικών ρύπων προς μετριασμό του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής.
- Αύξηση των επενδύσεων των ανανεώσιμων καυσίμων ως μέσο για την ενίσχυση της εθνικής οικονομικής ανταγωνιστικότητας μέσω της ανάπτυξης καινοτόμων τεχνολογιών.

Ο νόμος περί ενεργειακής πολιτικής του 2005, επέβαλε την υποχρέωση των προμηθευτών βενζίνης και πετρελαίου να αναμειγνύουν αιθανόλη με βενζίνη. Το πρότυπο ανανεώσιμων καυσίμων (γνωστό ως RFS I) απαιτούσε να αναμειχθούν με βενζίνη, περίπου 7,5 δισεκατομμύρια γαλόνια ανανεώσιμων καυσίμων ετησίως έως το 2012 (Environmental Protection Agency, 2010). Η αιθανόλη του καλαμποκιού ήταν το ανανεώσιμο καύσιμο που ήταν διαθέσιμο για να επωφεληθεί από αυτούς τους στόχους και, παράλληλα με άλλες κρατικές ενισχύσεις, η παραγωγή του αυξήθηκε από περίπου 5.000 εκατομμύρια λίτρα το 1991 σε 25.000 εκατομμύρια λίτρα το 2007 (Moi, 2010).

Στην συνέχεια το 2007, με τον νόμο περί ενεργειακής ανεξαρτησίας και ασφάλειας (EISA), ο στόχος των ανανεώσιμων καυσίμων που τέθηκε, απέκτησε υποχρεωτική φύση. Ο νόμος αυτός καθιέρωσε ένα νέο πρότυπο ανανεώσιμων καυσίμων (RFS II) το οποίο όριζε ως στόχο τα 36 δισεκατομμύρια γαλόνια βιοκαυσίμων μέχρι το 2022. Για την επίτευξη του στόχου, το ποσό αυτό διαμοιράστηκε μεταξύ διαφορετικών ανανεώσιμων καυσίμων όπως τα βιοκαύσιμα από καλαμπόκι, τα προηγμένα βιοκαύσιμα από άλλες πηγές εκτός από το άμυλο καλαμποκιού, συμπεριλαμβανομένου του βιοντίζελ από φυτικά έλαια, καθώς και τα κυτταρινικά βιοκαύσιμα, από υπολείμματα καλλιεργειών όπως άχυρο, απόβλητα ξύλου και ταχέως αναπτυσσόμενα φύκη. Ο καταμερισμός αυτός ανέρχεται σε (Waage, 2008):

- 15 δισεκατομμύρια γαλόνια βιοκαυσίμων με βάση το άμυλο καλαμποκιού.

- 21 δισεκατομμύρια γαλόνια προηγμένων βιοκαυσίμων, από τα οποία 16 δισεκατομμύρια γαλόνια θα προέρχονται ειδικά από куτταρινικά βιοκαύσιμα.

### 1.5.3 Πολιτικές που ακολουθεί ο Καναδάς

Τον Σεπτέμβριο του 2010, εγκρίθηκε στον Καναδά η διάταξη σχετικά με την ανάμειξη των συμβατικών καυσίμων με βιοκαύσιμα. Στόχος του κανονισμού είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με την επιβολή μέσου ποσοστού ανανεώσιμου καυσίμου 5% βάσει του όγκου της βενζίνης και 2% βάση του όγκου του πετρελαίου θέρμανσης, συμβάλλοντας έτσι στην προστασία της υγείας των πολιτών και του περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι κανονισμοί εκτιμάται ότι θα οδηγήσουν σε μια σταδιακή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά περίπου 1 MT CO<sub>2</sub> ετησίως. Οι κανονισμοί πληρούν τις δεσμεύσεις που απορρέουν από τη στρατηγική για τα ανανεώσιμα καύσιμα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα υγρά καύσιμα πετρελαίου και δημιουργούν ζήτηση για ανανεώσιμα καύσιμα στον Καναδά (Natural Resources Canada, 2018).

Η ομοσπονδιακή κυβέρνηση του Καναδά, διαθέτει επίσης ορισμένα κίνητρα για την προώθηση της παραγωγής βιοκαυσίμων. Περιλαμβάνουν το πρόγραμμα ecoENERGY για βιοκαύσιμα, το οποίο παρείχε κίνητρο ανά λίτρο στους παραγωγούς βιοκαυσίμων για την περίοδο 2008-2017 και το πρόγραμμα ecoAgriculture για τα βιοκαύσιμα οικολογικής καλλιέργειας, με το οποίο χορηγούνταν επίδομα μέχρι και 25 εκατομμυρίων δολαρίων για τα έργα παραγωγής βιοκαυσίμων κατά την περίοδο 2011-2015 (Natural Resources Canada, 2018). Παράλληλα, ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός Τεχνολογίας Βιώσιμης Ανάπτυξης του Καναδά (SDTC), χρηματοδοτεί σχέδια σχετικά με την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων που παράγονται από μη εδωδιμες πηγές βιομάζας. Σύμφωνα με την Austin, (2010), οι πολιτικές αυτές έχουν συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη μιας συνολικής παραγωγικής ικανότητας ύψους 476 εκατομμυρίων γαλονιών.

### 1.5.4 Πολιτικές που ακολουθεί η Νότιος Αφρική

Το Δεκέμβριο του 2005, δημιουργήθηκε μια διυτηρεσιακή ομάδα εργασίας για την ανάπτυξη της Βιομηχανικής Στρατηγικής Βιοκαυσίμων της Νότιας Αφρικής (Στρατηγική για τα Βιοκαύσιμα). Η ομάδα αυτή, ανέπτυξε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο στρατηγικής για τα βιοκαύσιμα, με λεπτομερή μελέτη σκοπιμότητας, η οποία εγκρίθηκε από το υπουργικό συμβούλιο τον Δεκέμβριο του 2006. Το σχέδιο στρατηγικής για τα βιοκαύσιμα έκανε μια πολύ σκόπιμη σύνδεση μεταξύ του στόχου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και των βιοκαυσίμων, του στόχου θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της υιοθέτησης βιοκαυσίμων στην οικονομία (Mduduzi, 2014).

Το σχέδιο στρατηγικής για τα βιοκαύσιμα έκανε μια πολύ σκόπιμη σύνδεση μεταξύ του στόχου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και των βιοκαυσίμων, δεδομένου ότι πρότεινε να επιτευχθεί έως και το 75% του στόχου μέσω της υιοθέτησης βιοκαυσίμων. Το σχέδιο στρατηγικής για τα βιοκαύσιμα υποβλήθηκε σε διαδικασία δημόσιας διαβούλευσης, μετά την οποία η στρατηγική για τα βιοκαύσιμα αναθεωρήθηκε και εγκρίθηκε εκ νέου από το υπουργικό συμβούλιο τον Δεκέμβριο του 2007 (Blanchard et al., 2011).

Το τελικό σχέδιο στρατηγικής για τα βιοκαύσιμα (Final Biofuels Strategy) προβλέπει διείσδυση των βιοκαυσίμων κατά 2% ετησίως το οποίο μεταφράζεται σε 400 εκατομμύρια λίτρα, στα εθνικά δίκτυα υγρών καυσίμων, σε αντίθεση με τον αρχικό στόχο ο οποίος προέβλεπε διείσδυση κατά 4,5%. Για τους δηλωμένους σκοπούς της επισιτιστικής ασφάλειας και της προστασίας του περιβάλλοντος, η στρατηγική των βιοκαυσίμων, πρότεινε τις συγκεκριμένες καλλιέργειες για την παραγωγή βιοκαυσίμων στη Νότια Αφρική όπως το ζαχαροκάλαμο και τα ζαχαρότευτλα για την παραγωγή βιοαιθανόλης και ο ηλίανθος, η κανόλα και οι σπόροι σόγιας για την παραγωγή βιοντίζελ (Mduduzi, 2014).

Η καταλληλότητα αυτών των ειδών έχει χαρτογραφηθεί για τη Νότιο Αφρική σύμφωνα με τις επιλογές που τροφοδοτούνται με βροχή και τις αρδευόμενες επιλογές, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών για το σόργο για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Η στρατηγική αναγνωρίζοντας ότι δεν πρέπει να διακυβεύεται η επισιτιστική ασφάλεια, προέβλεψε τον αποκλεισμό του αραβόσιτου για λόγους ανακούφισης των ανησυχιών σχετικά με το θέμα της επισιτιστικής ασφάλειας (Blanchard et al., 2011).

## 1.6 Θαλάσσια βιοενέργεια

Η θαλάσσια βιοενέργεια είναι μία από τις σημαντικότερες συνιστώσες για τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Η μελέτη της χρήσης των θαλάσσιων αλγών ως καύσιμη βιομάζα έχει γίνει ένα από τα πιο κρίσιμα θέματα των τελευταίων ετών, εξαιτίας της αύξησης των τιμών ενέργειας και της αυξανόμενης ανησυχίας που προκαλούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα θαλάσσια μικροφύκη αποτελούν ελπιδοφόρους πόρους για την παραγωγή βιοντίζελ (Kim & Lee, 2015).

Παρόλα αυτά η χρήση ενέργειας από την θαλάσσια βιομάζα διερευνήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία ως μια εναλλακτική μορφή ενέργειας κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1970, μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις, όμως οι μελέτες διακόπηκαν όταν σταθεροποιήθηκαν οι τιμές του πετρελαίου. Τώρα όμως που η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει καταστεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν, η χρήση της θαλάσσιας βιομάζας ως μέσου για τον μετριασμό των εκπομπών CO<sub>2</sub>, επανέρχεται στο προσκήνιο (Yokoyama et al., 2007).

Ο πρώτος που διατύπωσε την ιδέα σχετικά με την χρήση της θαλάσσιας βιομάζας για λόγους παραγωγής ενέργειας ήταν ο Howard Wilcox το 1968. Εκείνη την εποχή, το ενεργειακό πρόγραμμα θαλάσσιας βιομάζας διεξήχθη από κοινού από κυβερνητικές οργανώσεις, πανεπιστήμια και ιδιωτικές εταιρείες στις Ηνωμένες Πολιτείες μέχρι το 1990. Το πρόγραμμα πρότεινε τη χρησιμοποίηση ενός είδους καφέ φυκιών (*Macrocystis pyrifera*) ως είδος καλλιέργειας, ένα είδος καφέ φυκιού που αναπτύσσεται ταχέως και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 43 μ ύψος (Yokoyama et al., 2007).

Τα θαλάσσια βιοκαύσιμα αποτελούν ανανεώσιμη, μη τοξική και βιοαποικοδομήσιμη πηγή ενέργειας. Ως εκ τούτου, το θέμα της εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον αυτών μορφών ενέργειας αποτελεί μείζον ζήτημα για τους επιστήμονες του κλάδου. Σε σύγκριση με τις συμβατικές καλλιέργειες που προορίζονται για την παραγωγή καυσίμων, τα θαλάσσια άλγη αποτελούν πιο ελκυστική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ λόγω της υψηλής απόδοσης της φωτοσύνθεσης και της περιεκτικότητάς τους σε λιπίδια. Η λιπιδική παραγωγικότητα των θαλάσσιων αλγών για την παραγωγή βιομάζας (ξηρό βάρος), είναι περίπου 15-300 φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών καλλιεργειών. Ωστόσο, το υψηλό κόστος παραγωγής βιοντίζελ αποτελεί το κύριο εμπόδιο στην εμπορική εφαρμογή του. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε λιπίδια ανά βιομάζα μικροαλγών είναι μία από τις πιο αποδοτικές μεθόδους για τη μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής βιοντίζελ (Kim & Lee, 2015).

Οι θαλάσσιες άλγες (όπως τα φύκη) καθώς και τα υπολείμματα ψαριών (όπως λέπια, κόκκαλα κ.α.) αποτελούν πηγές θαλάσσιας βιομάζας. Η θαλάσσια βιομάζα μπορεί μέσω της διαδικασίας της ζύμωσης να παράγει βιομεθάνιο και / ή βιο-υδρογόνο. Οι έννοιες της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνουν (Borthwick, 2016):

- ✓ τη χρήση συστημάτων θαλάσσιας ανανεώσιμης ενέργειας για την παροχή ενέργειας στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας εκτός ανοικτής θάλασσας,
- ✓ την αύξηση των φυκιών που γεινιάζουν με τις ιχθυοκαλλιέργειες για τη μείωση του φαινομένου του ευτροφισμού,
- ✓ η συγκομιδή των φυκιών κατά το στάδιο της "ωρίμανση" στο τέλος της θερινής περιόδου,
- ✓ η ενσίρωση των φυκιών για προκατεργασία και ετήσια παροχή πρώτης ύλης για βιολογικούς δείκτες,
- ✓ η αντίδραση του υδρογόνου, που παράγεται από το πλεόνασμα των συστημάτων θαλάσσιας ανανεώσιμης ενέργειας, με το βιοαέριο, με αποτέλεσμα την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, σχεδόν διπλασιάζοντας την παραγωγή μεθανίου ( $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 == \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Αυτή η χρήση θαλάσσιας βιομάζας προσφέρει μια λύση στην αντιπαράθεση γύρω από τη βιώσιμη παραγωγή βιοντίζελ και βιοαιθανόλης από βιομάζα που παράγεται στην ξηρά, όπου υπάρχει

ανταγωνισμός μεταξύ τροφίμων, καυσίμων και άλλων χρήσεων γης. Τα θαλάσσια άλγη έχουν πολύ γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης, ενεργούν ως δεξαμενές ενέργειας και μπορούν να απομονώσουν τον άνθρακα (Sayre, 2010). Απαιτείται περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη για την καθιέρωση της βιομάζας βιολογικών καυσίμων σε βιομηχανική κλίμακα (Singh et al., 2011).

## 2. ΠΗΓΕΣ ΘΑΛΛΑΣΙΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

### 2.1 Βιολογία των φυκών

Τα φύκη, (εν. το φύκος/alga, πλ. τα φύκη/algae), αποτελούνται από υδρόβιους οργανισμούς, που έχουν τη δυνατότητα να διεξάγουν φωτοσύνθεση και οι οποίοι διαφοροποιούνται από τους ανώτερους φυτικούς οργανισμούς, καθώς δεν διαθέτουν ρίζες, βλαστούς, φύλλα, άνθη ή καρπούς. Η οργάνωσή τους είναι πρωτόγονη καθώς αναγνωρίζονται ως μία από τις παλαιότερες μορφές ζωής (Pulz, 2001), ενώ ταξινομούνται τόσο σε απλές όσο και σε πολύπλοκες ταξινομικές ομάδες (ΕΛ.Φ.Ε., 2008).

Ο όρος "άλγη" καλύπτει μια ποικιλία διαφορετικών οργανισμών, ικανών να παράγουν οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης. Αυτοί οι οργανισμοί δεν είναι αναγκαστικά στενά συνδεδεμένοι. Παρόλο που ορισμένα χαρακτηριστικά τους τα εντάσσουν σε συγκεκριμένες κατηγορίες, υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που τα διακρίνουν από την άλλη κύρια ομάδα των φωτοσυνθετικών οργανισμών που αναπτύσσονται στον αέρα.

Όπως αναφέρουν οι Brennan & Owende, (2010), τα φυτά αυτά, δεν διαθέτουν αποστειρωμένη κάλυψη κυττάρων γύρω από τα αναπαραγωγικά κύτταρα τους και χρησιμοποιούν την χλωροφύλλη α ως πρωτεύουσα φωτοσυνθετική χρωστική ουσία. Η απλή δομή τους μάλιστα είναι τέτοια ώστε η μετατροπή της ενέργειας αφορά πρωτίστως την ανάπτυξη των κυττάρων, ενώ ο απλός τρόπος ανάπτυξης, τους επιτρέπει να προσαρμόζονται στις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και να ευημερούν μακροπρόθεσμα (Pulz, 2001).

Τα μικροφύκη αποτελούνται από μια ποικίλη ομάδα προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών φωτοσυνθετικών μικροοργανισμών, οι οποίοι αναπτύσσονται γρήγορα λόγω της απλής δομής τους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων με οικονομικά αποδοτικό και περιβαλλοντικά βιώσιμο τρόπο (Brennan & Owende, 2010).

Τα προκαρυωτικά κύτταρα (κυανοβακτήρια) δεν διαθέτουν οργανίδια που συνδέονται με τη μεμβράνη (πλαστίδια, μιτοχόνδρια, πυρήνες, σωμάτια Golgi και μαστίγια) και μοιάζουν περισσότερο με βακτήρια αντί με άλγη. Τα ευκαρυωτικά κύτταρα, τα οποία αποτελούνται από πολλούς διαφορετικούς τύπους κοινών φυκών, έχουν αυτά τα οργανίδια που ελέγχουν τις λειτουργίες του κυττάρου, επιτρέποντάς του να επιβιώσει και να αναπαραχθεί. Οι ευκαρυώτες κατηγοριοποιούνται σε μια ποικιλία κατηγοριών που καθορίζονται κυρίως από το χρωματισμό, τον κύκλο ζωής και τη βασική κυτταρική δομή (Khan et al., 2009).

Οι σημαντικότερες κατηγορίες είναι: τα πράσινα φύκια (Chlorophyta), τα κόκκινα φύκια (Rhodophyta) και τα διάτομα (Bacillariophyta). Τα φύκια μπορούν να είναι είτε αυτοτροφικά είτε ετερότροφα. οι πρώτες απαιτούν μόνο ανόργανες ενώσεις όπως CO<sub>2</sub>, άλατα και μια πηγή ενέργειας φωτός για ανάπτυξη. ενώ οι τελευταίες δεν είναι φωτοσυνθετικές και συνεπώς απαιτούν εξωτερική πηγή οργανικών ενώσεων καθώς και θρεπτικές ουσίες ως πηγή ενέργειας. Ορισμένα φωτοσυνθετικά φύκια είναι μικτοτροφικά, δηλαδή έχουν την ικανότητα τόσο να διεξάγουν φωτοσύνθεση όσο και να αποκτούν εξωγενή οργανικά θρεπτικά συστατικά. Για τα αυτοτροφικά φύκια, η φωτοσύνθεση αποτελεί βασικό συστατικό της επιβίωσης τους, μετατρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία και το CO<sub>2</sub> που απορροφάται από τους χλωροπλάστες σε τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) και το O<sub>2</sub> που είναι χρήσιμο σε κυτταρικό επίπεδο, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται στην αναπνοή και στην παραγωγή ενέργειας για την ανάπτυξη του φυτού (Brennan & Owende, 2010).

Τα πλεονεκτήματα των μικροφυκών σε σχέση με τα ανώτερους φυτικούς οργανισμούς ως πηγή βιοκαυσίμων είναι τα εξής (Khan et al., 2009):

- Τα μικροφύκη συνθέτουν και συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες ουδέτερων λιπιδίων/ελαίου (20-50% βάρους ξηρού κυττάρου) και αναπτύσσονται σε υψηλά ποσοστά.
- Η απόδοση ελαίου ανά περιοχή καλλιεργειών μικροφυκών θα μπορούσε να υπερβεί σε μεγάλο βαθμό την απόδοση των καλύτερων καλλιεργειών συμβατικών καλλιεργειών.
- Τα μικροφύκη μπορούν να καλλιεργηθούν σε αλατούχα/υφάλμυρα νερά, σε παράκτια θαλάσσια ύδατα και σε μη αροτραίες εκτάσεις και δεν ανταγωνίζονται τη συμβατική γεωργία.
- Ανέχονται περιθωριακά εδάφη όπως για παράδειγμα η έρημος, οι άγονες και ημιώδεις εκτάσεις και γενικότερα, εκτάσεις που δεν είναι κατάλληλες για τη συμβατική γεωργία.
- Χρησιμοποιούν άζωτο και φώσφορο από διάφορες πηγές αποβλήτων όπως για παράδειγμα από γεωργικές απορροές, από συμπυκνωμένες ζωοτροφές και βιομηχανικά και αστικά λύματα, ενώ παρέχουν το πρόσθετο πλεονέκτημα της βιοαποκατάστασης των λυμάτων.
- Απομονώνουν το CO<sub>2</sub> από τα καυσαέρια που εκπέμπονται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και άλλες πηγές, μειώνοντας έτσι σημαντικά τις εκπομπές αερίου θερμοκηπίου (1 kg βιομάζας φυκών που απαιτεί περίπου 1,8 kg CO<sub>2</sub>).
- Παράγουν προϊόντα ή υποπροϊόντα προστιθέμενης αξίας όπως για παράδειγμα βιοπολυμερή, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, χρωστικές, ζωοτροφές και λίπασμα, ενώ παράλληλα δεν απαιτούν την χρήση ζιζανιοκτόνων και παρασιτοκτόνων.
- Αναπτύσσονται σε κατάλληλα δοχεία καλλιέργειας (φωτοβιοαντιδραστήρες) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με υψηλότερη ετήσια παραγωγικότητα βιομάζας σε μια περιοχή.

Πρόσφατες ερευνητικές πρωτοβουλίες έχουν αποδείξει ότι η βιομάζα μικροφυκών φαίνεται να είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες πηγές ανανεώσιμου βιοντίζελ που μπορεί να καλύψει την παγκόσμια ζήτηση καυσίμων για μεταφορές. Η χρήση μικροφυκών για την παραγωγή βιοντίζελ δεν θέτει σε κίνδυνο την παραγωγή τροφίμων, ζωοτροφών και άλλων προϊόντων που προέρχονται από συμβατικές καλλιέργειες. Μια σύγκριση ορισμένων πηγών λαδιού καλλιέργειας δίνεται στον Πίνακα 1. Λαμβάνοντας υπόψη τον πίνακα αυτό, τα μικροφύκη φαίνεται να είναι η μόνη πηγή βιοντίζελ που έχει τη δυνατότητα να εκτοπίσει πλήρως το ορυκτό ντίζελ. Η περιεκτικότητα των μικροφυκών σε έλαιο μπορεί να υπερβαίνει το 80% κατά βάρος ξηρής βιομάζας (Rodolfi et al., 2009; Chiu et al., 2009).

**Πίνακας 1 Σύγκριση των φυκών με συμβατικές καλλιέργειες για την παραγωγή βιοκαυσίμων**

Πηγή	Λίτρα ελαίου ανά στρέμμα ετησίως
Φύκη	18000 – 76000
Φοίνικας	2400
Καρύδα	1100
Κανόλα	480
Ηλιοτρόπια	386
Σόγια	180
Καλαμπόκι	68

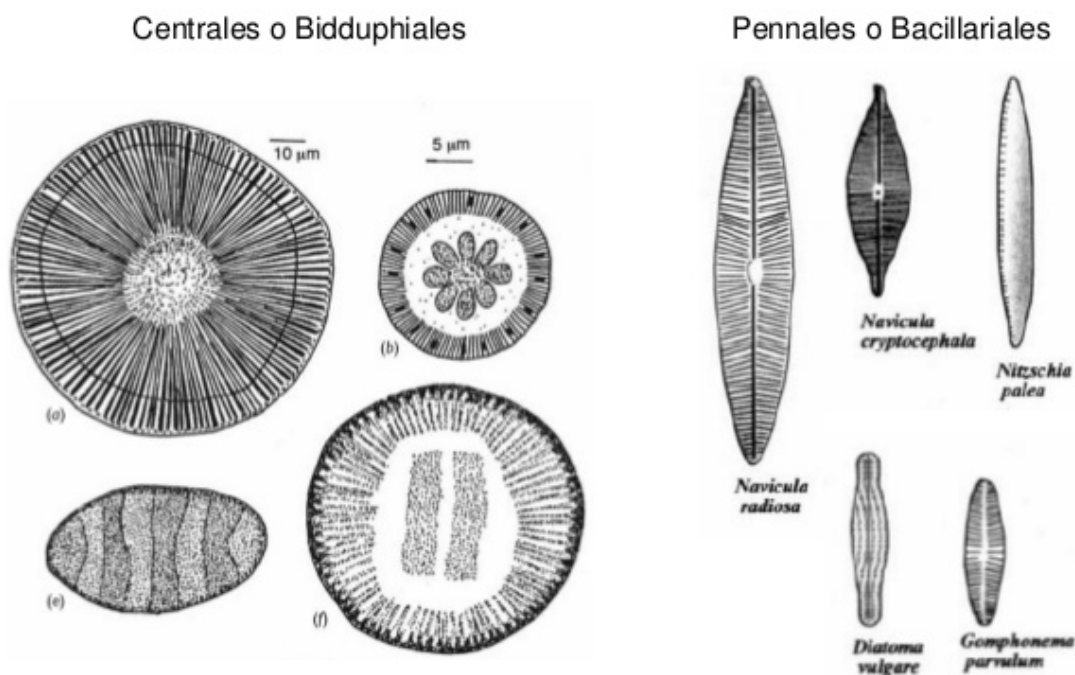
Οι κατηγορίες των φωτοσυνθετικών οργανισμών που αναπτύσσονται σε υδάτινα περιβάλλοντα περιλαμβάνουν τα μακροφύκη και τα μικροφύκη. Η κυτταρική δομή τους και η μεγάλη αναλογία της επιφάνειάς τους ως προς τον όγκο τους, τους δίνει τη δυνατότητα να απορροφούν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ουσιών (Khan et al., 2009).

## 2.2 Διάτομα άλγη (Bacillariophyceae ή Diatomeae)

Τα διάτομα άλγη είναι μονοκύτταρα, φωτοσυνθετικά, ευκαρυωτικά φύκη που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο και σε συστήματα γλυκών υδάτων. Η φωτοσύνθεση των θαλάσσιων διατόμων παράγει περίπου το 40% των 45-50 δισεκατομμυρίων τόνων οργανικού άνθρακα που παράγονται κάθε χρόνο στη θάλασσα (Nelson et al., 1995) και ο ρόλος τους στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα προβλέπεται να είναι συγκρίσιμος με εκείνον όλων των χερσαίων τροπικών δασών (Field et al., 1998). Πέρα από τη γεωλογική περίοδο, τα διάτομα φύκη μπορεί να έχουν επηρεάσει το παγκόσμιο κλίμα μεταβάλλοντας τη ροή του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα στους ωκεανούς (Armbrust et al., 2004).



Ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό των διατόμων είναι το περίτεχνα διαμορφωμένο πυριτικό κυτταρικό τοίχωμα (θήκη) με ανάγλυφη επιφάνεια η οποία εμφανίζει συγκεκριμένες δομές λεπτομερειών νανο-δομής. Χαρακτηρίζονται είτε από ακτινωτή (Centrales), είτε από αμφίπλευρη (Pennales), συμμετρία. Η συμμετρία και οι χαρακτηριστικές ποικίσεις του κυτταρικού τοιχώματος αποτελούν συστηματικά γνωρίσματα που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό αυτών των φυκών (Armbrust et al., 2004).



**Εικόνα 5** Διάτομα μικροάλγη. Αριστερά άλγη με ακτινωτή συμμετρία και Δεξιά άλγη με αμφίπλευρη συμμετρία

Πρόσφατα, η προσοχή έχει επικεντρωθεί στη βιοσύνθεση αυτών των νανο δομών ως ένα παράδειγμα για τη μελλοντική νανοτεχνολογία του πυριτίου (Parkinson & Gordon, 1999). Η μακρά ιστορία (πάνω από 180 εκατομμύρια χρόνια) και των διατόμων στους ωκεανούς αντικατοπτρίζεται από τη συμβολή τους στα τεράστια κοιτάσματα διατομίτη, κερατόλιθων καθώς και ένα σημαντικό τμήμα των σημερινών αποθεμάτων πετρελαίου (Damsté et al., 2004).

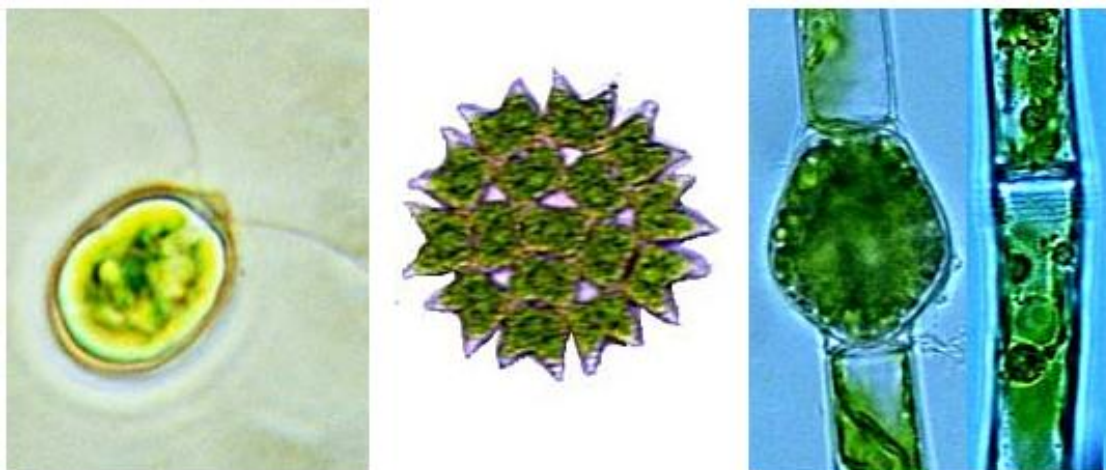
Τα διάτομα αντικατοπτρίζουν μια ριζικά διαφορετική εξελικτική ιστορία από τα ανώτερα φυτά που κυριαρχούν στη γη. Τα ανώτερα φυτά καθώς και τα πράσινα, κόκκινα και γλαυκώφυτα φύκη προέρχονται από ένα πρωτογενές ενδοσυμβιωτικό συμβάν, κατά το οποίο ένας μη φωτοσυνθετικός ευκαρυώτης απέκτησε έναν χλωροπλάστη απορροφώντας (ή μετά από εισβολή) ένα προκαρυωτικό κυανοβακτήριο. Αντίθετα, το κυρίαρχο ευκαρυωτικό φυτοπλαγκτόν που σχηματίζει άνθρακα στον ωκεανό, όπως τα διάτομα και τα βακτηρίδια, προέρχεται από δευτερογενή ενδοσυμβίωση, όπου ένας μη φωτοσυνθετικός ευκαρυώτης απέκτησε χλωροπλάστη απορροφώντας ένα φωτοσυνθετικό

ευκαρυωτικό. Κάθε ενδοσυμβιωτικό συμβάν οδήγησε σε νέους συνδυασμούς γονιδίων που προέρχονται από τους ξενιστές και τα ενδοσυμβιώματα (Falkowski et al., 2004).

### 2.3 Χλωροφύκη - Πράσινα άλγη (Chlorophyta, Chlorophyceae, Green algae)

Στα χλωροφύκη πάνω από 350 γένη και 6000 ζωντανά είδη αλγών. Από αυτά, κάποια είναι μονοκύτταροι οργανισμοί και άλλοι είναι πολυκύτταροι. Τα κύτταρα τους είναι ευκαρυωτικά, φέρουν σχηματοποιημένο πυρήνα, ένα ή περισσότερους χλωροπλάστες, πυρηνοειδή. Υπάρχουν διάφοροι μορφολογικοί τύποι όπως, κινητοί με μαστίγια, ακίνητοι, μικροσκοπικοί ή αόρατοι με γυμνό μάτι, αποικιακοί, νηματοειδείς και άλλοι. Το χρώμα τους είναι συνήθως πράσινο λόγω της επικράτησης της χλωροφύλλης α. Διαθέτουν βέβαια και άλλες χρωστικές όπως η χλωροφύλλη b και το καροτένιο a και b, οι οποίες μπορούν να τροποποιήσουν το χρώμα. Η αναπαραγωγή των πράσινων αλγών γίνεται τόσο με αγενή όσο και με εγγενή τρόπο (Fogg, 2012)

Ο διαχωρισμός των μικρότερων ειδών από τα βακτηρίδια, δεν είναι πάντα εφικτός καθώς σε αρκετές περιπτώσεις έχουν κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Παρόλα αυτά, τα πράσινα φύκια περιέχουν συνήθως τις χρωστικές ουσίες χλωροφύλλη α και τις βιλιπρωτεΐνες, μέσω των οποίων πραγματοποιούν φωτοσύνθεση με την παραγωγή οξυγόνου, ενώ τα βακτήρια, στην περίπτωση που είναι φωτοσυνθετικά, έχουν άλλες χρωστικές ουσίες και δεν παράγουν οξυγόνο. Περαιτέρω, τα πράσινα φύκια, αν και μπορεί να παρουσιάσουν ένα χαρακτηριστικό κίνημα ολίσθησης, δεν διαθέτουν ποτέ μαστίγια ως μέσο μετακίνησης (Fogg, 2012).



Εικόνα 6 Από αριστερά προς δεξιά: *Chlamydomonas* (μονοκύτταρο), *Pediatrum* (αποικίες) και *Oedogonium* (νημάτια)

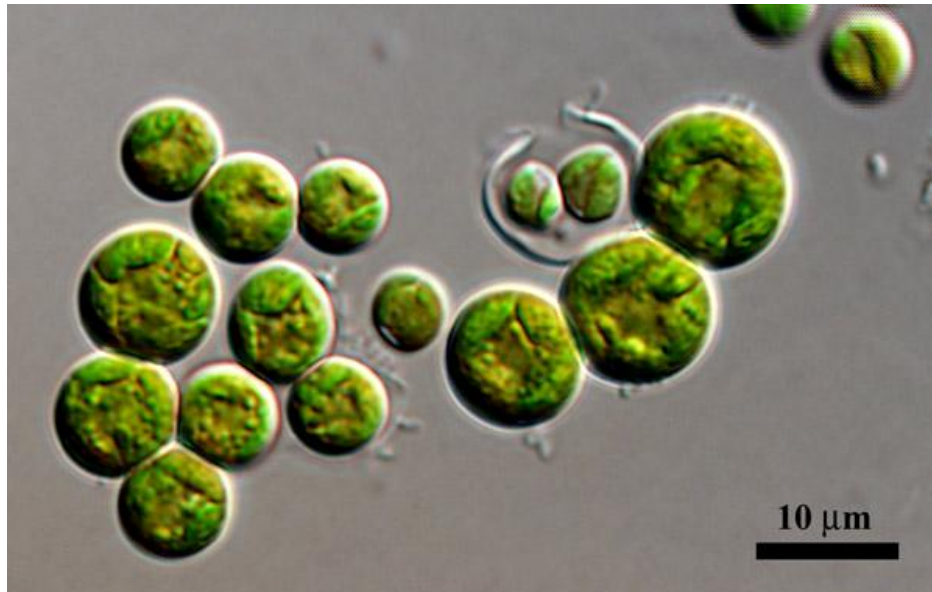
Τα χλωροφύκη περιλαμβάνουν τρεις κύριες ομάδες, οι οποίες διακρίνονται κυρίως από βασικές διαφορές στη διάταξη των μαστιγίων τους (Fogg, 2012):

- Μικροσκοπικοί και μονοκύτταρα χλωροφύκη τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν μόνο με την χρήση μικροσκοπίου. Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται: Ακίνητα χλωροφύκη: *Chlorella*, *Scenedesmus* κ.α. κινητά χλωροφύκη *Chlamydomonas*, *Volvox* κ.α.
- Νηματοιδή χλωροφύκη με σχετικά μεγαλύτερες διαστάσεις από την προηγούμενη κατηγορία και αναπτύσσονται συνήθως σε γλυκά νερά. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται: Διακλαδιζόμενα χλωροφύκη: *Stigeoclonium*, *Cladophora* κ.α. Μη διακλαδιζόμενα: *Spirogyra*, *Oedogonium* κ.α
- Χλωροφύκη που σχηματίζουν θαλλούς και είναι ορατά με γυμνό μάτι όπως τα: *Enteromorpha*, *Codium*, *Acetabularia* κ.α.

## 2.4 Ευστιγματόφυτα άλγη (*Eustigmatophytes – Eustigmatophyceae*)

Στα ευστιγματοφυτα φύκη ανήκει μια μικρή ομάδα φυκών η οποία αποτελείται από 12 γένη και 41 είδη ευκαρυωτικών φυκών τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν τόσο σε θαλασσινό όσο και σε γλυκό νερό ενώ κάποια από τα είδη αυτά έχουν την ικανότητα να αναπτυχθούν στο έδαφος. Όλα τα ευστιγματοφυτα είναι μονοκύτταροι οργανισμοί, με κοκκοειδή κύτταρα και κυτταρικά τοιχώματα πολυσακχαριτών. Τα φύκη της κατηγορίας αυτής περιέχουν έναν ή περισσότερους κίτρινους – πράσινους χλωροπλάστες, οι οποίοι περιέχουν χλωροφύλλη α και οι βοηθητικές χρωστικές ουσίες όπως η βορλαξανθίνη και το β-καροτένιο (Khozin-Goldberg & Boussiba, 2011).

Τυπικά, τα ευστιγματοφυτα εμφανίζονται ως φωτοσυνθετικά αυτοτρόφα φύκη σε μια σειρά συστημάτων. Τα περισσότερα γένη ζουν σε γλυκά ύδατα ή στο έδαφος, αν και το γένος *Nannochloropsis* περιέχει θαλάσσια είδη picophytoplankton μεγέθους 2-4 μm. Επίσης στην κατηγορία των ευστιγματόφυτων έχει προστεθεί και μία παλαιότερη κατηγορία, εκείνη των Ξανθοφυκών (*Xanthophyceae*) (Fisher et al., 1998).



Εικόνα 7 Ευστιγματόφυτα σε μικροσκόπιο με κλίμακα 10μm

Πίνακας 2 Κατηγορίες Ευστιγματόφυτων αλγών και απόδοση βιομάζας και λιπιδίων

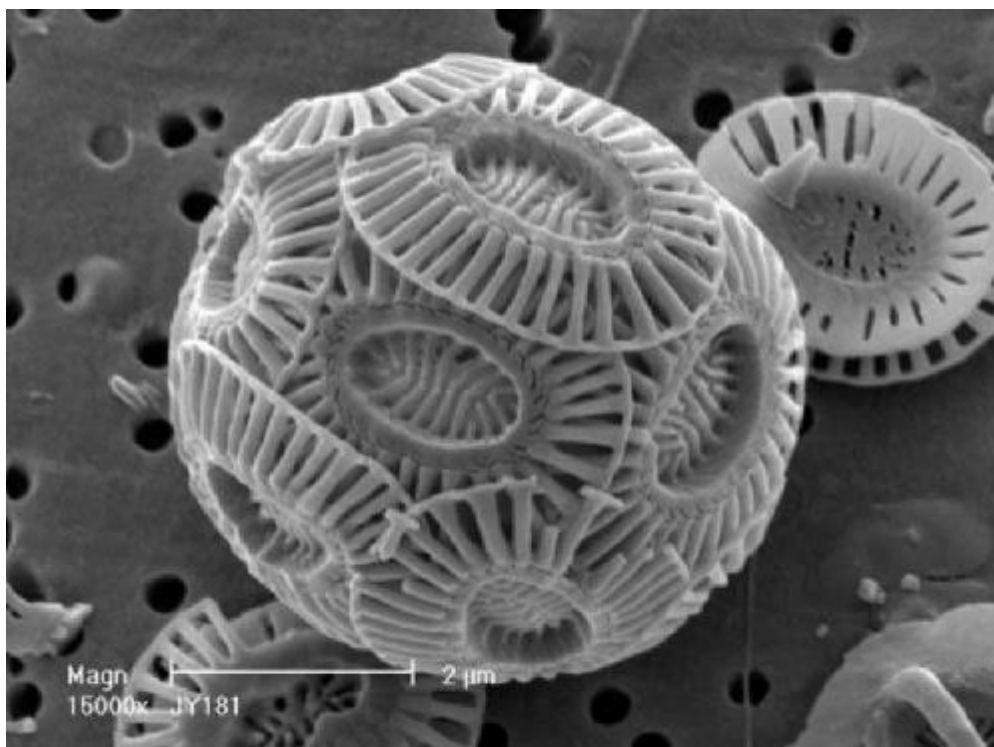
Ευστιγματόφυτα			
Είδη Αλγών	Παραγωγή Βιομάζας (g/l/day)	Περιεκτικότητα λιπιδίων (% biomass)	Παραγωγή λιπιδίων (mg/l/day)
Nannochloropsis sp. F&M-M26	0.21	29.6	61.0
Nannochloropsis sp. F&M-M27	0.20	24.4	48.2
Nannochloropsis sp. F&M-M24	0.18	30.9	54.8
Nannochloropsis sp. F&M-M29	0.17	21.6	37.6
Nannochloropsis sp. F&M-M28	0.17	35.7	60.9
Isochrysis sp. (T-ISO) CS 177	0.17	22.4	37.7
Isochrysis sp. F&M-M37	0.14	27.4	37.8

## 2.5 Πρυμνεσιόφυτα - Απτόφυτα άλγη (Haptophyta - Prymnesiophyceae)

Τα απτόφυτα, γνωστά και ως πρυμνεσιόφυτα, αποτελούν μονοκύτταρους οργανισμούς και πολλά είδη τους είναι μαστιγοφόρα, ενώ άλλα στερούνται μαστιγίου ή δημιουργούν νηματώδη στάδια. Ωστόσο μερικά μπορεί να έχουν ακόμα αμοιβαδοειδή ή κοκκώδη στάδια. Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια βιογεωχημεία και στα τροφικά πλέγματα των φυσικών οικοσυστημάτων και των συστημάτων υδατοκαλλιεργειών (Fogg, 2012).

Τα κύτταρα των αλγών αυτών, έχουν τυπικά δύο ελαφρώς άνισα μαστίγια, τα οποία και τα δύο είναι ομαλά, και ένα μοναδικό οργανίδιο που ονομάζεται απτόνημα, το οποίο είναι επιφανειακά παρόμοιο με ένα μαστίγιο, αλλά διαφέρει στη διάταξη μικροσωληναρίων και στη χρήση του.

Αυτή η κατηγορία αλγών περιέχει μόνο δύο είδη: τα Coccolithophyceae και τα Pannulophyceae. Η μεγάλη πλειοψηφία αυτών των φυκιών είναι κινητά, παλμελοειδή ή κοκκοειδή, αλλά μερικά από αυτά δημιουργούν αποικίες ή μικρά νημάτια. Αυτά τα άλγη απαντώνται γενικά σε θαλάσσια περιβάλλοντα, παρόλο που υπάρχουν και αρκετές περιπτώσεις όπου αναπτύσσονται και σε γλυκά ύδατα και χερσαία τμήματα γης (Fogg, 2012).



Εικόνα 8 Απτόφυτα: *Emilia huxleyi* του είδους Coccolithophyceae

Τα πιο γνωστά απτόφυτα είναι κοκκολιθοφόρα, τα οποία έχουν ένα εξωσκελετό από ασβεστολιθικά ελάσματα που ονομάζονται κοκκολίθια. Τα κοκκολιθοφόρα είναι μερικά από τα πιο

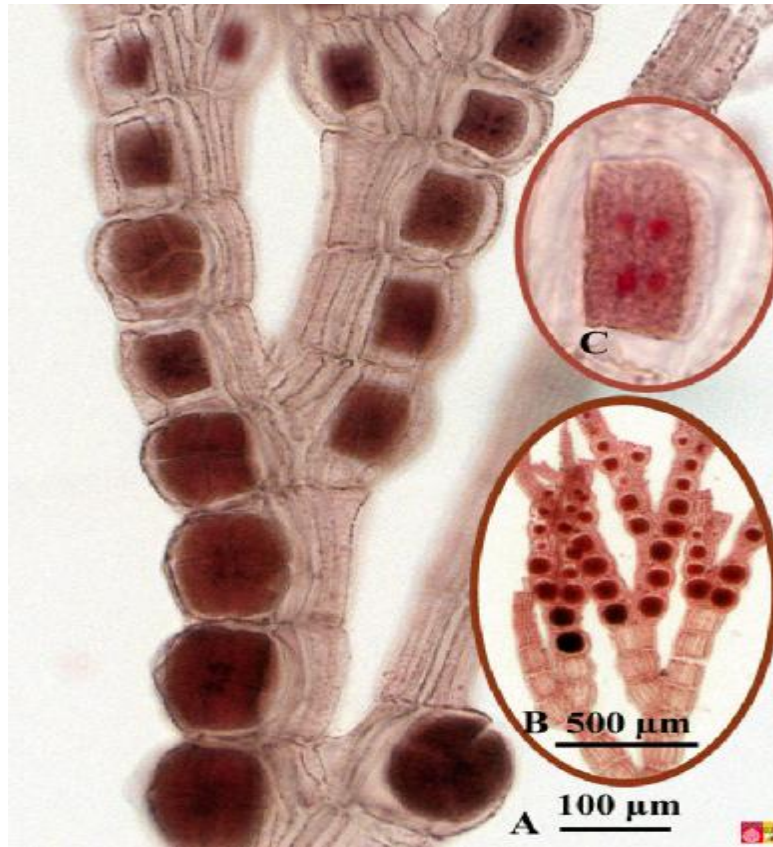
διαδεδομένα θαλάσσια φυτοπλαγκτόν, ειδικά στον ανοιχτό ωκεανό. Άλλα πλαγκτονικά βακτηρίδια περιλαμβάνουν τη *Chrysochromulina* και το *Prymnesium*, τα οποία σχηματίζουν περιοδικά τοξικές θαλάσσιες άλγες, ενώ τα φυτά της σειράς *Phaeocystis* μπορούν να παράγουν αφρό ο οποίος συσσωρεύεται συχνά σε παραλίες (Cuvelier et al., 2010).

## 2.6 Κόκκινα άλγη (Rhodophyta)

Τα κόκκινα φύκη ή ροδόφυτα, αποτελούν μία από τις παλαιότερες ομάδες ευκαρυωτικών φυκών. Στα Ροδόφυτα περιλαμβάνονται πάνω από 7000 αναγνωρισμένα είδη, ενώ η πλειοψηφία των ειδών (6.793) αποτελείται κυρίως από πολυκύτταρους οργανισμούς. Περίπου το 5% των κόκκινων φυκών εμφανίζονται σε περιβάλλοντα γλυκού νερού με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε περιοχές με θερμό κλίμα (Sheath, 1984).

Τα κόκκινα άλγη σχηματίζουν μια ξεχωριστή ομάδα η οποία χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ευκαρυωτικών κυττάρων χωρίς μαστίγια και χλωροπλάστες που δεν διαθέτουν εξωτερικό ενδοπλασματικό δίκτυο. Εκτός από την χλωροφύλλη α, περιέχουν επίσης και φυκοερυθρίνη και φυκοκυανίνη, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να απορροφούν τα μπλε και το πράσινο φως. Το ρόδινο χρώμα, στο οποίο οφείλεται και η ονομασία τους, προέρχεται από την φυκοερυθρίνη, ενώ η οι χρωστικές αυτές βοηθούν τους οργανισμούς αυτούς στο να αναπτύσσονται σε βάθη μέχρι και 200 μέτρων (Sheath, 1984).

Τα κόκκινα άλγη αποθηκεύουν τα σάκχαρα ως άμυλο ανθρακικών, το οποίο είναι ένας τύπος αμύλου που αποτελείται από εξαιρετικά διακλαδισμένη αμυλοπηκτίνη χωρίς αμυλόζη, ως τροφικά αποθέματα. Τα περισσότερα κόκκινα άλγη είναι επίσης πολυκύτταρα, μακροσκοπικά και αναπαράγονται σεξουαλικά. Σε μερικά είδη ροδοφυκών, χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η ενασβέστωση του θαλλού, με αποτέλεσμα αρκετές φορές να εκλαμβάνονται λανθασμένα και ως κοράλλια (Ciniglia, 2004).



Εικόνα 9 Κυτταρική δομή του *Polysiphonia* των Ροδόφυτων αλγών. Α: κλίμακα 100μm. Β: κλίμακα 500μm. C: κύτταρο σε κλίμακα 50μm

## 3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 3.1 Τεχνικές νανοτεχνολογίας στη παραγωγή βιοενέργειας

Ο αέρας που αναπνέουμε και το νερό που πίνουμε σήμερα, σίγουρα δεν είναι τόσο καθαρό όσο ήταν πριν από μερικές δεκαετίες. Για την αντιμετώπιση αυτών των σοβαρών για την υγεία του ανθρώπου, θεμάτων, η βιοενέργεια αποτελεί ένα εξαιρετικά πλούσιο οικολογικό μέσο αντιμετώπισης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν απαιτείται η δημιουργία βιολογικών πηγών, καθώς είναι άμεσα διαθέσιμες στο περιβάλλον, είναι αυτοδύναμες, σε αφθονία και το σημαντικότερο, δεν προκαλούν φθορές στο περιβάλλον εξαιτίας του ότι δεν παράγουν τοξικά υπό-προϊόντα ή υπολείμματα (Malik & Sangwan, 2012).

Η βιομάζα, μπορεί να προέρχεται από τα απόβλητα των ζώων, τα νεκρά τμήματα των φυτών και των ζώων, τα φύκη και ούτω καθεξής. Παρά την ύπαρξη ενός τόσο μεγάλου δυναμικού, η χρήση της βιομάζας για ενεργειακή εφαρμογή είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Το κύριο πρόβλημα πίσω από αυτό το ζήτημα είναι η έλλειψη αποτελεσματικών τεχνικών βιοχημικής τροποποίησης μέσω των οποίων η βιομάζα μπορεί να συλληχθεί με κερδοφόρο τρόπο (Malik & Sangwan, 2012).

Η εξάντληση των παγκόσμιων μη ανανεώσιμων ορυκτών καυσίμων συνεχίζεται με έναν πρωτοφανή ρυθμό, ένα πρόβλημα που φάνηκε από την άνοδο της τιμής του αργού πετρελαίου και των εξευγενισμένων προϊόντων του. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί βασική κινητήρια δύναμη της αυξανόμενης εστίασης στις βιώσιμες πηγές εναλλακτικής ενέργειας, δεδομένου ότι έχει ήδη οδηγήσει σε πληθώρα πιθανών εναλλακτικών καυσίμων. Τα βιοκαύσιμα είναι ένα παράδειγμα, προσφέροντας μια πιθανή πορεία προς την ικανοποίηση των μελλοντικών ενεργειακών απαιτήσεων χρησιμοποιώντας τους εγχώριους ανανεώσιμους πόρους (Pugh et al., 2011, Puri et al., 2012).

Τα βιοκαύσιμα είναι βιοαποικοδομήσιμα και μη τοξικά και παράγονται από διάφορες πρώτες ύλες, συμπεριλαμβανομένων φυτικών ελαίων και βιομάζας (Kralova & Sjooblom, 2010). Οι φυτικής προελεύσεως βιομάζες έχουν προσελκύσει ιδιαίτερη προσοχή ως δυνητικές ανανεώσιμες πηγές για την παραγωγή εναλλακτικών λύσεων στα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο. Οι διεργασίες με βάση το ένζυμο αντιπροσωπεύουν μια ελκυστική δυναμική πορεία για την παραγωγή βιοκαυσίμων, καθώς είναι περιβαλλοντικά καλοήθεις, επιλεκτικές και ικανές να λειτουργούν αποτελεσματικά σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Kumari et al., 2009, Du et al., 2005).

Η νανοτεχνολογία είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας, ο οποίος καλύπτει ευρέως την κατασκευή και τη χρήση νανομετρικών υλικών (Ansari & Husain, 2012, Jiang et al., 2013, Verma et al., 2013a). Σύμφωνα με τους Biswas et al., (2012) και τους Wu et al., (2008), η πρόσφατη πρόοδος



της νανοτεχνολογίας έχει δώσει στους ερευνητές πρόσβαση σε μια ποικιλία νανοϋλικών, τα οποία διαθέτουν μοναδικές οπτικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες. Τα νανοϋλικά έχουν δομικά στοιχεία στην περιοχή μεγέθους νανοκλίμακας και συγκρίσιμων διαστάσεων με βιολογικά μακρομόρια, όπως τα ένζυμα (πρωτεΐνες) και τα νουκλεϊνικά οξέα (Stark, 2011).

Η προκύπτουσα διασταύρωση μεταξύ της βιοτεχνολογίας και της νανοτεχνολογίας κατέστησε δυνατή την ανάπτυξη ενός νέου υβριδικού νανοβιοκαταλυτικού συστήματος, το οποίο συνδυάζει τις καταλυτικές και εκλεκτικές ιδιότητες αναγνώρισης των βιολογικών μορίων με μοναδικά χαρακτηριστικά που μπορούν να προσφέρουν τα νανοϋλικά (Chronopoulou et al., 2011). Η ευελιξία των εφαρμογών νανοϋλικών μπορεί εύκολα να σχεδιαστεί με τη διαδικασία της λειτουργικοποίησης (Jiang et al., 2013).

Η νανοτεχνολογία είναι ο κλάδος της φυσικής επιστήμης που ασχολείται με τη μελέτη και την ανάλυση της ύλης σε ατομική ή μοριακή κλίμακα για να παράγει νέες δομές, συσκευές, υλικά, συστήματα και καταλύτες με μοναδικές και εξαιρετικές ιδιότητες (Royal Society, 2004). Ο όρος της νανοτεχνολογίας, εισήχθη για πρώτη φορά το 1959, από τον Feynman. Ο όρος αυτός αναφέρεται στην κατασκευή και τη χρήση υλικών μεγέθους της κλίμακας νανομέτρων (υλικά με τουλάχιστον μία διάσταση μικρότερη από 100 nm) (Jiang et al., (2013). Ένα νανόμετρο είναι συνήθως ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου ( $10^{-9}$  του μέτρου). Τα υλικά νανοκλίμακας τυπικά περιλαμβάνουν όλα εκείνα τα υλικά τα οποία έχουν τουλάχιστον μία διάσταση που κυμαίνεται εντός (1-100) nm. Από τότε, πολλοί ερευνητές και επιστήμονες σε ολόκληρο τον κόσμο έχουν διερευνήσει τις επιπτώσεις των νανοϋλικών σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων, από ολοκληρωμένα κυκλώματα, προϊόντα τροφίμων και συσκευές μετατροπής ενέργειας (Khanna, 2016; Wu et al., 2008).

Αυτή η τεχνολογία μπορεί να προσφέρει ταχύτερες και πιο αξιόπιστες μεθόδους για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας από τις βιολογικές πηγές. Τα προϊόντα με βάση τη νανοτεχνολογία που είναι σήμερα διαθέσιμα έχουν ένα εξαιρετικά διαφορετικό υπόβαθρο, που κυμαίνεται από βιομηχανικές συσκευές μέτρησης και ανίχνευσης, θεραπευτικά συστήματα και αγαθά φιλικά προς τον καταναλωτή. Διεξάγονται διαρκώς έρευνες για την επίτευξη συνεχούς βελτίωσης στις απαιτήσεις της καθημερινής ζωής, όπως η μεταφορά, η ενέργεια, η γεωργία, η ιατρική, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι ηλεκτρονικές συσκευές (Malik & Sangwan, 2012).

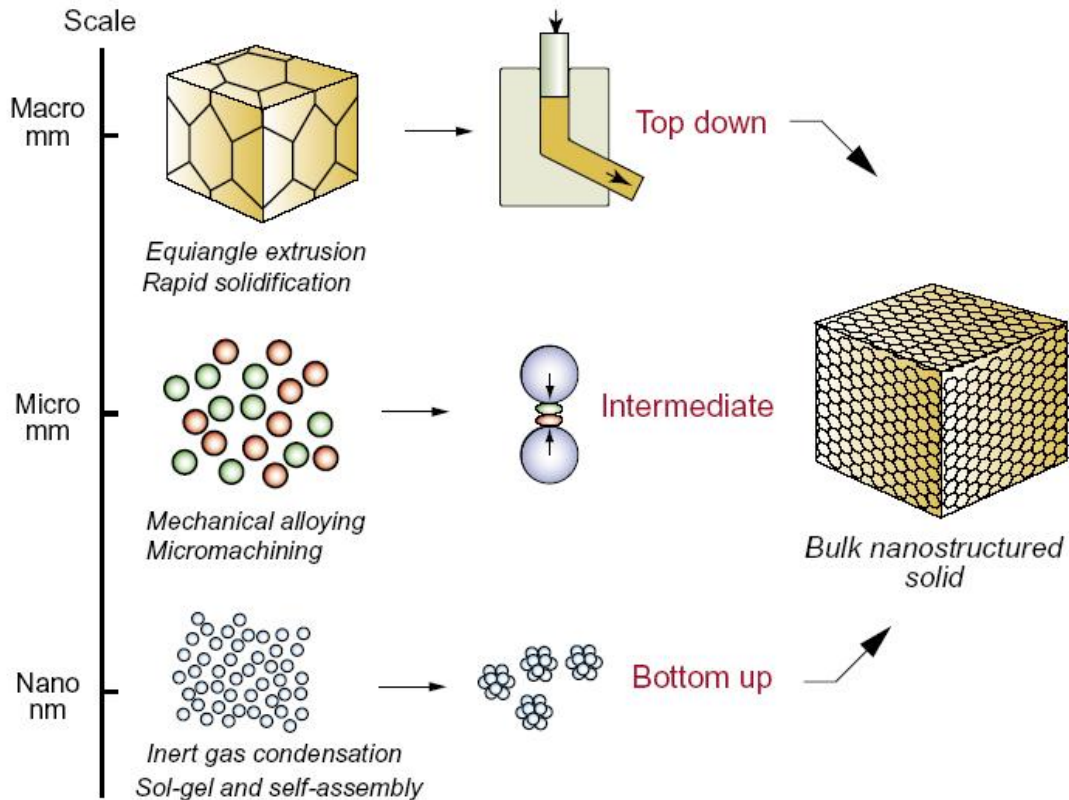
Παρομοίως, μπορεί να υπάρχουν μονοδιάστατες, δισδιάστατες και τρισδιάστατες με βάση τις διαστάσεις τους που βρίσκονται εντός της περιοχής νανομέτρων. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι σχεδιασμού νανοϋλικών. Με μια ευρύτερη έννοια, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως φυσικά, χημικά και βιολογικά. Τα νανοσωματίδια μπορούν να διαδραματίσουν καίριο ρόλο στην επίτευξη της βιομετατροπής των μικροβιακών ειδών, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή βιολογικών προϊόντων τα οποία εμπλουτίζουν το βιοκαύσιμο ως κύριο συστατικό. Η συγκεκριμένη επιλογή της

μεθόδου επηρεάζει ουσιαστικά την καθαρή επίδραση της βιομετατροπής και συνεπώς την απόδοση των βιοκαυσίμων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι μια μεγάλη ανακούφιση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ενεργειακής κρίσης. Δεν είναι μόνο οικονομικά αποδοτική αλλά είναι ευκολότερη και πιο αξιόπιστη (Mohapatra et al., 2011).

Σε σύγκριση με τα μεγάλης κλίμακας υλικά, τα νανοϋλικά λέγεται ότι έχουν μοναδικές οπτικές, ηλεκτρονικές, μαγνητικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες (Biswas et al., 2012). Τα νανοϋλικά αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό τομέα, λόγω της μοναδικής δομής τους, της υψηλής χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας, της σχετικά υψηλής ειδικής περιοχής και της συγκριτικά καλής απόδοσης φωτισμού και θέρμανσης (Serrano et al., 2009). Διαστασιακά, μπορούν να συγκριθούν με βιολογικά μακρομόρια όπως ένζυμα ή νουκλεϊνικά οξέα (Stark, 2011; Verma, 2013).

### **3.1.1 Παραγωγή και χαρακτηριστικά των νανοϋλικών:**

Είναι πρωταρχικής σημασίας η κατανόηση των μηχανισμών παραγωγής και των βασικών χαρακτηριστικών των νανοϋλικών πριν από τη χρήση τους για την ενίσχυση της παραγωγής βιοκαυσίμων. Τα νανοϋλικά βασικά περιλαμβάνουν μια ποικιλία ουσιών που κυμαίνονται από νανοσωματίδια, νανοσωλήνες, νανოსύνθετα υλικά, νανοκρυσταλλικά υλικά, νανοϋλικά με βάση το μέταλλο και νανοϋλικά με βάση τον άνθρακα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι παραγωγής νανοϋλικών. Ωστόσο, ένας από τους δύο κύριους τρόπους είναι η μέθοδος «top-down», όπου τα χυδην υλικά όπως ο χρυσός, το πυριτικό κλπ., διασπώνται σε υλικά μεγέθους νανοκλίμακας. Αυτή είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή αντηλιακών προϊόντων και ηλιακών κυψελών. Ο δεύτερος σε σειρά χρήσης τύπος μεθόδου είναι η προσέγγιση «bottom-up», όπου τα νανοσωματίδια συναρμολογούνται άτομο με άτομο ή μόριο με μόριο (Biswas et al., 2012). Η μεταγενέστερη προσέγγιση λέγεται ότι είναι πιο δύσκολη και δαπανηρή, αλλά έχει επίσης διαπιστωθεί ότι συμβάλλει αποτελεσματικά στους τομείς της ενεργειακής ανάπτυξης, των μεταφορών και των ηλεκτρονικών (Palaniappan, 2017).



Εικόνα 10 Αναπαράσταση μιας κλιμακούμενης μείωσης του μεγέθους των υλικών από μακροϋλικά σε νανοϋλικά και μέθοδοι παραγωγής νανοδομημένου στερεού υλικού

Οι άλλες μέθοδοι με τις οποίες μπορούν να παραχθούν νανοϋλικά περιλαμβάνουν τη μέθοδο κατανομής και θερμικής ανόπτησης, τη μέθοδο συν-κατακρήμνισης, την εκκένωση με τόξο, την αποκοπή με λέιζερ, την τεχνική εναπόθεσης χημικών ατμών, την ηλεκτροσυσσωμάτωση, την αυτοσυναρμολόγηση, τη μέθοδο διαχωρισμού φάσεων και τη μέθοδο θερμικής απολέπισης. Κάθε μια από αυτές τις μεθόδους παράγει διαφορετικά είδη νανοϋλικών (Palaniappan, 2017). Γενικά, τα νανοϋλικά, νανοσωματίδια ή νανοσωλήνες, παράγονται αρχικά ως ξηρές σκόνες είτε με φυσικές είτε με χημικές μεθόδους και στη συνέχεια διασκορπίζονται σε κατάλληλο υγρό χρησιμοποιώντας έντονη ανάδευση μαγνητικής δύναμης ή ανάμιξη με υψηλή διάτμηση ή υπερηχητική ανάδευση ή ομογενοποίηση και άλεση με μπάλα (Yu & Xie, 2012).

Τα βιοκαύσιμα αναφέρονται σε ολόκληρο το οργανικό υλικό που διαθέτει ενεργειακό δυναμικό. Περιλαμβάνει μια σειρά εξαιρετικά μεταβλητών πηγών, οι οποίες κυμαίνονται από ζωικά λίπη, γεωργικές καλλιέργειες, μικροάλη, μικροβιακή βιομάζα, τόσο σε ζωντανές όσο και σε νεκρές μορφές. Με το πρόβλημα της ενεργειακής κρίσης, τόσο τα αναπτυσσόμενα όσο και τα αναπτυσσόμενα έθνη έχουν επικεντρωθεί στην αξιοποίηση αυτής της πηγής ενέργειας, κάνοντας χρήση της τεχνολογίας της νανοτεχνολογίας. Τα στοιχεία αποδεικνύονται από το γεγονός ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει στοχεύσει στην αύξηση της κατανάλωσης βιοκαυσίμων ως πηγή ενέργειας στο 5,75% έως το 2010 και 20% έως το 2020. (Malik & Sangwan, 2012).

Οι υπάρχουσες βιολογικές πηγές είναι πολύπλοκες και πρέπει να μετατραπούν ή να τροποποιηθούν χημικά έτσι ώστε να είναι προσβάσιμες ως βιοκαύσιμα. Όπως αναφέρουν οι Malik & Sangwan, (2012), αυτό είναι και το εγγενές πρόβλημα σε όλες τις βιολογικές πηγές, καθώς η διαθέσιμη ενέργεια είναι δύσκολο να αξιοποιηθεί και αυτό αποτελεί μία από τις πιο δύσκολες προκλήσεις για τους σύγχρονους επιστήμονες. Το θέμα έχει δοκιμαστεί από βιοχημικούς, αλλά δυστυχώς χωρίς ουσιαστική σημαντική ανακάλυψη. Από αυτή την άποψη, οι επιστήμονες υλικών έχουν ρίξει τα καπέλα τους στον τομέα και έχουν αγγίξει την πρώτη ιστορική επιτυχία με τη χρήση νανοδομημένων υλικών.

Ως παράδειγμα, για την παραγωγή του βιοντίζελ, η πολύπλοκη βιομάζα γεωργικών και ζωικών πηγών πρέπει να τροποποιηθεί χημικά σε απλούστερες μορφές. Τα υλικά εκκίνησης είναι φυτά καλλιέργειας υψηλής απόδοσης λαδιού όπως οι ξυλώδεις καλλιέργειες με βάση το κραμβέλαιο και η λιγνοκυτταρίνη. Διαθέτουν φυτικά έλαια σε υψηλή απόδοση. Αυτές οι αλυσίδες λιπαρών οξέων είναι παρούσες ως τριγλυκερίδια, με τρεις αλυσίδες λιπαρών οξέων ενωμένες μεταξύ τους με μονάδες γλυκερίνης. Η άμεση χρήση αυτής της φόρμας είναι ενεργά μη εφικτή καθώς οδηγεί σε απόφραξη των κινητήρων ντίζελ από γλυκερίνη. Για να επιλυθεί αυτή η δυσκολία, τα τριγλυκερίδια πρέπει να μειωθούν σε μοναδικά ελεύθερα λιπαρά οξέα. Κάθε μόριο τριγλυκεριδίου δίνει τρία μόρια μεθυλεστέρα λιπαρού οξέος. Από αυτό το βιοντίζελ αποτελείται χημικά. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διεστεροποίηση (FAME). Το σημαντικότερο πρόβλημα αυτού του δυναμικού που δεν αξιοποιείται είναι η αντιμετώπιση της πολύπλοκης χημικής επεξεργασίας των τριγλυκεριδίων, η οποία μπορεί να ελαχιστοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων καταλυτών (Malik & Sangwan, 2012).

Λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση της παραγωγής βιοκαυσίμων από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα, το ίδιο πρόβλημα της αποτελεσματικής μετατροπής της βιομάζας σε βιοκαύσιμα παρουσιάζεται και εδώ. Η λιγνοκυτταρίνη, χημικά, ένα μείγμα κυτταρίνης και λιγνίνης, είναι δύσκολο να αποικοδομηθεί σε απλούστερες μορφές. Η νανοτεχνολογία επέτρεψε τον έλεγχο της χημείας σε μοριακό επίπεδο, επιτρέποντας την εξαιρετικά ειδική και στοχοθετημένη τροποποίηση των βιοκαταλυτών, η οποία μπορεί να επιτύχει τη σκληρή βιομετατροπή των βιοπροϊόντων σε βιοκαύσιμα με πολύ καλύτερο τρόπο. Η νανοτεχνολογία λοιπόν, παρέχει αξιόπιστες απαντήσεις στο πιθανό πρόβλημα του σχεδιασμού υλικών, της επεξεργασίας των διαδικασιών και της ελαχιστοποίησης των κινδύνων και των αποβλήτων. Παρόλο που βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, η νανοτεχνολογία παρουσιάζει πολύ συναρπαστικές παρεμβάσεις για την ενεργειακή παραγωγή της βιομάζας (Wegner & Jones, 2009).

### 3.2 Τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων από θαλάσσια φυτά

Υπό φυσικές συνθήκες ανάπτυξης, τα αυτότροφα φύκη απορροφούν το φως του ήλιου και αφομοιώνουν το διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα και τα θρεπτικά συστατικά από τα υδρόβια περιβάλλοντα. Επομένως, για την επίτευξη της τεχνητής παραγωγής θα πρέπει να γίνουν προσπάθειες ώστε να αναπαραχθούν και να ενισχυθούν οι βέλτιστες φυσικές συνθήκες ανάπτυξης (Brennan & Owende, 2010).

Η δημιουργία φυσικών συνθηκών για την παραγωγή φυκών για εμπορική χρήση, έχει το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιεί το ηλιακό φως ως ελεύθερο φυσικό πόρο (Janssen et al., 2003). Ωστόσο, αυτό μπορεί να περιορίζεται από βασικούς παράγοντες όπως οι ημερήσιοι κύκλοι και οι εποχικές αλλαγές, περιορίζοντας έτσι τη βιωσιμότητα της εμπορικής παραγωγής σε περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Για τα υπαίθρια συστήματα παραγωγής φυκών, το φως είναι γενικά ο περιοριστικός παράγοντας (Pulz & Scheinbenbogan, 1998). Για την αντιμετώπιση των περιορισμών στις φυσικές συνθήκες ανάπτυξης με το ηλιακό φως, τα τεχνητά μέσα που χρησιμοποιούν λαμπτήρες φθορισμού, χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την καλλιέργεια φωτοτροφικών φυκών σε στάδια πειραματικής κλίμακας (Muller-Feuga et al., 1998).

Ο τεχνητός φωτισμός επιτρέπει τη συνεχή παραγωγή, αλλά με σημαντικά υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Συχνά, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τον τεχνητό φωτισμό προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, αναιρώντας έτσι τον πρωταρχικό στόχο της ανάπτυξης ενός ανταγωνιστικού, από πλευράς τιμών, καυσίμου και της αύξησης του αποτυπώματος άνθρακα των συστημάτων. Για την επιλογή μιας τεχνητής πηγής φωτός, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τα φάσματα απορρόφησης των μεγάλων χρωστικών ουσιών των φυκών, που υπάρχουν σε διάφορες ποσότητες σε διαφορετικές ομάδες φυκών (Brennan & Owende, 2010).

Τα μικροφύκη έχουν ερευνηθεί για την παραγωγή διαφόρων βιοκαυσίμων, όπως το βιοντίζελ, το βιοαέριο και το βιο-υδρογόνο. Η παραγωγή αυτών των βιοκαυσίμων μπορεί να συνδυαστεί με την άμβλυση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, την επεξεργασία λυμάτων και την παραγωγή χημικών υψηλής αξίας. Σύμφωνα με τους Li et al., (2008), οι εξελίξεις γύρω από το θέμα της καλλιέργειας των μικροφυκών και της μεταγενέστερης επεξεργασίας τους όπως η συγκομιδή, η ξήρανση και η θερμοχημική επεξεργασία, αναμένεται να ενισχύσουν περαιτέρω την αποτελεσματικότητα των βιοκαυσίμων σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Όπως αναφέρουν οι Sheedan et al. (1998) οι θαλάσσιες μικροάλγες θεωρούνται από τις πιο ελπιδοφόρες εναλλακτικές πηγές βιοντίζελ. Δεδομένου ότι αυτό το είδος χλωρίδας μπορεί να καλλιεργηθεί σε μη βιώσιμες εκτάσεις γης και σε αλατούχο υδάτινο περιβάλλον, η μαζική τους καλλιέργεια δεν προκαλεί ανησυχίες στην παραγωγή τροφίμων (Widjaja et al, 2009). Ο μηχανισμός

φωτοσύνθεσης των αλγών είναι παρόμοιος με αυτόν των ανώτερων φυτών, είναι γενικά πιο αποδοτικοί μετατροπείς της ηλιακής ενέργειας λόγω της απλής κυτταρικής δομής τους. Επιπλέον, εξαιτίας του ότι τα κύτταρα αναπτύσσονται σε υδατικό εναιώρημα, έχουν πιο αποτελεσματική πρόσβαση στο νερό, στο CO<sub>2</sub> και άλλα θρεπτικά συστατικά. Για τους λόγους αυτούς, οι μικροάλγες είναι ικανές να παράγουν 30 φορές την ποσότητα ελαίου ανά μονάδα επιφάνειας γης, σε σύγκριση με τις συμβατικές καλλιέργειες (Sheedan et al. 1998).

Οι διαδικασίες παραγωγής των αλγών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες ρυθμίσεων ανάπτυξης βασισμένες στην πηγή ενέργειας και τον τρόπο χρήσης και περιλαμβάνουν (Juneja et al. 2013):

- την φωτοαυτοτροφική ανάπτυξη με αυτοτροφική φωτοσύνθεση,
- την ετερότροφη ανάπτυξη, η οποία απαιτεί οργανικές ουσίες όπως η γλυκόζη για την τόνωση της ανάπτυξης και,
- την μικτή τροφική ανάπτυξη καθώς ορισμένα στελέχη φυκών μπορούν να συνδυάσουν την αυτοτροφική φωτοσύνθεση και την ετεροτροφική αφομοίωση των οργανικών ενώσεων σε μία ανατομική διαδικασία.

Οι θαλάσσιες μικροάλγες αποτελούν μια μεγάλη και ποικίλη ομάδα απλών, τυπικά αυτοτροφικών οργανισμών, που κυμαίνονται από μονοκύτταρες έως πολυκύτταρες μορφές. Η μονοκυτταρική και η πολυκυτταρική δομή τους, τους επιτρέπει να μετατρέπουν εύκολα την ηλιακή ενέργεια στη χημική ενέργεια. Έχουν αναπτυχθεί όλο και περισσότερες μελέτες για τη διερεύνηση των τεχνικών και των διαδικασιών παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας μικροφυκών (Spolaore et al, 2006). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την καλλιέργεια μικροφυκών είναι δύο.

### 3.3 Φωτοαυτοτροφική παραγωγή

Επί του παρόντος, η φωτοαυτοτροφική παραγωγή φυκών είναι η μοναδική μέθοδος η οποία είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή για την παραγωγή βιομάζας μεγάλης κλίμακας για μη ενεργειακή παραγωγή. Δύο συστήματα που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται σε συστήματα ανοιχτά λιμνών και κλειστών φωτοβιοαντιδραστήρων (Borowitzka, 1999). Η τεχνική βιωσιμότητα κάθε συστήματος επηρεάζεται από τις εγγενείς ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου στελέχους άλγης που χρησιμοποιείται, καθώς και από τις κλιματικές συνθήκες και το κόστος της γης και του νερού (Borowitzka, 1992).

### 3.3.1 Σύστημα παραγωγής ανοιχτής λίμνης

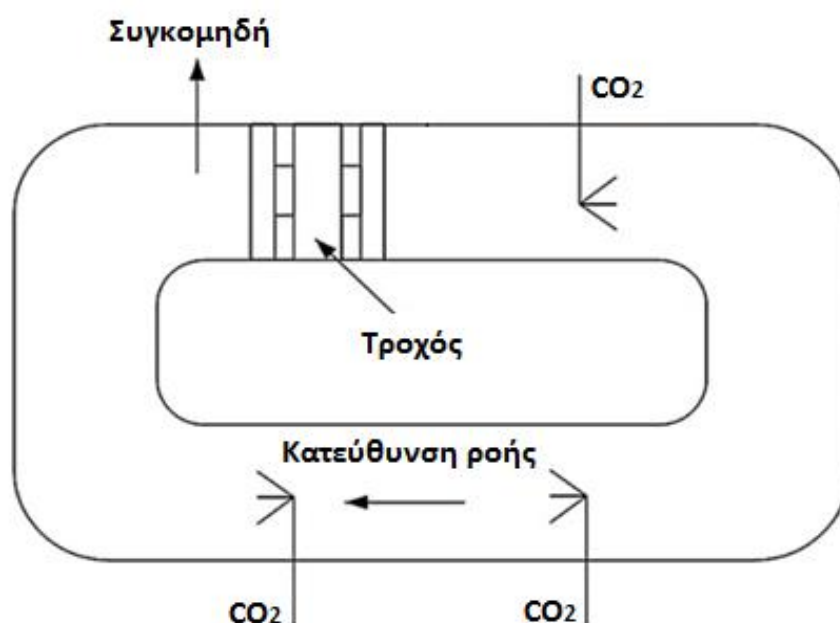
Η πρώτη τεχνική καλλιέργειας είναι το ανοικτό σύστημα τύπου ανοικτής λίμνης, το οποίο μπορεί να αποτελείται από φυσικές λίμνες, τεχνητές λίμνες, αυλακοειδείς τεχνητές λίμνες και κεκλιμένα συστήματα. Σύμφωνα με τον Borowitzka, (1999), η χρήση της καλλιέργειας των φυκών σε ανοικτά συστήματα παραγωγής λιμνών ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε φυσικά νερά (λίμνες, λιμνοθάλασσες και λίμνες) και τεχνητές λίμνες ή δοχεία. Οι λιμνοδεξαμενές είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο τεχνητό σύστημα (Jimenez et al., 2003). Συνήθως κατασκευάζονται από κανάλια επανακυκλοφορίας κλειστού βρόγχου βάθους 0,20 -0,50m, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα, με ανάμιξη και κυκλοφορία του νερού, η οποία απαιτείται για τη σταθεροποίηση της ανάπτυξης των φυκών και την παραγωγικότητά τους. Το υλικό κατασκευής τους είναι συνήθως το σκυρόδεμα, αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί και συμπιεσμένες γειωμένες λίμνες με λευκό πλαστικό.



Εικόνα 11 Δεξαμενή ανοιχτού τύπου καλλιέργειας μικροφυκών

Σε έναν συνεχή κύκλο παραγωγής, το μίγμα των φυκών και των θρεπτικών συστατικών εισάγονται μπροστά από τον τροχό και μεταφέρονται μέσω του βρόχου στο σημείο εξαγωγής της συγκομιδής. Ο οδοντωτός τροχός είναι σε συνεχή λειτουργία για την αποφυγή καθίζησης. Η απαίτηση των μικροφυκών σε CO<sub>2</sub> ικανοποιείται συνήθως από τον επιφανειακό αέρα, αλλά μπορούν να εγκατασταθούν βυθισμένοι αεριστήρες για την αύξηση της απορρόφησης του CO<sub>2</sub> (Terry & Raymond, 1985).

Η εγκατάσταση ανοικτής λίμνης αποτελεί τη φθηνότερη μέθοδο παραγωγής μεγάλης κλίμακας βιομάζας φυκών. Η ανοιχτή παραγωγή λιμνών δεν ανταγωνίζεται απαραίτητα εκτάσεις γης σε σχέση με τις υπάρχουσες γεωργικές καλλιέργειες, δεδομένου ότι μπορούν να υλοποιηθούν σε περιοχές με οριακό δυναμικό παραγωγής φυτών (Chisti, 2008). Έχουν επίσης χαμηλότερη απαίτηση σε ενέργεια και η τακτική συντήρηση και ο καθαρισμός είναι ευκολότερα και συνεπώς μπορεί να έχει τη δυνατότητα να επιστρέψει μεγαλύτερη παραγωγή καθαρής ενέργειας (Ugwu et al., 1998; Rodolfi et al., 2008). Το 2008, το μοναδιαίο κόστος παραγωγής του *Dunaliella salina*, το οποίο αποτελεί ένα από τα κοινά καλλιεργημένα στελέχη φυκών σε ένα ανοιχτό σύστημα λιμνών, ήταν περίπου 2,55€ /kgρ ξηρής βιομάζας, το οποίο θεωρήθηκε υπερβολικά υψηλό για να δικαιολογήσει την παραγωγή βιοκαυσίμων (Brennan & Owende, 2010).



Εικόνα 12 Σχεδιάγραμμα συστήματος ανοικτής λίμνης

Τα ανοικτά συστήματα λιμνών απαιτούν εξαιρετικά επιλεκτικό περιβάλλον λόγω της εγγενούς απειλής μόλυνσης και ρύπανσης από άλλα είδη φυκών και πρωτόζωων (Pulz & Scheinbenbogan, 1998). Η ανάπτυξη μονοκαλλιέργειας είναι δυνατή μέσω της διατήρησης ενός ακραίου περιβάλλοντος καλλιέργειας, αν και μόνο ελάχιστα είδη φυκών είναι κατάλληλα για την ανάπτυξη των μονοκαλλιεργειών. Για παράδειγμα, τα είδη όπως η *Chlorella* (προσαρμόσιμη σε πλούσια σε θρεπτικά συστατικά μέσα), η *Dunaliella salina* (προσαρμόσιμη σε πολύ υψηλή αλατότητα) και η *Spirulina* (προσαρμόσιμη σε υψηλή αλκαλικότητα) αναπτύσσονται κάτω από τέτοια ακραία περιβάλλοντα (Borowitzka, 1999).

Όσον αφορά την παραγωγικότητα της βιομάζας, τα ανοικτά συστήματα λίμνης είναι λιγότερο αποτελεσματικά σε σύγκριση με άλλα συστήματα όπως οι κλειστοί φωτοβιοαντιδραστήρες (Chisti,



2007). Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους καθοριστικούς παράγοντες όπως οι απώλειες εξάτμισης, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στα μέσα ανάπτυξης, η έλλειψη CO<sub>2</sub>, η αναποτελεσματική ανάμιξη και ο περιορισμός του φωτισμού. Αν και οι απώλειες εξάτμισης συμβάλλουν καθαρά στην ψύξη, μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές της ιοντικής σύνθεσης του μέσου ανάπτυξης με αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυκών (Pulz, 2001). Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας λόγω ημερήσιων κύκλων και εποχιακών μεταβολών είναι δύσκολο να ελεγχθούν σε ανοικτές λίμνες (Chisti, 2007).

Παράγοντες που ενδέχεται να οδηγούν στην μειωμένη παραγωγικότητα βιομάζας είναι:

- Οι πιθανές ελλείψεις CO<sub>2</sub> που οφείλονται στη διάχυση στην ατμόσφαιρα.
- Η ανεπαρκής ανάμιξη με αναποτελεσματικούς μηχανισμούς ανάδευσης που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλές μάζες των ποσοστών μεταφοράς CO<sub>2</sub> (Ugwu et al., 1998).
- Ο περιορισμός του φωτός λόγω του πάχους του άνω στρώματος

Εντούτοις, η αύξηση της παροχής φωτός είναι δυνατή με τη μείωση του πάχους της στιβάδας, με τη χρήση κεκλιμένων τύπων συστημάτων καλλιέργειας λεπτού στρώματος και η βελτιωμένη ανάμιξη μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις για την αύξηση της παραγωγικότητας της βιομάζας (Ugwu et al., 1998; Chisti, 2007; Pulz, 2001).

Τα συστήματα ανοικτών λιμνών παρέχουν μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως ο απλός σχεδιασμός, το χαμηλό κόστος κατασκευής και η υψηλή παραγωγική ικανότητα. Παρόλα αυτά ενέχουν και κάποια βασικά μειονεκτήματα όπως ο περιορισμός στον έλεγχο των μολύνσεων από τους θηρευτές (ψάρια και μικροοργανισμοί) και οι καιρικές συνθήκες (Kim & Lee, 2015).

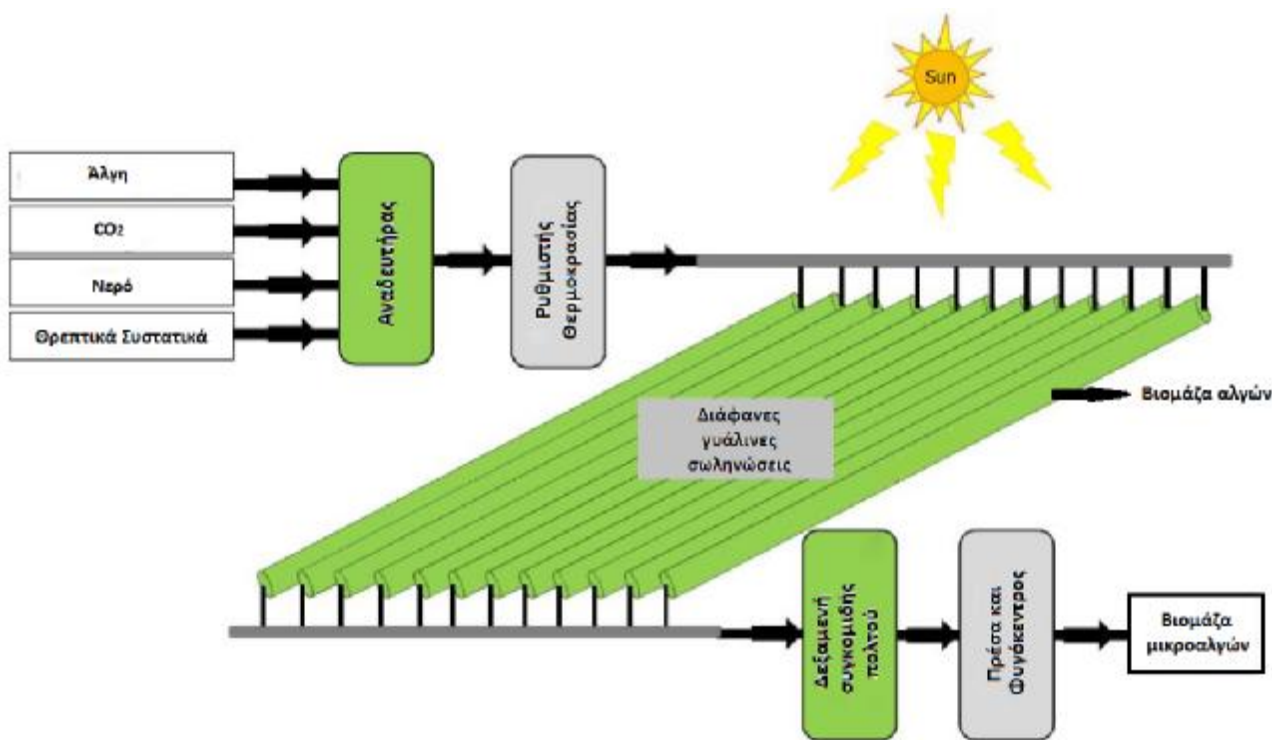
Αν και τα ανοιχτά συστήματα απαιτούν χαμηλές εισροές ενέργειας και χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, πολλά ζητήματα όπως η μόλυνση (δηλαδή από ανεπιθύμητα είδη φυκιών καθώς και ιικά, βακτηριακά και μυκητιακά παθογόνα) και οι χαμηλές τελικές συγκεντρώσεις βιομάζας (συχνά λιγότερο από 1,0 g/l) αυξάνουν το κόστος παραγωγής σε επίπεδα που εξακολουθούν να είναι οικονομικά μη βιώσιμα για την παραγωγή βιοκαυσίμων μεγάλης κλίμακας (Brennan & Owende, 2010).

### 3.3.2 Κλειστό σύστημα παραγωγής

Το κλειστό σύστημα φωτοβιοαντιδραστήρων, ενσωματώνει τύπους πηγών φωτός ώστε να παρέχεται η απαραίτητη φωτονική ενέργεια στον αντιδραστήρα. Επίσης τα συστήματα αυτά παρέχουν ένα εύκολα ελεγχόμενο περιβάλλον, τόσο για τα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται για

την ανάπτυξη των καλλιεργειών όσο και για τις παραμέτρους καλλιέργειας όπως η θερμοκρασία, το διαλυμένο CO<sub>2</sub> και το pH και την πρόληψη της μόλυνσης (Ugwu et al, 2008).

Η παραγωγή μικροφυκών βασιζόμενη στην τεχνολογία κλειστών φωτοβιοαντιδραστήρων έχει σχεδιαστεί για να ξεπεράσει μερικά από τα μείζονα προβλήματα που σχετίζονται με τα ανοικτά συστήματα παραγωγής λιμνών. Για παράδειγμα, οι κίνδυνοι ρύπανσης και μόλυνσης στα ανοικτά συστήματα λιμνών εμποδίζουν, ως επί το πλείστον, τη χρήση τους για την παρασκευή προϊόντων υψηλής αξίας για χρήση στη φαρμακευτική και την καλλυντική βιομηχανία (Pulz & Scheinbenbogan, 1998). Επίσης, σε αντίθεση με την παραγωγή σε ανοικτά συστήματα λιμνών, οι φωτοβιοαντιδραστήρες επιτρέπουν την καλλιέργεια ενός μόνο είδους μικροφυκών για παρατεταμένης διάρκειας περίοδο με μικρότερο κίνδυνο μόλυνσης των φυκών (Chisti, 2007). Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη ενός κλειστού συστήματος.



Εικόνα 13 Σχεδιάγραμμα διάταξης κλειστού συστήματος φωτοαντιδραστήρα

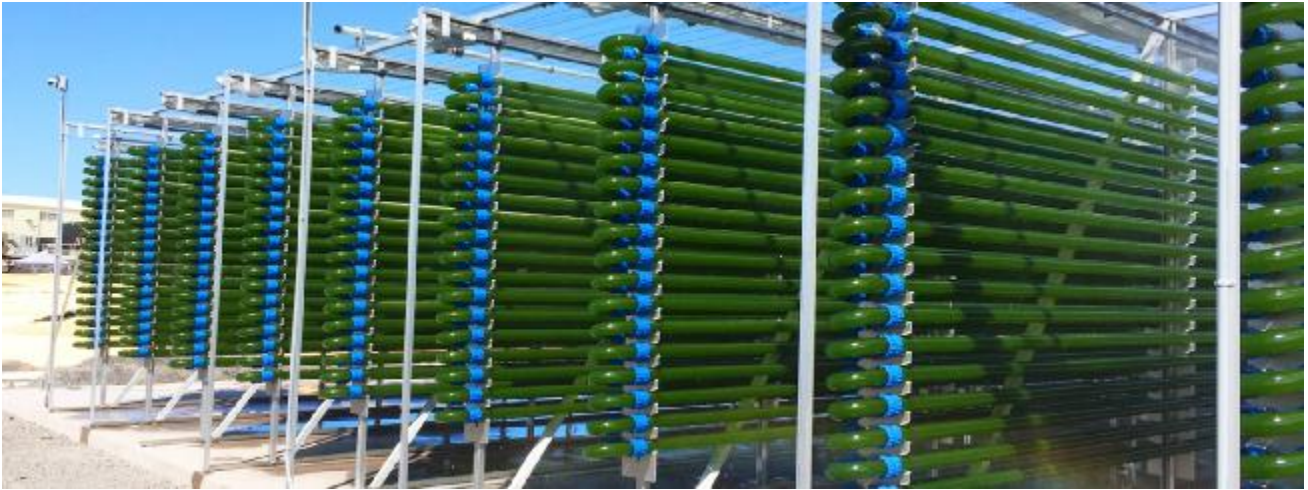
Μια τυπική διάταξη αποτελείται από έναν αναδευτήρα για την ομογενοποίηση των συστατικών που εισάγονται στην διάταξη. Στην συνέχεια μέσω του ρυθμιστή θερμοκρασίας το μίγμα εισέρχεται στις σωληνοειδής δεξαμενές, όπου το γυάλινο υλικό τους επιτρέπει την άμεση επαφή του μίγματος αλγών με τις ακτίνες του ηλίου. Με αυτό τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των οργανισμών που καλλιεργούνται.

Τα κλειστά συστήματα μπορούν να περιλαμβάνουν σωληνοειδείς ή επίπεδες πλάκες. Αυτά τα συστήματα είναι πιο κατάλληλα για ευαίσθητα στελέχη καθώς η κλειστή διαμόρφωση διευκολύνει τον έλεγχο κάθε πιθανής μόλυνσης. Λόγω της υψηλότερης παραγωγικότητας της κυτταρικής μάζας, το κόστος συγκομιδής μπορεί επίσης να μειωθεί σημαντικά. Ωστόσο, το κόστος των κλειστών συστημάτων είναι σημαντικά υψηλότερο από τα ανοικτά συστήματα λιμνών (Carvalho et al., 2006).

Οι φωτοβιοαντιδραστήρες μπορούν να είναι κατασκευασμένοι από διαφανές γυαλί ή πλαστικό ώστε να επιτρέπεται η φωτοσύνθεση των οργανισμών (Pulz & Scheinbenbogan, 1998). Η σωληνοειδής συστοιχία που εκτίθεται στο ηλιακό φως μπορεί να ευθυγραμμιστεί οριζόντια, κατακόρυφα, κεκλιμένα ή ακόμα και σε ελικοειδής μορφή, ενώ οι σωλήνες είναι γενικά διαμέτρου 0,1 m ή μικρότερης (Molina et al., 2001; Sanchez-Miron et al., 1999; Ugwu et al., 2002; Watanabe & Saiki, 1997; Chisti, 2007). Οι καλλιέργειες αλγών ανακυκλώνονται είτε με μηχανική αντλία είτε με σύστημα airlift ώστε να επιτρέπεται η ανταλλαγή των CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> μεταξύ του υγρού μέσου και του αερίου αερισμού καθώς και την παροχή ενός μηχανισμού ανάμιξης (Eriksen, 2008). Η ανάδευση και η ανάμιξη είναι πολύ σημαντικές για την ενθάρρυνση της ανταλλαγής αερίων στους σωλήνες.

Μερικές από τις πρώτες μορφές των κλειστών συστημάτων είναι οι επίπεδες πλάκες φωτοβιοαντιδραστήρες οι οποίες έχουν λάβει μεγάλη προσοχή από τους επιστήμονες του κλάδου λόγω της μεγάλης έκτασης επιφάνειας που εκτίθεται στον φωτισμό ενώ παρατηρούνται υψηλές πυκνότητες φωτοαυτοτροφικών κυττάρων (>80g/l) (Samson & Leduy, 1985; Pulz & Scheinbenbogan, 1998). Οι αντιδραστήρες είναι κατασκευασμένοι από διαφανή υλικά για μέγιστη δέσμευση της ηλιακής ενέργειας και ένα λεπτό στρώμα πυκνών καλλιεργειών διασχίζει την επίπεδη πλάκα, η οποία επιτρέπει την απορρόφηση της ακτινοβολίας στο πάχος των πρώτων χιλιοστών (Hu et al., 1998; Richmond et al., 2003). Οι επίπεδες πλάκες φωτοβιοαντιδραστήρων είναι κατάλληλες για μαζικές καλλιέργειες αλγών λόγω της χαμηλής συσσώρευσης διαλυμένου οξυγόνου και της υψηλής φωτοσυνθετικής απόδοσης που επιτυγχάνεται σε σύγκριση με τους σωληνοειδείς τύπους (Richmond, 2000).

Οι σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες έχουν περιορισμούς στον σχεδιασμό όπως το μήκος των σωλήνων, ο οποίος εξαρτάται από την πιθανή συσσώρευση O<sub>2</sub>, την εξάντληση του CO<sub>2</sub> και τη διακύμανση του pH στα συστήματα (Eriksen, 2008). Επομένως, δεν μπορούν να κλιμακωθούν επ'αόριστον. Ως εκ τούτου, μεγάλης κλίμακας μονάδες παραγωγής βασίζονται στην ενσωμάτωση πολλαπλών μονάδων αντιδραστήρων. Ωστόσο, οι σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες θεωρούνται πιο κατάλληλοι για υπαίθριες μαζικές καλλιέργειες δεδομένου ότι εκθέτουν μια μεγαλύτερη επιφάνεια στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι μεγαλύτεροι κλειστοί φωτοβιοαντιδραστήρες είναι σωληνοειδείς, όπως για παράδειγμα η μονάδα έκτασης 25 m<sup>3</sup> στη Mera Pharmaceuticals της Χαβάης και η μονάδα έκτασης 700 m<sup>3</sup> στο Kloetze, Γερμανία (Olaizola, 2000; Pulz, 2001).



Εικόνα 14 Διάταξη φωτοβιοαντιδραστήρων σε οριζόντια συστοιχία

Οι φωτοβιοαντιδραστήρες στήλης προσφέρουν την αποδοτικότερη ανάμιξη, τις υψηλότερες ογκομετρικές ταχύτητες μεταφοράς και τις καλύτερα ελεγχόμενες συνθήκες ανάπτυξης. Είναι χαμηλού κόστους, συμπαγής και εύκολοι στη χρήση. Οι κατακόρυφες στήλες αερίζονται από τον πυθμένα και φωτίζονται μέσω διαφανών τοιχωμάτων ή εσωτερικά ((Eriksen, 2008; Suh & Lee, 2003). Η απόδοσή τους συγκρίνεται ευνοϊκά με τους σωληνοειδείς φωτοβιοαντιδραστήρες (Sanchez-Miron et al., 2002).



Εικόνα 15 Φωτοβιοαντιδραστήρες στήλης

Οι κλειστοί φωτοβιοαντιδραστήρες έχουν λάβει σημαντική ερευνητική προσοχή τα τελευταία χρόνια. Η αύξηση της παραγωγής πειραματικής κλίμακας, με χρήση κλειστών φωτοβιοαντιδραστήρων σε σύγκριση με τις ανοιχτές δεξαμενές λιμνών, θα μπορούσε να αποδοθεί στον πιο αυστηρό έλεγχο της διαδικασίας και σε δυνητικά υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής βιομάζας, με αποτέλεσμα την

πιθανή αύξηση της παραγωγής βιοκαυσίμων και των συμπαραγωγών τους (Brennan & Owende, 2010).

Οι φωτοβιοαντιδραστήρες, σε διαφορετικές διαμορφώσεις έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων μόλυνσης που σχετίζονται με ανοικτά συστήματα διαδρόμων. Τα κλειστά αυτά συστήματα επιτρέπουν επίσης τον αυστηρότερο έλεγχο των συνθηκών ανάπτυξης και της συγκομιδής (Nakas et al., 1983). Εντούτοις, απαιτούν συχνά εκτεταμένες κεφαλαιακές επενδύσεις σε σχέση με του ανοικτού τύπου συστημάτων και επομένως αντιμετωπίζουν παρόμοιες προκλήσεις εμπορευματοποίησης, καθώς απαιτούν εξειδικευμένες κατασκευές για την καλλιέργεια των μικροαλγών. Συνεπώς, ο σωστός σχεδιασμός μιας εγκατάστασης παραγωγής μικροαλγών, αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα που μπορεί να συμβάλει άμεσα στην βέλτιστη παραγωγή ενός συγκεκριμένου είδους μικροαλγών. Μέθοδοι όπως η κροκίδωση, η φυγοκέντρηση και η διήθηση χρησιμοποιούνται χωρίς να απαιτείται η αφαίρεση του νερού από την βιομάζα των αλγών (Heasman et al. 2000; Knuckey et al. 2006).

### 3.4 Ετεροτροφική παραγωγή

Η ετεροτροφική παραγωγή χρησιμοποιήθηκε επίσης επιτυχώς για τη βιομάζα των φυκών και τους μεταβολίτες (Suh & Lee, 2003; Sanchez-Miron et al., 2002). Σε αυτή τη διαδικασία τα μικροφύκη αναπτύσσονται σε υποστρώματα οργανικού άνθρακα, όπως η γλυκόζη, σε αναδευόμενους βιοαντιδραστήρες δεξαμενών ή ζυμωτές. Η ανάπτυξη των αλγών είναι ανεξάρτητη από την ενέργεια του φωτός, γεγονός που επιτρέπει πολύ πιο απλές δυνατότητες κλιμάκωσης καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερη αναλογία επιφάνειας/όγκου του αντιδραστήρα (Eriksen, 2008). Τα συστήματα αυτά παρέχουν υψηλό βαθμό ελέγχου της ανάπτυξης και επίσης χαμηλότερο κόστος συγκομιδής εξαιτίας των υψηλότερων κυτταρικών πυκνοτήτων που επιτυγχάνονται (Chen & Chen, 2006). Το κόστος εγκατάστασης είναι ελάχιστο, αν και το σύστημα χρησιμοποιεί περισσότερη ενέργεια από την παραγωγή φωτοσυνθετικών μικροφυκών επειδή ο κύκλος της διαδικασίας περιλαμβάνει την αρχική παραγωγή πηγών οργανικού άνθρακα μέσω της διαδικασίας φωτοσύνθεσης (Chisti, 2007).

Οι Li et al. (2007), σκιαγράφησαν τη σκοπιμότητα παραγωγής μεγάλης κλίμακας βιοντίζελ με βάση την ετεροτροφική καλλιέργεια του *Chlorella Protothecoides*. Άλλες μελέτες υποδεικνύουν επίσης υψηλότερη τεχνική βιωσιμότητα της ετεροτροφικής παραγωγής σε σύγκριση με τις φωτοαυτοτροφικές μεθόδους, είτε σε ανοικτές λίμνες είτε σε κλειστούς φωτοβιοαντιδραστήρες. Οι Miao και Wu (2006) μελέτησαν επίσης το *Chlorella Protothecoides* και διαπίστωσαν ότι η περιεκτικότητα σε λιπίδια στα ετερότροφα κύτταρα θα μπορούσε να φθάσει το 55%, το οποίο ήταν 4 φορές υψηλότερο από αυτό των αυτοτροφικών κυττάρων στο 15% υπό παρόμοιες συνθήκες. Ως εκ

τούτου, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ετεροτροφική καλλιέργεια θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλότερη παραγωγή βιομάζας και συσσώρευση υψηλής περιεκτικότητας λιπιδίων στα κύτταρα.

### 3.5 Μικτοτροφική παραγωγή

Πολλοί οργανισμοί φυκών είναι ικανοί να χρησιμοποιούν και τις δύο διαδικασίες μεταβολισμού (αυτοτροφική είτε ετερότροφη) για την ανάπτυξη, πράγμα που σημαίνει ότι είναι σε θέση να φωτοσυνθέτουν καθώς και να καταπίνουν θήρα ή οργανικά υλικά (Graham et al., 2009; Zhang et al., 1999). Η ικανότητα των μικτοτροφικών οργανισμών να επεξεργάζονται οργανική ύλη σημαίνει ότι η κυτταρική ανάπτυξη δεν εξαρτάται αυστηρά από τη φωτοσύνθεση, επομένως η ενέργεια του φωτός δεν είναι ένας απολύτως περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη καθώς είτε το φως είτε ο οργανικός άνθρακας μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη (Andrade & Costa, 2007; Chen et al., 1996).

Παραδείγματα μικροφυκών που εμφανίζουν διεργασίες μικτοτροφικού μεταβολισμού για την ανάπτυξη τους, είναι τα κυανοβακτήρια *Spirulina Platensis* και το πράσινο φύκι *Chlamydomonas Reinhardtii* (Chen et al., 1996). Ο φωτοσυνθετικός μεταβολισμός χρησιμοποιεί το φως για την ανάπτυξη, ενώ η αερόβια αναπνοή χρησιμοποιεί μια πηγή οργανικού άνθρακα (Zhang et al, 2009). Η ανάπτυξη επηρεάζεται από το συμπλήρωμα των μέσων με τη γλυκόζη κατά τη διάρκεια των φωτινών και σκοτεινών φάσεων, συνεπώς υπάρχει λιγότερη απώλεια βιομάζας κατά τις χρονικές περιόδους με ελάχιστο ή καθόλου φως (Andrade & Costa, 2007).

### 3.6 Περιορισμοί στην παρασκευή και στην απόδοση της βιομάζας φυκών

Διαφορετικά σχήματα παραγωγής που περιλαμβάνουν συνδυασμούς διαφορετικών ρυθμών ανάπτυξης σε διάφορες διαμορφώσεις αντιδραστήρων έχουν προταθεί σε μία προσπάθεια μεγιστοποίησης της παραγωγικότητας των βιοκαυσίμων. Τα υποστρώματα για την παραγωγή πρώτων υλών από φυτά μπορούν να κυμαίνονται από βιομηχανικά απόβλητα και αστικά λύματα σε συνθετικά μέσα που αποτελούνται από σάκχαρα από μελάσα, άμυλο ή λιγνοκυτταρινική τροφοδοσία, ανάλογα με το ρυθμό ανάπτυξης και τη διαμόρφωση του βιοαντιδραστήρα (Juneja et al. 2013).

Είτε σε ανοικτές λίμνες είτε σε κλειστούς φωτοβιοαντιδραστήρες, η καλλιέργεια φυκών απαιτεί την εξέταση πολυάριθμων περιβαλλοντικών συνθηκών. Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το φως, το pH και τα θρεπτικά συστατικά δεν επηρεάζουν μόνο τη φωτοσύνθεση και τον ρυθμό ανάπτυξης των φυκών, αλλά επηρεάζουν επίσης τη δραστηριότητα του κυτταρικού μεταβολισμού και της σύνθεσης. Αυτές οι επιδράσεις έχουν εντοπιστεί μεμονωμένα από διάφορους ερευνητές όπως οι Morris et al. (1974), οι Sukenik et al. (1989), οι Thompson et al. (1992), οι Chen

& Durbin (1994), οι Kilham et al. (1997) και οι Gordillo et al. (1998), ωστόσο δεν υπάρχει διαθέσιμη ενοποιημένη επισκόπηση των επιπτώσεων αυτών των παραγόντων στα φύκη. Οι περισσότερες από τις πρόσφατες αναθεωρήσεις όπως οι Brennan & Owende, (2010) και οι Singh & Gu, (2010), επικεντρώθηκαν στις τεχνικές παραγωγής και επεξεργασίας με λίγα στοιχεία σχετικά με τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών και θρεπτικών παραγόντων στους ρυθμούς ανάπτυξης των φυκών.

Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυκών και τις ευρύτερες μεταβολικές λειτουργίες (όχι μόνο την επαγωγή λιπιδίων) είναι κρίσιμη για την επιτυχή κλιμάκωση των καλλιεργειών των φυκών σε εμπορικά συστήματα για την παραγωγή βιολογικών καυσίμων και βιοπαραγωγών φυκών. Αυτή η αναθεώρηση αντιμετωπίζει άμεσα αυτό το ζήτημα εστιάζοντας στις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών και θρεπτικών παραγόντων στη βιοχημεία των φυκών που σχετίζονται ειδικά με τις διεργασίες παραγωγής βιοκαυσίμων (Juneja et al. 2013).

Η βιοτεχνολογία των μικροαλγών έχει αναπτυχθεί για διάφορες εμπορικές εφαρμογές. Ως φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, οι μικροάλγεις περιέχουν χλωροφύλλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τρόφιμα και καλλυντικά (Spolaore et al., 2006). Όπως αναφέρουν οι Varfolomeev & Wasserman, (2011), οι μικροάλγεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φαρμακευτικές βιομηχανίες, καθώς ορισμένα είδη μικροαλγών παράγουν βιοδραστικές ενώσεις όπως αντιοξειδωτικά, αντιβιοτικά και τοξίνες.

Εκτός αυτού, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται ως συμπληρώματα θρεπτικών ουσιών για κατανάλωση από τον άνθρωπο λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες, βιταμίνες και πολυσακχαρίτες (Doughman et al. 2007). Ορισμένα είδη μικροφυκών περιέχουν υψηλά επίπεδα λιπιδίων που μπορούν να εξαχθούν και να μετατραπούν σε βιοκαύσιμα.

### 3.7 Μέθοδοι επεξεργασίας αλγών

Τα κλάσματα των λιπιδίων και του αμύλου των φυκών μπορούν να μεταποιηθούν σε ανανεώσιμα καύσιμα με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας, όπως:

- Η πυρόλυση (Du et al., 2011).
- Η θερμοχημική υγροποίηση (Zou et al., 2009).
- Η ζύμωση (Ueno et al., 1998).
- Η διεστεροποίηση (Sharma & Singh, 2009).

Οι περισσότερες θερμοχημικές μέθοδοι μετατροπής όπως η άμεση καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση απαιτούν βιομάζα χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία. Αυτό αποτελεί πρόκληση λόγω των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων για την ξήρανση των πρώτων υλών των φυκών (Juneja et al. 2013).

Ωστόσο, η υδροθερμική διαδικασία υγροποίησης μπορεί να χρησιμοποιήσει υγρή ιλύ για την παραγωγή φυκιών μειώνοντας έτσι το κόστος που σχετίζεται με την ξήρανση (Goyal et al., 2008). Οι διεργασίες βιοχημικής μετατροπής όπως η αναερόβια χώνευση, παράγουν μεθάνιο σε ποσοστό 60% - 70% και διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό 30% - 40% (Cantrell et al., 2008). Η ζύμωση των σακχάρων που παράγονται από το κλάσμα αμύλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αιθανόλης από βιομάζα φυκών (Ueno et al., 1998).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι επεξεργασίας που υπάρχουν με παράθεση των κύριων πλεονεκτημάτων που προσφέρουν αλλά και των περιορισμών που υφίστανται για κάθε μέθοδο επεξεργασίας των αλγών.

Πίνακας 3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των διαδικασιών παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροφύκη

Μέθοδος επεξεργασίας	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Πυρόλυσης	Είναι δυνατές υψηλές αποδόσεις βιοελαίου (Miao & Wu, 2004)	Απαιτείται βιομάζα χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία Απαιτείται υψηλό επίπεδο ενέργειας για την αποξήρανση της πρώτης ύλης
Θερμοχημική υγροποίηση	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί υγρή υδαρής κοπριά από αλκάλια. Μείωση ενέργειας και κόστους Είναι δυνατές υψηλές αποδόσεις (Duan et al., 2013)	Οι αντιδραστήρες είναι περίπλοκα και δαπανηρά συστήματα
Ζύμωση	Τα παραπροϊόντα που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν Είναι δυνατή η μετατροπή της ζάχαρης σε βιοαιθανόλη	Απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι επεξεργασίας Η βιομάζα πρέπει να προεπεξεργαστεί ώστε να μετατραπεί σε σάκχαρα



Μετεστεροποίηση	Βελτιωμένες φυσικές ιδιότητες των ανανεώσιμων καυσίμων Η τρέχουσα αγορά απλοποιεί την εμπορευματοποίηση του βιοντίζελ	Περιορίζεται στη μετατροπή των λιπιδίων και δεν χρησιμοποιεί τα υδατανθρακικά και πρωτεϊνικά κλάσματα τροφοδοσίας
-----------------	--	---

Αρκετές έρευνες, όπως εκείνες των Singh & Gu, (2010), των Brennan & Owende, (2010), των Sharma et al., (2012) και του Chisti, (2013), έχουν εξετάσει εις βάθος τις λεπτομέρειες σχετικά με τις διεργασίες παραγωγής βιομάζας αλγών, τις διαφορετικές τεχνολογίες επεξεργασίας για τη μετατροπή τους σε βιοκαύσιμα και βιοπροϊόντα, καθώς και τις προκλήσεις που συνδέονται με την εμπορία βιοκαυσίμων αλγών. Μια σύνοψη των διαφόρων παραγόμενων αλγών, των εναλλακτικών συγκομιδών και της επεξεργασίας παρουσιάζονται ως εξής:

Συγκομιδή (Brennan & Owende, 2010; Pragya et al., 2013):

- Βιολογική κροκίδωση
- Χημική κροκίδωση
- Φιλτράρισμα μεμβράνης
- Φυγοκέντρωση
- Μικροφιλτράρισμα
- Θερμική ξήρανση
- Ηλιακή ξήρανση

Επεξεργασία (Suali & Sarbatly, 2012; Brennan & Owende, 2010; Pragya et al., 2013):

- Άμεση καύση
- Εκχύλιση με διαλύτη
- Αναερόβια χώνευση
- Ζύμωση
- Θερμοχημική μετατροπή

Προϊόντα (Brennan & Owende, 2010; Chisti, 2013):

- Ηλεκτρική ενέργεια
- Ατμός
- Μεθάνιο

- Βιοντίζελ
- Βιοαιθανόλη
- Άλγη για τροφή
- Άλγη για λίπασμα

### 3.8 Μέθοδοι συγκομιδής

Η επιλογή της βέλτιστης μεθόδου συγκομιδής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των μικροφυκών, όπως για παράδειγμα το μέγεθος, η πυκνότητα και η αξία των τελικών προϊόντων (Olaizola, 2003). Γενικά, η συλλογή μικροφυκών είναι μια διαδικασία δύο σταδίων, η οποία περιλαμβάνει (Brennan & Owende, 2010):

1. Την μαζική συγκομιδή: η οποία έχει ως στόχο τον διαχωρισμό της βιομάζας από την μάζα στην οποία αυτή έχει αναπτυχθεί. Οι συντελεστές συγκέντρωσης για αυτή τη λειτουργία μπορούν να φθάσουν το 2-7% της συνολικής στερεάς ύλης. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την αρχική συγκέντρωση βιομάζας και τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της κροκίδωσης, της επίπλευσης ή της καθίζησης με βαρύτητα.
2. Την πάχυνση: της οποίας ο στόχος είναι να συγκεντρωθεί ο πολτός μέσω της χρήσης τεχνικών όπως η φυγοκέντρηση, η διήθηση και η συσσωμάτωση με υπερήχους, γεγονός που την καθιστά γενικότερα πιο ενεργειακά ευαίσθητη από τη μαζική συγκομιδή.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό της θαλάσσιας βιομάζας καθώς και την επεξεργασία της.

#### 3.8.1 Κροκίδωση και συσσωμάτωση υπερήχων

Πρόκειται για το πρώτο στάδιο της διαδικασίας μαζικής συγκομιδής που αποσκοπεί στη συσώρευση των μικροαλγών προκειμένου να αυξηθεί το αποτελεσματικό μέγεθος σωματιδίων. Η κροκίδωση είναι ένα προπαρασκευαστικό στάδιο πριν από άλλες μεθόδους συγκομιδής όπως η διήθηση, η επίπλευση ή η καθίζηση με βαρύτητα (Molina et al., 2003). Επειδή τα κύτταρα των μικροφυκών φέρουν αρνητικό φορτίο που αποτρέπει την φυσική συσσωμάτωση των κυττάρων σε εναιώρηση, η προσθήκη κροκιδωτικών όπως πολυσθενή κατιόντα και κατιονικά πολυμερή, εξουδετερώνοντας ή μειώνοντας το αρνητικό φορτίο. Μπορεί επίσης να συνδέσει σωματικά ένα ή περισσότερα σωματίδια μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται γεφύρωση, για να διευκολύνει τη συσσωμάτωση (Molina et al., 2003). Πολυδύναμα άλατα μετάλλων όπως το χλωριούχο σίδηρο

(FeCl<sub>3</sub>), το θειικό αργίλιο (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) και το θειικό σίδηρο (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) αποτελούν κατάλληλα κροκιδωτικά για χρήση στην συγκεκριμένη διεργασία.

Έχουν δοκιμαστεί αρκετές μέθοδοι συλλογής κροκιδώσης. Οι Knuckey et al. (2006), ανέπτυξαν μια διαδικασία η οποία οδήγησε στην προσαρμογή του pH των καλλιεργειών μικροφυκών μεταξύ 10 και 10,6 χρησιμοποιώντας υδροξείδιο του νατρίου (NaOH), ακολουθούμενη από την προσθήκη του μη ιονικού πολυμερούς Magnafloc LT-25. Το κροκιδωτικό συλλέχθηκε με απομάκρυνση του επιφανειακού ύδατος μετά από μια περίοδο καθίζησης, και ακολούθως εξουδετερώθηκε για να δώσει μια τελική συγκέντρωση βιομάζας 6-7 g l<sup>-1</sup>. Η διαδικασία εφαρμόστηκε με επιτυχία σε μια σειρά ειδών με απόδοση κροκιδώσης μεγαλύτερη του 80%. Οι Divakaran και Pillai, (2002), χρησιμοποίησαν επιτυχώς το Chitosan ως βιολογικό κροκιδωτικό. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου ήταν πολύ ευαίσθητη στο pH, καταγράφοντας μέγιστη κροκιδώση σε pH 7,0 για τα είδη γλυκών υδάτων και χαμηλότερη για τα θαλάσσια είδη. Το υπόλοιπο νερό θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί για την παραγωγή φρέσκων καλλιεργειών φυκών.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η εταιρία Muradel Pty Ltd, που εδρεύει στην Αυστραλία. Η επιχειρηματική δραστηριότητα της εταιρίας βασίζεται στην ανάπτυξη και την εμπορευματοποίηση της τεχνολογίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα για αξιόπιστη και υψηλής παραγωγικότητας μακροχρόνια καλλιέργεια αλατούχων μικροφυκών, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας και άλλων προϊόντων υψηλής αξίας (Kayleigh, 2013).

Η Muradel έχει αναπτύξει τεχνολογία συγκομιδής με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, χρησιμοποιώντας διεργασίες ηλεκτροσυσσωμάτωσης-πλεύσης σε περιβάλλον περιορισμένου υγρού, διαχωρίζοντας την βιομάζα φυκών από τα ανακυκλώσιμα υποστρώματα. Τα φύκη καλλιεργούνται σε ανοιχτές λίμνες με τη χρήση θαλασσινού νερού όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Kayleigh, 2013).



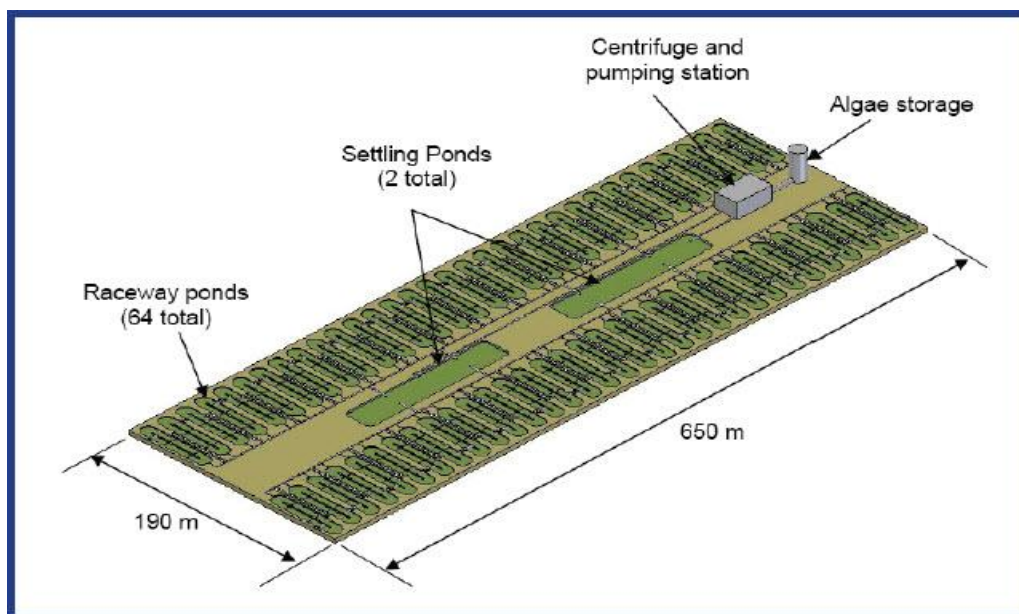
**Εικόνα 16** Εγκατάσταση ηλεκτροσυσσωμάτωσης-πλεύσης σε δεξαμενή τύπου ανοιχτής λίμνης

Η ακουστικά επαγόμενη συσσώρευση, ακολουθούμενη από αυξημένη καθίζηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη συγκομιδή βιομάζας μικροαλγών. Οι Bosma et al. (2003) χρησιμοποίησαν επιτυχώς υπερήχους για τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της συσσώματωσης και του συντελεστή συγκέντρωσης. Επιτεύχθηκε απόδοση διαχωρισμού σε ποσοστό 92% και συντελεστής συγκέντρωσης 20 φορές μεγαλύτερος από τον συντελεστή με τον οποίο συγκεντρώθηκε το αρχικό υγρό μείγμα. Τα κύρια πλεονεκτήματα της συλλογής με υπερήχους είναι ότι μπορεί να λειτουργεί συνεχώς χωρίς να προκαλεί τάση διάτμησης στη βιομάζα, η οποία θα μπορούσε να καταστρέψει δυνητικά πολύτιμους μεταβολίτες και είναι μια τεχνική μη υφαλοχρωματισμού (Bosma & Pillai, 2003). Οι επιτυχείς εφαρμογές στον ιατρικό τομέα παρέχουν τη βάση για περαιτέρω έρευνες σχετικά με πιθανές εφαρμογές στη συγκομιδή βιομάζας φυκών (Carsten et al., 2001).

### **3.8.2 Βαρύτητα και φυγοκεντρική καθίζηση**

Οι μέθοδοι καθίζησης βαρύτητας και φυγοκέντρωσης βασίζονται στον νόμο του Stoke, δηλαδή τα χαρακτηριστικά καθίζησης των αιωρούμενων στερεών καθορίζονται από την πυκνότητα και την ακτίνα των κυψελών των αλγών (ακτίνα του Stoke) και την ταχύτητα καθίζησης (Schenk et al., 2008). Η καθίζηση βαρύτητας είναι η πιο συνηθισμένη τεχνική συγκομιδής της βιομάζας των φυκών στην επεξεργασία λυμάτων λόγω των μεγάλων όγκων που επεξεργάζονται και της χαμηλής αξίας

της παραγόμενης βιομάζας (Nurdogan & Oswald, 1996). Ωστόσο, η μέθοδος είναι κατάλληλη μόνο για μεγάλα (μεγέθους >70 mm) μικροφύκη όπως η σπιρουλίνα (Munoz et al. 2006).



Εικόνα 17 Μοντέλο εκμετάλλευσης άλγης με αύλακες και λίμνες καθίζησης

Η φυγοκεντρική ανάκτηση (CR) προτιμάται για τη συγκομιδή μεταβολιτών υψηλής περιεκτικότητας και συμπυκνωμάτων (παρατεταμένης διάρκειας αποθήκευσης) για εκκολαπτήρια και φυτώρια υδατοκαλλιέργειας (Heasman et al., 2000). Η διαδικασία είναι ταχεία και ενεργειακά έντονη, ενώ η ανάκτηση της βιομάζας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά καθιζήσεως των κυτάρων, τον χρόνο παραμονής της ιλύος στη φυγόκεντρο και το βάθος καθίζησης (Molina et al., 2003). Τα μειονεκτήματα της διαδικασίας περιλαμβάνουν (Bosma & Pillai, 2003):

- το υψηλό ενεργειακό κόστος και
- τις ενδεχομένως υψηλότερες απαιτήσεις συντήρησης λόγω των ελεύθερα κινούμενων μερών.

Η αποδοτικότητα της συγκομιδής μπορεί να φτάσει πάνω από 95%, ενώ η συγκέντρωση του πολτού μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 150 φορές για 15% συνολικά αιωρούμενα στερεά (Heasman et al., 2000; Mohn, 1980).

### 3.8.3 Διήθηση βιομάζας

Μια συμβατική διαδικασία διήθησης είναι η πλέον κατάλληλη για τη συγκομιδή σχετικά μεγάλων (μεγέθους άνω των 70 mm) μικροφυκών όπως τα *Coelastrum* και *Spirulina*. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκομιδή ειδών φυκιών που προσεγγίζουν τις βακτηριακές διαστάσεις

(μεγέθους μικρότερου των 30 mm) όπως τα *Scenedesmus*, *Dunaliella* και *Chlorella* (Mohn, 1980). Η συμβατική διήθηση λειτουργεί υπό πίεση ή αναρρόφηση, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν βοηθήματα διήθησης όπως φίλτρα διατόμων ή κυτταρίνη με στόχο την βελτίωση της απόδοσης (Molina et al., 2003). Ο Mohn (1980), απέδειξε ότι οι διεργασίες φιλτραρίσματος μπορούν να επιτύχουν συντελεστή συγκέντρωσης 245 φορές μεγαλύτερη από την αρχική συγκέντρωση για το *Coelastrum proboscideum* για να παραχθεί ιλύς με 27% στερεά.

Για την ανάκτηση μικρότερων κυττάρων άλγης (μεγέθους μικρότερο από 30 mm), η μικροδιήθηση της μεμβράνης και η υπερδιήθηση (μια μορφή διήθησης με μεμβράνη χρησιμοποιώντας υδροστατική πίεση) είναι τεχνικά βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τη συμβατική διήθηση (Petruševski et al., 1995). Είναι κατάλληλο για εύθραυστα κύτταρα που απαιτούν χαμηλή πίεση μεμβράνης και χαμηλή ταχύτητα διασταυρούμενης ροής (Borowitzka, 1997). Για την επεξεργασία ύλης χαμηλού όγκου (μικρότερου των 2 m<sup>3</sup> ημερησίως), η διήθηση με μεμβράνη μπορεί να είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τη φυγοκέντρωση. Λόγω του κόστους αντικατάστασης μεμβράνης και άντλησης σε μεγαλύτερες κλίμακες παραγωγής (μεγαλύτερης των 20 m<sup>3</sup> ημερησίως), η φυγοκέντρωση μπορεί να είναι μια πιο οικονομική μέθοδος συλλογής της βιομάζας (MacKay & Salusbury, 1988).

#### 3.8.4 Διαδικασίες αφυδάτωσης

Ο πολτός βιομάζας που έχει συλλεγεί (τυπική περιεκτικότητα σε ξηρό στερεό 5-15%) είναι ευπαθής και πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία αμέσως μετά τη συγκομιδή. Για αυτό τον λόγο η αφυδάτωση ή η ξήρανση χρησιμοποιούνται συνήθως για την επέκταση της βιωσιμότητας τις βιομάζας, ανάλογα με το τελικό προϊόν που απαιτείται.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν:

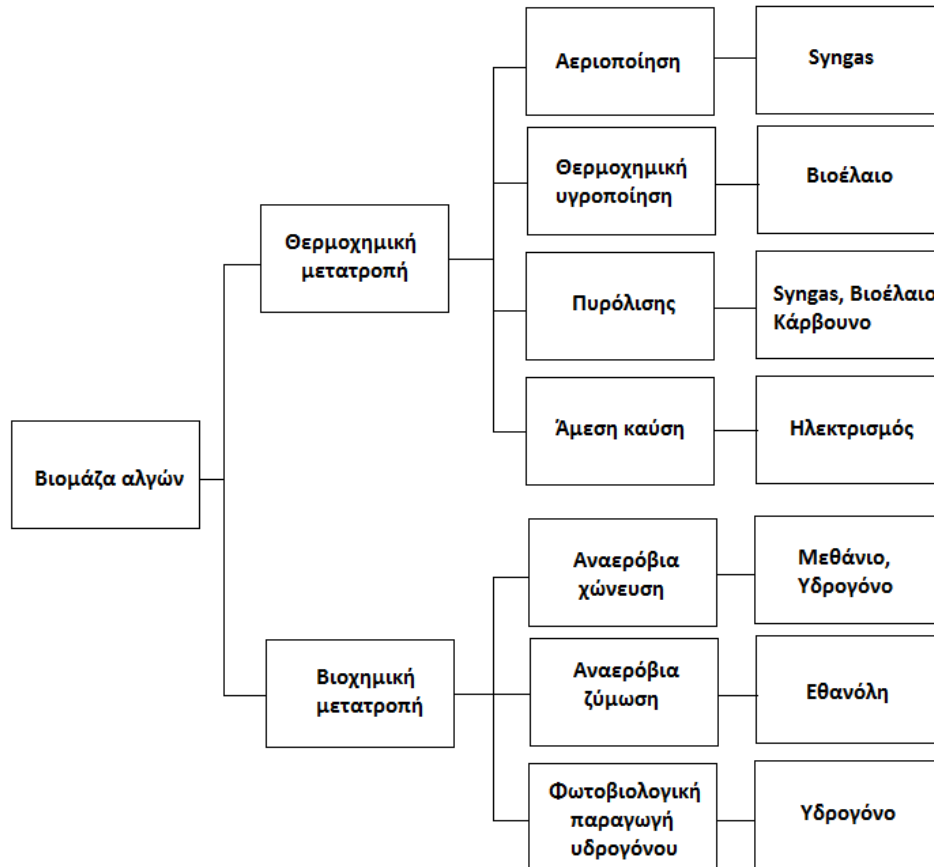
- την ξήρανση στον ήλιο (Prakash et al., 1997),
- την ξήρανση σε ράφια χαμηλής πίεσης (Prakash et al., 1997),
- την ξήρανση με ψεκασμό (Desmorieux & Decaen, 2006),
- την ξήρανση με τύμπανο (Prakash et al., 1997),
- την ξήρανση με ρευστοποιημένη κλίνη (Leach et al., 1998),
- την ξήρανση με κατάψυξη (Molina et al., 1994),
- την τεχνολογία ξήρανσης με Refractance Window™ (Nindo & Tang, 2007).

Η ξήρανση στον ήλιο, αποτελεί την φθηνότερη μέθοδο ξήρανσης, αλλά τα κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνουν τους χρόνους μακράς ξήρανσης, την απαίτηση για μεγάλες επιφάνειες στεγνώματος και τον κίνδυνο απώλειας υλικού (Prakash et al., 1997). Η ξήρανση με ψεκασμό

χρησιμοποιείται συνήθως για την εκχύλιση προϊόντων υψηλής αξίας. Παρόλα αυτά είναι σχετικά ακριβή και μπορεί να προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση ορισμένων χρωστικών ουσιών των αλγών (Desmorieux & Decaen, 2006). Η ξήρανση με κατάψυξη είναι εξίσου δαπανηρή, ειδικά για τις εργασίες μεγάλης κλίμακας, αλλά διευκολύνει την εξαγωγή ελαίων. Τα ενδοκυτταρικά στοιχεία όπως τα έλαια είναι δύσκολο να εξαχθούν από την υγρή βιομάζα με διαλύτες χωρίς να επέλθει διαταραχή των κυττάρων, αλλά εξαγονται ευκολότερα από τη ξηραμένη με κατάψυξη βιομάζα (Molina et al., 1994; Molina et al., 2003).

### 3.9 Τεχνολογίες μετατροπής βιολογικών καυσίμων

Στην παρούσα υποενότητα θα εξετασθούν οι τεχνικά βιώσιμες επιλογές μετατροπής της βιομάζας των φυκών και την τελική χρήση των παραγόμενων ενεργειακών φορέων (υγρών ή αερίων καυσίμων). Η μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια περιλαμβάνει τις διαφορετικές διαδικασίες που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη χερσαία βιομάζα και οι οποίες εξαρτώνται, σε μεγάλο βαθμό, από τους τύπους και τις πηγές βιομάζας, τις επιλογές διατήρησης και την τελική χρήση (McKendry, 2002b). Οι τεχνολογίες μετατροπής για τη χρήση βιομάζας μικροαλγών μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες, τις θερμοχημικές και τις βιοχημικές μετατροπές όπως παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα (Tsukahara & Sawayama, 2005). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της διαδικασίας μετατροπής περιλαμβάνουν: τον τύπο και την ποσότητα της πρώτης ύλης βιομάζας, την επιθυμητή μορφή της ενέργειας, οικονομικό αντίκτυπο και την επιθυμητή τελική μορφή του προϊόντος (McKendry, 2002a).



Εικόνα 18 Τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας αλγών σε βιοκαύσιμα

### 3.9.1 Θερμοχημική μετατροπή

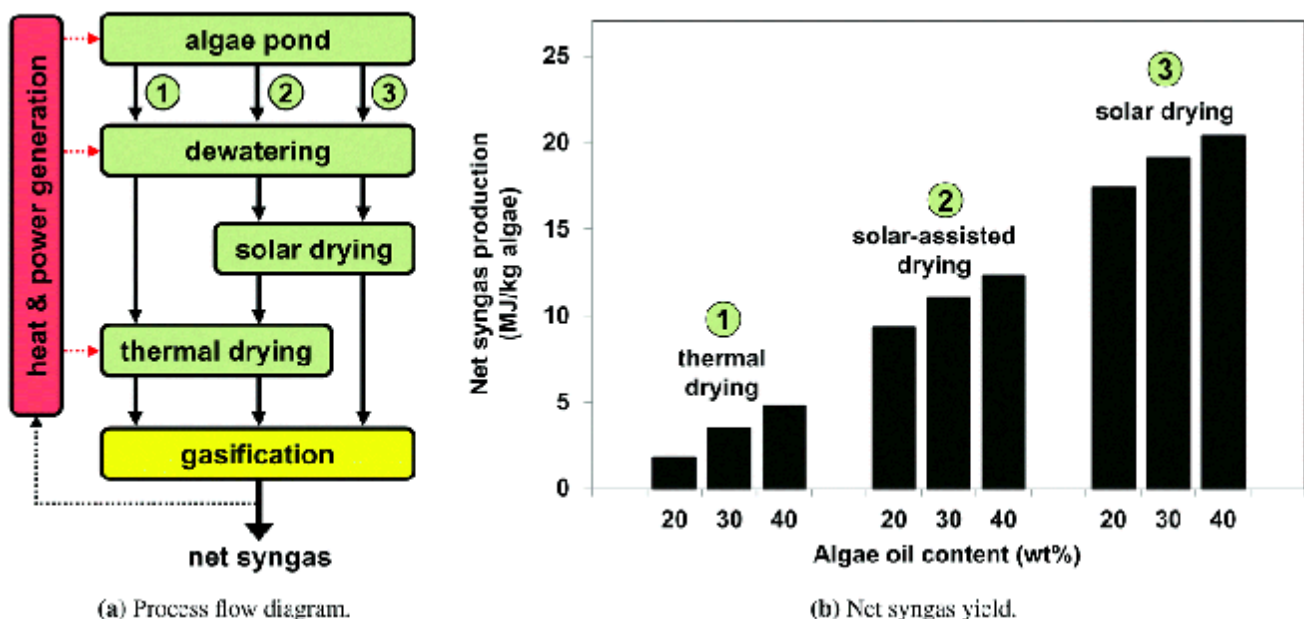
Η θερμοχημική μετατροπή καλύπτει τη θερμική αποσύνθεση των οργανικών συστατικών στη βιομάζα για την παραγωγή προϊόντων καυσίμων και είναι εφικτή με διάφορες μεθόδους όπως η άμεση καύση, η αεριοποίηση, η θερμοχημική υγροποίηση και η πυρόλυση (Tsukahara & Sawayama, 2005). Η βάση της θερμοχημικής μετατροπής είναι η διαδικασία πυρόλυσης, η οποία περιλαμβάνει όλες τις χημικές μεταβολές που συμβαίνουν όταν εφαρμόζεται θερμότητα σε ένα υλικό απουσία οξυγόνου (Overend, 2004).

#### 3.9.1.1 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση περιλαμβάνει τη μερική οξειδωση της βιομάζας σε ένα μίγμα εύφλεκτων αερίων σε υψηλές θερμοκρασίες (800-1000 °C) (Clark & Deswarte, 2008). Στην κανονική διαδικασία αεριοποίησης, η βιομάζα αντιδρά με το οξυγόνο και το νερό (ατμός) για να παράγει συνθετικό αέριο, που αποτελείται από ένα μίγμα χημικών ουσιών όπως CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N, και CH<sub>4</sub> (Demirbas, 2001). Το βασικό πλεονέκτημα της αεριοποίησης της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας, είναι ότι μπορεί να παράγει ένα συνθετικό αέριο από μια μεγάλη ποικιλία δυνητικών πρώτων υλών (Clark & Deswarte,



2008). Το συνθετικό αέριο είναι αέριο χαμηλής θερμογόνου δύναμης (τυπικό 4-6 MJ/m<sup>3</sup>) το οποίο μπορεί να καεί απευθείας ή να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για κινητήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους (McKendry, 2002).



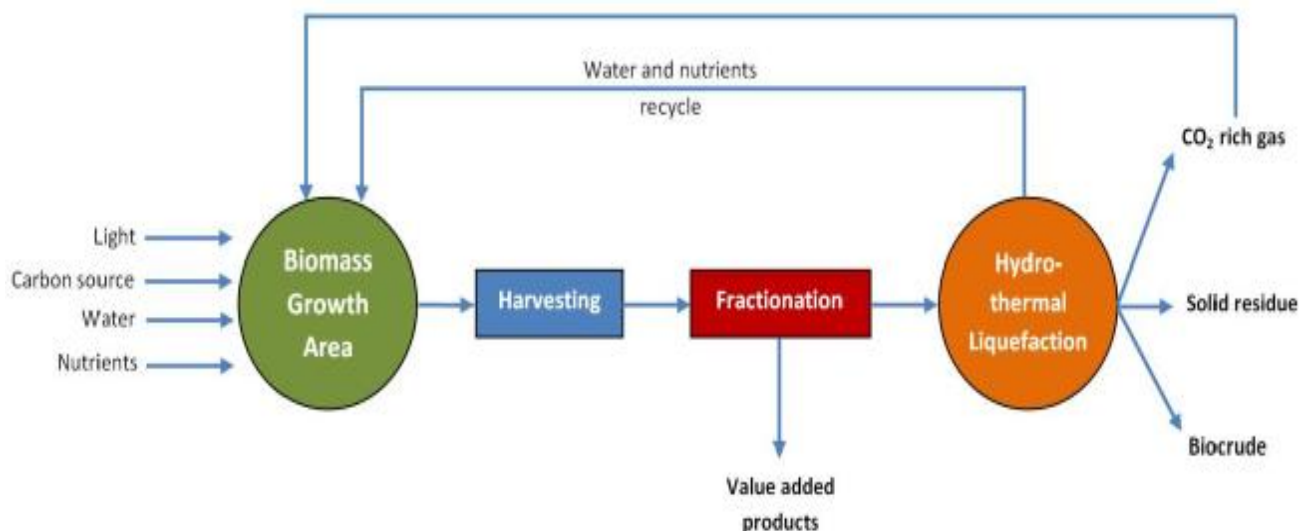
Εικόνα 19 (α) Διάγραμμα ροής διαδικασίας παραγωγής συνθετικού αερίου. (β) Διάγραμμα καθαρής απόδοσης του συνθετικού αερίου ανάλογα με τον τρόπο ξήρανσης.

Τα χαρακτηριστικά αεριοποίησης της βιομάζας μικροαλγών έχουν μελετηθεί από διάφορους ερευνητές. Οι Hirano et al. (1998), διερευνώντας την *Spirulina*, εκτίμησαν ότι η αεριοποίηση της βιομάζας των φυκών στους 1000 °C παρήγαγε την υψηλότερη θεωρητική απόδοση των 0,64 g μεθανόλης από 1 g βιομάζας. Υπολόγισαν επίσης, ένα ενεργειακό ισοζύγιο ύψους 1,1 (λόγος μεθανόλης που παράγεται προς την συνολική απαιτούμενη ενέργεια), γεγονός που δίνει στην αεριοποίηση ένα οριακό θετικό ενεργειακό ισοζύγιο, ενώ η χαμηλή τιμή αυτή αποδόθηκε στη χρήση μιας διεργασίας φυγοκέντρησης υψηλής εντάσεως κατά τη διάρκεια της συγκομιδής βιομάζας. Οι Minowa & Sawayama (1999) αεριοποίησαν τα μικροφύκη *C. vulgaris* σε ένα πειραματικό σύστημα με κυκλοφορία αζώτου, ώστε να ληφθεί καύσιμο πλούσιο σε μεθάνιο, με όλη την περιεκτικότητα του αζώτου των μικροφυκών να μετατρέπεται σε αμμωνία ποιότητας λιπάσματος.

### 3.9.1.2 Θερμοχημική υγροποίηση

Η θερμοχημική υγροποίηση είναι μια διαδικασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή του υγρού υλικού βιομάζας φυκών σε υγρό καύσιμο (Patil et al, 2008). Η θερμοχημική υγροποίηση είναι μια διαδικασία χαμηλής θερμοκρασίας (300 – 350°C) και υψηλής πίεσης (5-20 MPa), η οποία υποβοηθείται από έναν καταλύτη, παρουσιάζει υδρογόνου ώστε να δώσει βιολογικό έλαιο (Goyal et al, 2008). Οι αντιδραστήρες για τη θερμοχημική υγροποίηση και τα συστήματα τροφοδοσίας

καυσίμων είναι περίπλοκα και ως εκ τούτου ακριβά, αλλά προσφέρουν ισχυρά πλεονεκτήματα με την ικανότητά τους να μετατρέπουν την υγρή βιομάζα σε ενέργεια (McKendry, 2002b; Clark & Deswarte, 2008)]. Η διαδικασία χρησιμοποιεί την υψηλή δραστηριότητα νερού σε κρίσιμες συνθήκες για την αποσύνθεση της ύλης βιομάζας σε μικρότερη μοριακή ύλη με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα (Patil et al, 2008).



Εικόνα 20 Διαδικασία υδροθερμικής υγροποίησης της βιομάζας φυκών για την παραγωγή βιοκαυσίμων

Όπως φαίνεται και στην εικόνα, οι εισροές που παρέχονται στην δεξαμενή των μικροαλγών είναι φως, διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θρεπτικές ουσίες. Στην συνέχεια, μόλις επιτευχθεί το επιθυμητό στάδιο ανάπτυξης, τα μικροφύκη οδηγούνται προς συγκομιδή και κλασματοποίηση και τέλος προς την υδροθερμική υγροποίηση. Το νερό που βρίσκεται σε περίσσεια κατά την διαδικασία αυτή, οδηγείται και πάλι πίσω στην δεξαμενή ανάπτυξης της βιομάζας, καθώς περιέχει θρεπτικές ουσίες, πολύτιμες για τα μικροφύκη. Από την διαδικασία θερμοχημικής υγροποίησης προκύπτουν τόσο αέριο πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα το οποίο ανακυκλώνεται επιστρέφοντας στην δεξαμενή ανάπτυξης, όσο και στερεά υπολείμματα και βιοέλαιο.

Σε μελέτη τους, οι Dote et al. (2008) χρησιμοποίησαν με επιτυχία την θερμοχημική υγροποίηση σε θερμοκρασία 300°C στο είδος *B. Braunii* για να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση 64% ξηρού βάρους. με βάση το έλαιο με μέγιστη θερμική απόδοση στα 45,9 MJ/kg και δηλώνοντας επίσης ένα θετικό ενεργειακό ισοζύγιο για τη διαδικασία (λόγος εξόδου/εισόδου). Σε μία παρόμοια μελέτη, μία απόδοση ελαίου 42% ξηρού βάρους, ελήφθη από το είδος *Dunaliella tertiolecta*, δίνοντας μέγιστη θερμική απόδοση 34,9 MJ/kg και θετικό ισοζύγιο ενέργειας 2,94 (Minowa et al., 1995). Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η θερμοχημική υγροποίηση είναι μια βιώσιμη επιλογή για τη μετατροπή της βιομάζας σε υγρό καύσιμο.

### 3.9.1.3 Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε βιοέλαιο, συνθετικό αέριο και κάρβουνο σε μεσαίες έως υψηλές θερμοκρασίες (350 – 700°C), απουσία αέρα (Goyal et al, 2008). Για τη μετατροπή ενός καυσίμου από βιομάζα σε υγρό, θεωρείται ότι υπάρχει η δυνατότητα για παραγωγή βιοκαυσίμων μεγάλης κλίμακας που θα μπορούσε να αντικαταστήσει τα υγρά καύσιμα με βάση το πετρέλαιο (Demirbas, 2006). Η πυρόλυση με φλόγα (μέτρια θερμοκρασία, 500°C), σύντομος χρόνος παραμονής σε θερμό ατμό (περίπου 1 δευτερόλεπτο) θεωρείται βιώσιμη τεχνική για μελλοντική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με υγρά βιοκαύσιμα, κυρίως λόγω της υψηλής αναλογίας μετατροπής βιομάζας σε υγρό (95,5%) που μπορεί να επιτευχθεί (Clark & Deswarte , 2008; Demirbas, 2006).

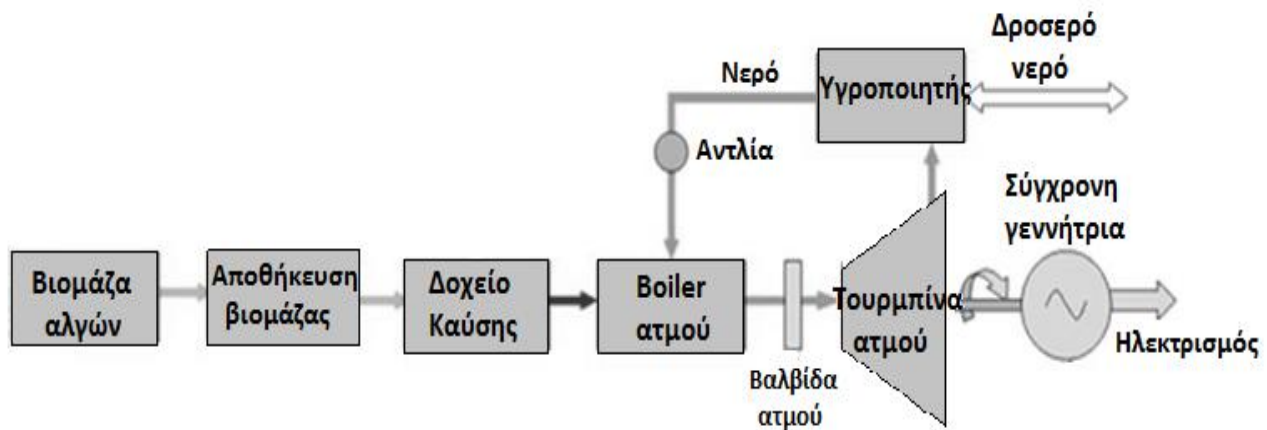
Ωστόσο, υπάρχουν τεχνικές προκλήσεις καθώς τα έλαια πυρόλυσης είναι όξινα, ασταθή, ιξώδη και περιέχουν στερεά και χημικά διαλυμένο νερό (Chiaramonti et al., 2007). Ως εκ τούτου, το έλαιο επεξεργασίας θα απαιτήσει αναβάθμιση της υδρογόνωσης και της καταλυτικής πυρόλυσης για να μειωθεί η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και να απομακρυνθούν τα αλκάλια (Demirbas, 2001).

Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες μετατροπής, η έρευνα για την πυρόλυση της βιομάζας των φυκών είναι αρκετά εκτεταμένη και έχει επιτύχει αξιόπιστα και ελπιδοφόρα αποτελέσματα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εμπορική εκμετάλλευση. Οι Miao και Wu (2004), χρησιμοποίησαν την μέθοδο της ταχείας πυρόλυσης για να αυξήσουν την απόδοση του ελαίου από τα μικροφύκη *Chlorella prothothecoides*, μετά από την επεξεργασία του μεταβολικού τους υπόβαθρου προς την ετεροτροφική ανάπτυξη. Η καταγεγραμμένη απόδοση του ελαίου ήταν 57,9% ξηρού βάρους, από την ετεροτροφική καλλιέργεια με μέγιστη θερμική απόδοση στα 41 MJ/kg, ενώ ήταν 3,4 φορές υψηλότερη από αυτή που επιτεύχθηκε με την φωτοτροφική καλλιέργεια, με τα αποτελέσματα να υποδεικνύουν ότι η πυρόλυση έχει μεγάλες προοπτικές στην μετατροπή της βιομάζας σε υγρά καύσιμα. Σε μια άλλη μελέτη, οι Miao et al. (2004), με εξέταση των ειδών *C. prothothecoides* και *Microcystis aeruginosa* (που αναπτύχθηκαν φωτοτροφικά) με ταχεία πυρόλυση, επιτυγχάνουν απόδοση βιο-ελαίου σε ποσοστό 18% με μέγιστη θερμική απόδοση στα 30 MJ/kg και 24% με μέγιστη θερμική απόδοση 29 MJ/kg αντίστοιχα.

Ο Demirbas (2006), ο οποίος πειραματίστηκε με το είδος *C. prothothecoides*, απέδειξε ότι η απόδοση βιο-ελαίου αυξήθηκε σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι ένα σημείο και στη συνέχεια μειώθηκε σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, η απόδοση αυξήθηκε από 5,7% σε 55,3% με αύξηση από τους 254°C στους 502° C, και στη συνέχεια μειώθηκε στο 51,8% όταν η θερμοκρασία έφτασε στους 602°C.

### 3.9.1.4. Άμεση καύση

Κατά την διαδικασία άμεσης καύσης, η βιομάζα καίγεται παρουσία αέρα, με σκοπό τη μετατροπή της αποθηκευμένης χημικής ενέργειας στη βιομάζα σε θερμά αέρια, συνήθως σε φούρνο, λέβητα ή ατμοστρόβιλο σε θερμοκρασίες άνω των 800°C (Goyal et al, 2008). Είναι δυνατή η καύση οποιουδήποτε τύπου βιομάζας, αλλά η καύση είναι εφικτή μόνο για βιομάζα με περιεκτικότητα σε υγρασία < 50% ξηρού βάρους (McKendry, 2002b). Η παραγόμενη θερμότητα πρέπει να χρησιμοποιείται αμέσως καθώς η αποθήκευση της δεν αποτελεί βιώσιμη επιλογή (Clark & Deswarte, 2008). Η καύση της βιομάζας για λόγους θέρμανσης, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού κυμαίνεται από επιχειρήσεις μικρής κλίμακας (θέρμανση οικιακού χώρου και νερού) μέχρι βιομηχανικές διεργασίες μεγάλης κλίμακας 100-300 MW (McKendry, 2002b).



Εικόνα 21 Διάγραμμα ροής διεργασίας άμεσης καύσης βιομάζας αλγών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η μετατροπή της ενέργειας με απευθείας καύση βιομάζας έχει το μειονέκτημα της βιομάζας που γενικά απαιτεί διαδικασίες προεπεξεργασίας, όπως ξήρανση, τεμαχισμό και λείανση, οι οποίες επιφέρουν πρόσθετη ζήτηση ενέργειας και κατά συνέπεια την επιβάρυνση κόστους (Goyal et al, 2008). Η αποδοτικότητα μετατροπής σε μεγάλες μονάδες χρήσης βιομάζας για παραγωγή ενέργειας συγκρίνεται ευνοϊκά με αυτή των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, αλλά μπορεί να επιφέρει υψηλότερο κόστος λόγω της υψηλής περιεκτικότητας της βιομάζας σε υγρασία. Η παραγωγή συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) είναι επιθυμητή για τη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων. Η αποδοτικότητα μετατροπής της καθαρής ενέργειας για τις μονάδες καύσης βιομάζας κυμαίνεται από 20% έως 40%, με υψηλότερες αποδόσεις που επιτυγχάνονται σε μεγαλύτερα συστήματα (> 100 MW) ή όταν η βιομάζα χρησιμοποιείται σε σταθμούς συμπαραγωγής για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα (Demirbas, 2001).

Υπάρχουν λίγες ενδείξεις τεχνικής βιωσιμότητας της βιομάζας των φυκών σε άμεση καύση στη βιβλιογραφία, αλλά η αξιολόγηση του κύκλου ζωής, της συμπαραγωγής ενέργειας με άγλη και άνθρακα, υποδεικνύει ότι η παράλληλη καύση άνθρακα-άγλης θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και μόλυνση του αέρα (Kadam, 2002). Παρόλα αυτά λόγω των περιορισμένων δεδομένων, αυτός ο τομέας θα απαιτήσει περαιτέρω έρευνα για τον προσδιορισμό της βιωσιμότητας.

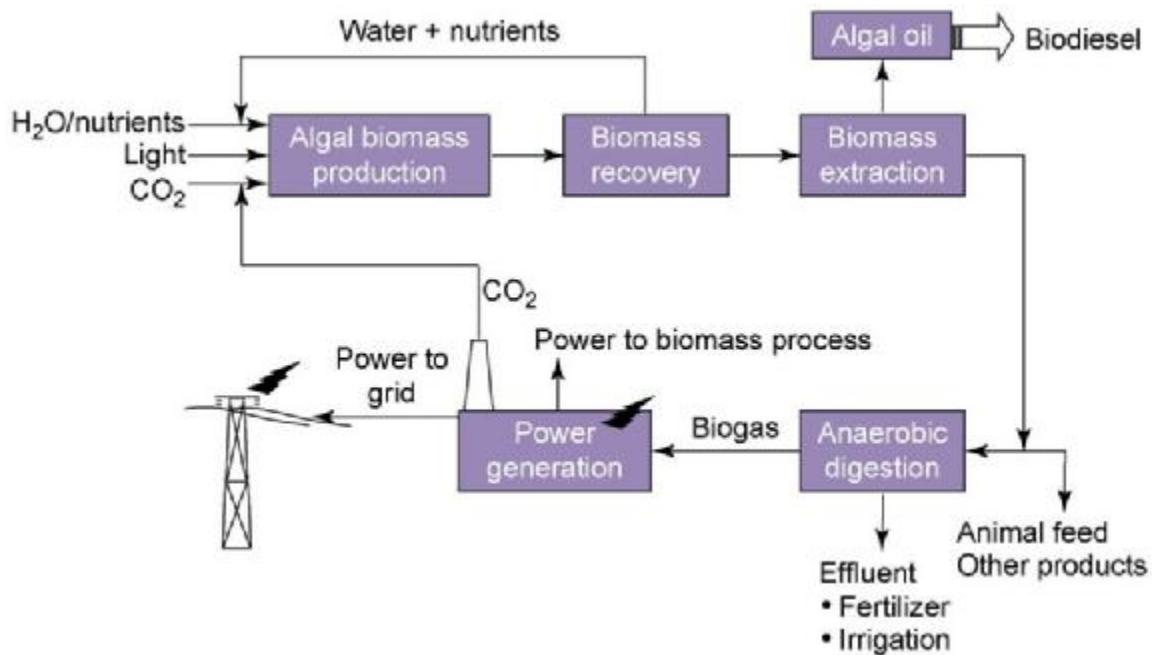
### 3.9.2 Βιοχημική μετατροπή

Η βιολογική διαδικασία ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας σε άλλα καύσιμα περιλαμβάνει την αναερόβια χώνευση, την αλκοολική ζύμωση και την παραγωγή φωτοβιολογικού υδρογόνου (USDOE, 2002).

#### 3.9.2.1 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι η μετατροπή οργανικών αποβλήτων σε βιοαέριο, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), με ίχνη άλλων αερίων όπως το υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (EU, 1999). Περιλαμβάνει τη διάσπαση της οργανικής ύλης για την παραγωγή αερίου με ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 20-40% της χαμηλότερης θερμικής αξίας της πρώτης ύλης. Η διαδικασία αναερόβιας χώνευσης είναι κατάλληλη για οργανικά απόβλητα υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία (80-90% υγρασία), τα οποία μπορούν να είναι χρήσιμα για τη βιομάζα υγρής άγλης (McKendry, 2002b).

Η διαδικασία αναερόβιας χώνευσης λαμβάνει χώρα σε τρία διαδοχικά στάδια υδρόλυσης, ζύμωσης και μεθανογένεσης. Στην υδρόλυση οι σύνθετες ενώσεις διασπώνται σε διαλυτά σάκχαρα. Στη συνέχεια, τα ζυμωτικά βακτήρια μετατρέπουν αυτά σε αλκοόλες, οξικό οξύ, πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs) και αέριο που περιέχει υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το οποίο μεταβολίζεται κυρίως σε μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) σε ποσοστό 60-70% και άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σε ποσοστό 30-40% με μεθανογόνα (Cantrell et al., 2008). Έχει υπολογιστεί ότι η μετατροπή της βιομάζας των φυκών σε μεθάνιο θα μπορούσε να ανακτήσει τόση ενέργεια από την εκχύλιση των κυτταρικών λιπιδίων, αφήνοντας ένα πλούσιο σε θρεπτικά προϊόν το οποίο μπορεί να ανακυκλωθεί σε ένα νέο μέσο για την ανάπτυξη των φυκών (Sialve et al, 2009; Olguin, 2000; Phang et al., 2000).

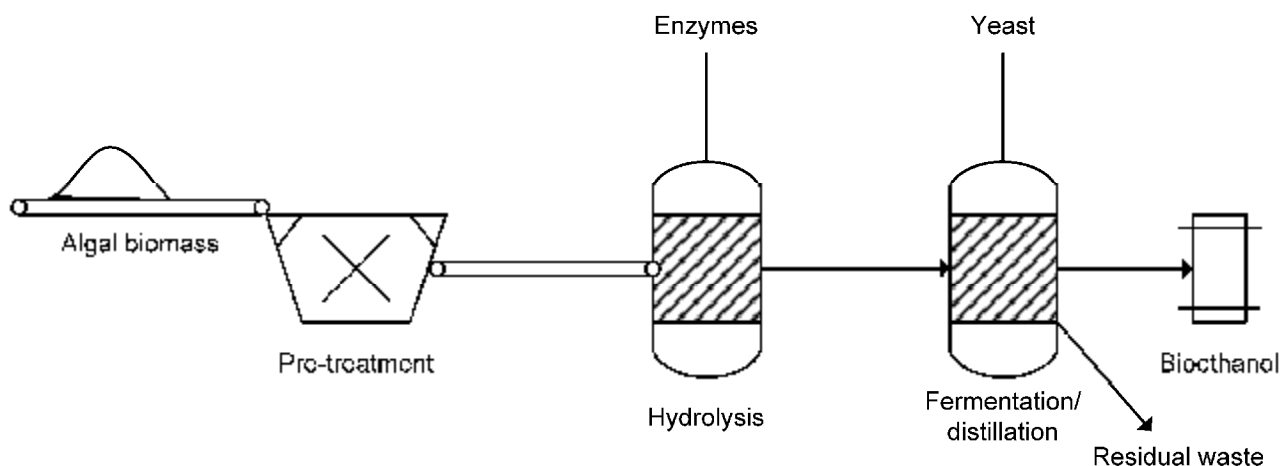


Εικόνα 22 Διάγραμμα ροής μετατροπής βιομάζας αλγών σε ηλεκτρική ενέργεια

Οι Yen & Brune (2007) πέτυχαν σημαντική αύξηση της παραγωγής μεθανίου με την προσθήκη απορριμμάτων χαρτιού σε βιομάζα φυκών. Έλαβαν, μάλιστα, διπλάσιο ρυθμό παραγωγής μεθανίου (1,17 ml ανά ημέρα έναντι 0,57 ml ανά ημέρα) από μίγμα αναλογίας (50/50) απορριμμάτων χαρτιού / βιομάζας φυκών σε σύγκριση με την αναερόβια χώνευση καθαρής βιομάζας φυκών. Η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες στα φύκη μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγή αμμωνίου, η οποία αναστέλλει τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Επίσης, τα ιόντα νατρίου μπορούν να αποδειχθούν τοξικά για ορισμένους αναερόβιους μικροοργανισμούς, αλλά είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν μικροοργανισμοί προσαρμοσμένοι σε άλατα για την αναερόβια χώνευση βιομάζας θαλάσσιων φυκών.

### 3.9.2.2 Αλκοολική ζύμωση

Η αλκοολική ζύμωση είναι η μετατροπή υλικών βιομάζας, που περιέχουν σάκχαρα, άμυλο ή κυτταρίνη, σε αιθανόλη (McKendry, 2002b). Η βιομάζα υποβαθμίζεται και το άμυλο μετατρέπεται σε σάκχαρα τα οποία κατόπιν αναμιγνύονται με νερό και μαγιά και διατηρούνται ζεστά σε μεγάλες δεξαμενές που ονομάζονται ζυμωτές (Demirbas, 2001). Η μαγιά διασπά τη ζάχαρη και την μετατρέπει σε αιθανόλη (McKendry, 2002b). Απαιτείται διαδικασία καθαρισμού (απόσταξη) για την απομάκρυνση του νερού και άλλων ακαθαρσιών στο προϊόν αραιωμένης αλκοόλης (10-15% αιθανόλη). Η διαδικασία της αλκοολικής ζύμωσης παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 23 Σχεδιαστική παράσταση της διαδικασίας αλκοολικής ζύμωσης της βιομάζας αλγών

Η συμπυκνωμένη αιθανόλη (όγκος 95% για μία απόσταξη) απομακρύνεται και συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα ή ως υποκατάστατο της βενζίνης στα αυτοκίνητα (Demirbas, 2001). Το στερεό υπόλειμμα από τη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ζωοτροφές ή για αεριοποίηση (McKendry, 2002b). Αυτό βοηθά στην αντιστάθμιση του κόστους των πρώτων υλών, το οποίο συνήθως αντιπροσωπεύει το 55-80% της τελικής τιμής πώλησης αλκοόλ. Η βιομάζα με βάση άμυλο, όπως τα μικροφύκη, απαιτεί πρόσθετη επεξεργασία πριν από τη ζύμωση (Demirbas, 2001).

Τα μικροφύκη όπως το *C. vulgaris* είναι μια καλή πηγή αιθανόλης λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άμυλο (περίπου 37% ξηρού βάρους) και για τα οποία έχει καταγραφεί αποτελεσματικότητα μετατροπής αιθανόλης έως και 65%. Οι Ueno et al. (1998) επίσης παρήγαγαν αιθανόλη από μικροφύκη μέσω διαδικασίας σκοτεινής ζύμωσης και πέτυχαν μέγιστη παραγωγικότητα αιθανόλης 450 mmol/g ξηρού βάρους στους 30°C. Από τις περιγραφόμενες έννοιες είναι αμφισβητήσιμο ότι η παραγωγή αιθανόλης από μικροφύκη είναι τεχνικά βιώσιμη.

### 3.9.2.3 Φωτοβιολογική παραγωγή υδρογόνου

Το υδρογόνο ( $H_2$ ) είναι ένα μόριο, το οποίο αποτελεί έναν καθαρό και αποδοτικό φορέα ενέργειας (Clark & Deswarte, 2008). Τα μικροάλγη διαθέτουν τα απαραίτητα γενετικά, μεταβολικά και ενζυματικά χαρακτηριστικά για τη φωτοπαραγωγή αερίου υδρογόνου  $H_2$  (Ghirardi et al., 2000). Υπό αναερόβιες συνθήκες, το υδρογόνο παράγεται από ευκαρυωτικά μικροφύκη είτε ως δότης ηλεκτρονίων στη διαδικασία στερεώσεως διοξειδίου του άνθρακα  $CO_2$  είτε εξελίσσεται τόσο σε φως όσο και σε σκοτάδι (Greenbaum, 1988). Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, τα μικροφύκη μετατρέπουν μόρια νερού σε ιόντα υδρογόνου ( $H^+$ ) και οξυγόνο, τα ιόντα υδρογόνου στη συνέχεια μετατρέπονται με ένζυμα υδρογόνωσης σε  $H_2$  υπό αναερόβιες συνθήκες (Cantrell et al., 2008).

Λόγω της αναστρεψιμότητας της αντίδρασης, το υδρογόνο είτε παράγεται είτε καταναλώνεται με την απλή μετατροπή των πρωτονίων σε υδρογόνο (Clark & Deswarte , 2008). Η παραγωγή φωτοσυνθετικού οξυγόνου προκαλεί ταχεία παρεμπόδιση του βασικού ενζύμου, της υδρογενάσης και παρακωλύεται η διαδικασία παραγωγής φωτοσυνθετικού υδρογόνου (Cantrell et al., 2008; Akkerman et al., 2002; Miura et al., 1995; Melis, 2002). Κατά συνέπεια, οι καλλιέργειες μικροφυκών για παραγωγή υδρογόνου πρέπει να υποβάλλονται σε αναερόβιες συνθήκες.

Υπάρχουν δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις για την παραγωγή φωτοσυνθετικού υδρογόνου  $H_2$  από το νερό. Η πρώτη διαδικασία παραγωγής του είναι μια διαδικασία φωτοσύνθεσης δύο δειγμάτων όπου η παραγωγή φωτοσυνθετικού οξυγόνου και η παραγωγή αερίου υδρογόνου, χωρίζονται χωρικά (Ghirardi et al., 2000). Στο πρώτο στάδιο, τα άλγη αναπτύσσονται φωτοσυνθετικά υπό κανονικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου σταδίου, τα φύκη στερούνται θείου προκαλώντας έτσι αναερόβιες συνθήκες και διεγείροντας σταθερή παραγωγή υδρογόνου (Melis & Harpe, 2001). Αυτή η διαδικασία παραγωγής περιορίζεται με το χρόνο, καθώς η απόδοση υδρογόνου θα αρχίσει να εξαντλείται μετά από 60 ώρες παραγωγής. Η χρήση αυτού του συστήματος παραγωγής δεν παράγει τοξικά ή επιβλαβή για το περιβάλλον προϊόντα αλλά μπορεί να δώσει προϊόντα προστιθέμενης αξίας ως αποτέλεσμα της καλλιέργειας βιομάζας (Melis, 2002).

Η δεύτερη προσέγγιση αφορά την ταυτόχρονη παραγωγή φωτοσυνθετικού οξυγόνου και αερίου υδρογόνου. Σε αυτή την προσέγγιση, τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται με φωτοσυνθετική οξειδωση του νερού ( $H_2O$ ) τροφοδοτούνται απευθείας στη διαδικασία εξέλιξης του υδρογόνου, που προκαλείται από την υδρογονάση. Η παραγωγικότητα του υδρογόνου είναι θεωρητικά ανώτερη από τη διεργασία φωτοσύνθεσης δύο σταδίων, αλλά η ταυτόχρονη διαδικασία παραγωγής υποφέρει από σοβαρή αναστολή της υδρογόνωσης μετά από πολύ σύντομη περίοδο λόγω της φωτοσυνθετικής παραγωγής οξυγόνου (Ghirardi et al., 2000). Οι Melis και Harpe (2001), διαπίστωσαν ότι χρησιμοποιώντας τη διεργασία φωτοσύνθεσης δύο σταδίων και την παραγωγή υδρογόνου μια θεωρητική μέγιστη απόδοση υδρογόνου από τα πράσινα φύκια θα μπορούσε να είναι περίπου 198 kg  $H_2$  ανά ημέρα.

### 3.10 Παραγωγή βιοντίζελ από θαλάσσια μικροάλγη

Πολλές έρευνες και άρθρα περιγράφουν πολλά πλεονεκτήματα της χρήσης μικροφυκών για παραγωγή βιοντίζελ σε σύγκριση με άλλες διαθέσιμες πρώτες ύλες (Li et al., 2008a; Li et al., 2008b). Από πρακτική άποψη, είναι εύκολο να καλλιεργηθούν, να αναπτυχθούν με ελάχιστη ή και καθόλου προσοχή, χρησιμοποιώντας νερό ακατάλληλο για κατανάλωση από τον άνθρωπο και εύκολο στη λήψη θρεπτικών ουσιών.



Όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες υποενότητες, τα μικροάλγη αναπαράγονται με τη χρήση της φωτοσύνθεσης για να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική ενέργεια, ολοκληρώνοντας έναν ολόκληρο κύκλο ανάπτυξης κάθε λίγες μέρες (Sheehan et al., 1998). Επιπλέον, μπορούν να αναπτυχθούν σχεδόν οπουδήποτε, απαιτώντας μόνο ηλιακό φως και μερικά απλά θρεπτικά συστατικά, αν και οι ρυθμοί ανάπτυξης μπορούν να επιταχυνθούν με την προσθήκη συγκεκριμένων θρεπτικών ουσιών και επαρκούς αερισμού (Aslan & Karpdan, 2006).

Διαφορετικά είδη μικροφυκών μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ζουν σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι, είναι δυνατόν να βρεθούν τα είδη που ταιριάζουν καλύτερα σε τοπικά περιβάλλοντα ή συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανάπτυξης, πράγμα που δεν είναι δυνατό να συμβαίνει με άλλες τρέχουσες πρώτες ύλες βιοντίζελ (π.χ. σόγια, κράμβη, ηλιέλαιο και φοινικέλαιο).

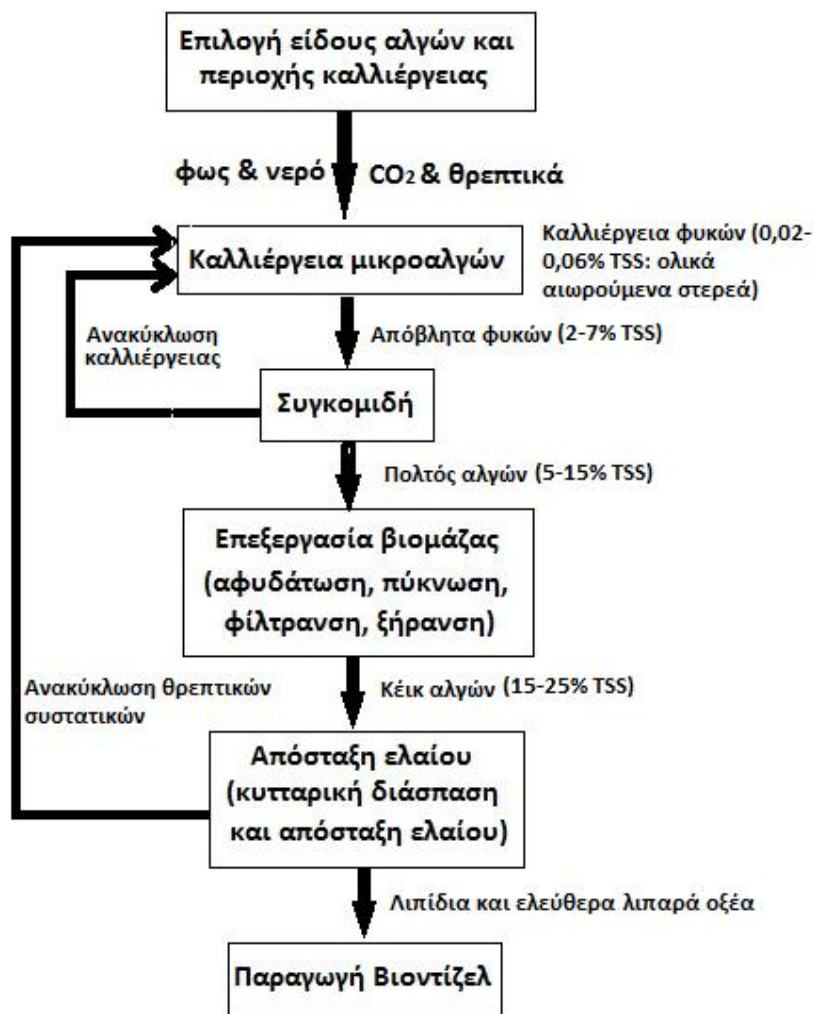
Τα μικροφύκη μπορούν να παράσχουν πρώτες ύλες για διάφορους τύπους ανανεώσιμων καυσίμων όπως το βιοντίζελ, το μεθάνιο, το υδρογόνο, η αιθανόλη, μεταξύ άλλων. Το βιοντίζελ των φυκών δεν περιέχει θείο και παράγει πετρέλαιο ντίζελ, ενώ μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων, μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογονανθράκων και οξειδίων του θείου. Ωστόσο, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου ενδέχεται να είναι υψηλότερες σε ορισμένους τύπους κινητήρων (Delucchi, 2003). Η χρησιμοποίηση μικροφυκών για την παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί επίσης να εξυπηρετήσει άλλους σκοπούς. Ορισμένες δυνατότητες που εξετάζονται σήμερα παρατίθενται παρακάτω.

Αν και σε μια απλοϊκή άποψη, τα μικροάλγη δεν φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά από τις άλλες πρώτες ύλες βιοντίζελ, είναι μικροοργανισμοί που ζουν ουσιαστικά σε υγρό περιβάλλον και επομένως με ιδιαίτερες τεχνικές καλλιέργειας, συγκομιδής και επεξεργασίας που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αποδοτική παραγωγή βιοντίζελ (Mata et al., 2010).

Όλες οι υπάρχουσες διαδικασίες παραγωγής βιοντίζελ από μικροφύκη περιλαμβάνουν μια μονάδα παραγωγής όπου αναπτύσσονται τα κύτταρα, ακολουθούμενη από τον διαχωρισμό των κυττάρων από το αναπτυσσόμενο μέσο και την επακόλουθη εκχύλιση λιπιδίων. Στη συνέχεια, το βιοντίζελ ή άλλα βιοκαύσιμα παράγονται με μορφή παρόμοια με τις υφιστάμενες διαδικασίες και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για άλλες πρώτες ύλες βιοκαυσίμων.

Πρόσφατα, έχουν αρχίσει να διερευνούνται διαφορετικές δυνατότητες παραγωγής βιοκαυσίμων αντί της μετεστεροποίησης, όπως η θερμική πυρόλυση (ή πυρόλυση) που συνεπάγεται τη θερμική αποσύνθεση ή διάσπαση των τριγλυκεριδίων και άλλων οργανικών ενώσεων που παρουσιάζονται στην πρώτη ύλη, σε απλούστερα μόρια, δηλαδή αλκάνια, αλκένια, αρωματικά και καρβοξυλικά οξέα (Bahadur et al., 1995; Babu, 2008; Boateng et al., 2008).

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει μια σχηματική αναπαράσταση των σταδίων της αλυσίδας αξίας βιοντίζελ των μικροαλγών, ξεκινώντας με την επιλογή των ειδών μικροφυκών ανάλογα με τις τοπικές ειδικές συνθήκες και το σχεδιασμό και την εφαρμογή του συστήματος καλλιέργειας για την ανάπτυξη μικροφυκών. Στη συνέχεια, ακολουθεί η συγκομιδή, η επεξεργασία και η ανάκτηση της βιομάζας για την προμήθεια της μονάδας παραγωγής βιοντίζελ.



Εικόνα 24 Στάδια παραγωγής βιοντίζελ από την καλλιέργεια μικροαλγών

Η επεξεργασία αποτελεί σημαντικό οικονομικό περιορισμό στην παραγωγή προϊόντων χαμηλού κόστους (καύσιμα, ζωοτροφές και τρόφιμα) καθώς και σε προϊόντα υψηλότερης αξίας (β-καροτένιο, πολυσακχαρίτες). Είναι δύσκολο να συζητηθεί η επεξεργασία, δεδομένου ότι είναι ιδιαίτερα συγκεκριμένη και εξαρτάται ως επί το πλείστο από τα επιθυμητά προϊόντα (Mata et al., 2010).

Είναι κοινή η εφαρμογή της αφυδάτωσης της βιομάζας, η οποία επίσης αυξάνει τη διάρκεια ζωής της και το τελικό προϊόν. Χρησιμοποιήθηκαν αρκετές μέθοδοι για την ξήρανση των μικροφυκών, με

τις πιο διαδεδομένες να είναι η ξήρανση με ψεκασμό, η ξήρανση με τύμπανο, η ξήρανση με ψύξη και η ξήρανση στον ήλιο (Richmond, 2008).

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας της βιομάζας των φυκών σε νερό, η ξήρανση στον ήλιο δεν αποτελεί μια αρκετά αποτελεσματική μέθοδο για την παραγωγή σκόνης φυκών και η ξήρανση με ψεκασμό δεν είναι οικονομικά εφικτή για προϊόντα χαμηλής αξίας, όπως για την παραγωγή βιοκαυσίμων ή πρωτεϊνών.

Μετά την ξήρανση ακολουθεί η διάσπαση των κυττάρων των μικροφυκών για την απελευθέρωση των ενδιάμεσων μεταβολιτών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι ανάλογα με το τοίχωμα των μικροφυκών και τη φύση του προϊόντος είτε με βάση τη μηχανική δράση (π.χ. ομογενοποιητές κυττάρων, μύλοι σφαιριδίων, υπερήχους και ξήρανση με ψεκασμό) είτε μη μηχανική δράση (π.χ. κατάψυξη, οργανικοί διαλύτες και οσμωτικό σοκ και αντιδράσεις οξέος, βάσης και ενζύμου). Λαμβάνοντας το παράδειγμα της ανάκτησης της ασταξανθίνης, αν και έχουν μελετηθεί διαφορετικές μέθοδοι, τα βέλτιστα αποτελέσματα που ελήφθησαν από βιομάζα που είχε υποβληθεί σε αυτόκαυστο και μηχανική διατάραξη κυττάρων, παρουσίασαν απόδοση 3 φορές υψηλότερη από ότι με άλλες μεθόδους (Richmond, 2008).

Για την παραγωγή βιοντίζελ, τα λιπίδια και τα λιπαρά οξέα πρέπει να εξαχθούν από τη βιομάζα των μικροοργανισμών. Για τα λιπίδια, η εκχύλιση με διαλύτη εκτελείται κανονικά απευθείας από τη κονιοποιημένη βιομάζα, καθώς αποτελεί μια γρήγορη και αποτελεσματική μέθοδο εκχύλισης που μειώνει ελαφρώς την αποικοδόμηση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλοί διαλύτες όπως το εξάνιο, η αιθανόλη (96%) ή το μίγμα εξάνιο-αιθανόλης (96%), επιτρέποντας την ποσοτική εκχύλιση καθαρισμένων λιπαρών οξέων σε ποσοστό ως και 98% (Richmond, 2008). Αν και η αιθανόλη είναι πολύ καλός διαλύτης, μπορεί επίσης να εκχυλίσει μερικές μολυσματικές ουσίες όπως σάκχαρα, αμινοξέα, άλατα, υδρόφοβες πρωτεΐνες και χρωστικές ουσίες, κάτι που δεν είναι επιθυμητό εάν ο σκοπός της εκχύλισης είναι μόνο η εξαγωγή των λιπιδίων.

Οι μέθοδοι εκχύλισης όπως ο υπέρηχος και τα μικροκύματα υποβλήθηκαν σε μελέτη για την εξόρυξη ελαίου από φυτικές πηγές. Οι Cravotto et al (2008), χρησιμοποίησαν τις μεθόδους αυτές, σημειώνοντας τα αποτελέσματα των χρόνων και των αποδόσεων εξαγωγής ελαίου και συγκρίνοντας τα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις συμβατικές διαδικασίες. Για το σκοπό αυτό η ερευνητική ομάδα των ερευνητών ανέπτυξε συσκευές υπερήχων που λειτουργούν σε συχνότητες 19, 25, 40 και 300 kHz και φούρνο μικροκυμάτων πολλαπλών λειτουργιών που λειτουργούν με ανοικτά και κλειστά δοχεία, καθώς και συνδυασμένη εκχύλιση με ταυτόχρονη διπλή ηχομόνωση 19 και 25 kHz και ταυτόχρονη ακτινοβολία μικροκυμάτων με υπερήχους.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους, αυτές οι νέες μέθοδοι μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την εξόρυξη πετρελαίου με υψηλότερη απόδοση. Οι χρόνοι εκχύλισης μειώθηκαν και οι αποδόσεις αυξήθηκαν κατά 50-500% με χαμηλό ή μέτριο κόστος και ελάχιστη τοξικότητα. Στην περίπτωση των θαλάσσιων μικροφυκών *Cryptocodinium cohnii*, ο υπέρηχος λειτούργησε καλύτερα καθώς η διάσπαση του σκληρού τοιχώματος των κυττάρων των φυκών βελτίωσε σημαντικά την απόδοση της εκχύλισης από 4,8% σε 25,9%.

### 3.10.1 Παραγωγή βιοντίζελ

Το βιοντίζελ είναι ένα μίγμα αλκυλεστέρων λιπαρών οξέων που λαμβάνονται με διεστεροποίηση (αντίδραση ανταλλαγής εστέρων) φυτικών ελαίων ή ζωικών λιπών. Αυτές οι πρώτες ύλες λιπιδίων αποτελούνται από 90-98% (βάρους) τριγλυκεριδίων και μικρές ποσότητες μονο- και διγλυκεριδίων, ελεύθερα λιπαρά οξέα (1-5%) και υπολειμματικές ποσότητες φωσφολιπιδίων, φωσφατιδίων, καροτινών, τοκοφερόλης, ενώσεων θείου και ιχνών νερού (Bozbas, 2008).

Η μετεστεροποίηση είναι μια αντίδραση πολλαπλών σταδίων, συμπεριλαμβανομένων τριών αναστρέψιμων βημάτων σε σειρά, όπου τα τριγλυκερίδια μετατρέπονται σε διγλυκερίδια, στη συνέχεια τα διγλυκερίδια μετατρέπονται σε μονογλυκερίδια και τα μονογλυκερίδια μετατρέπονται σε εστέρες (βιοντίζελ) και γλυκερόλη (παραπροϊόν) (Mata et al., 2010).

Για την αντίδραση μετεστεροποίησης χρησιμοποιούνται συνήθως ως αντιδραστήρια έλαιο ή λίπος και μια αλκοόλη βραχείας αλυσίδας (συνήθως μεθανόλη), παρουσία καταλύτη (συνήθως NaOH). Αν και η θεωρητική γραμμομοριακή αναλογία αλκοόλης: λαδιού είναι 3:1, η γραμμομοριακή αναλογία 6:1 χρησιμοποιείται γενικά για να ολοκληρωθεί με ακρίβεια η αντίδραση. Η σχέση μεταξύ της εισροής μάζας τροφοδοσίας και της παραγωγής μάζας βιοντίζελ είναι περίπου 1:1, πράγμα που σημαίνει ότι θεωρητικά, 1 kg ελαίου έχει ως αποτέλεσμα περίπου 1 kg βιοντίζελ (Mata et al., 2010).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ομοιογενής ή ετερογενής, όξινος ή βασικός καταλύτης για να ενισχυθεί ο ρυθμός αντίδρασης της διεστεροποίησης, αν και για ορισμένες διεργασίες που χρησιμοποιούν υπερκρίσιμα υγρά (μεθανόλη ή αιθανόλη) μπορεί να μην είναι απαραίτητη η χρήση καταλύτη (Warabi et al., 2004). Οι περισσότερες κοινές βιομηχανικές διεργασίες χρησιμοποιούν ομοιογενείς αλκαλικούς καταλύτες (π.χ. NaOH ή KOH) σε αναδευόμενο αντιδραστήρα που λειτουργεί σε κατά παρτίδες τρόπο.

Πρόσφατα προτάθηκαν κάποιες βελτιώσεις για αυτή τη διαδικασία, ιδίως για να μπορούν να λειτουργούν σε συνεχή λειτουργία με μειωμένο χρόνο αντίδρασης, όπως αντιδραστήρες με βελτιωμένη ανάμιξη, αντίδραση με μικροκύματα (Cravotto et al., 2008; Azcan & Danisman, 2008),

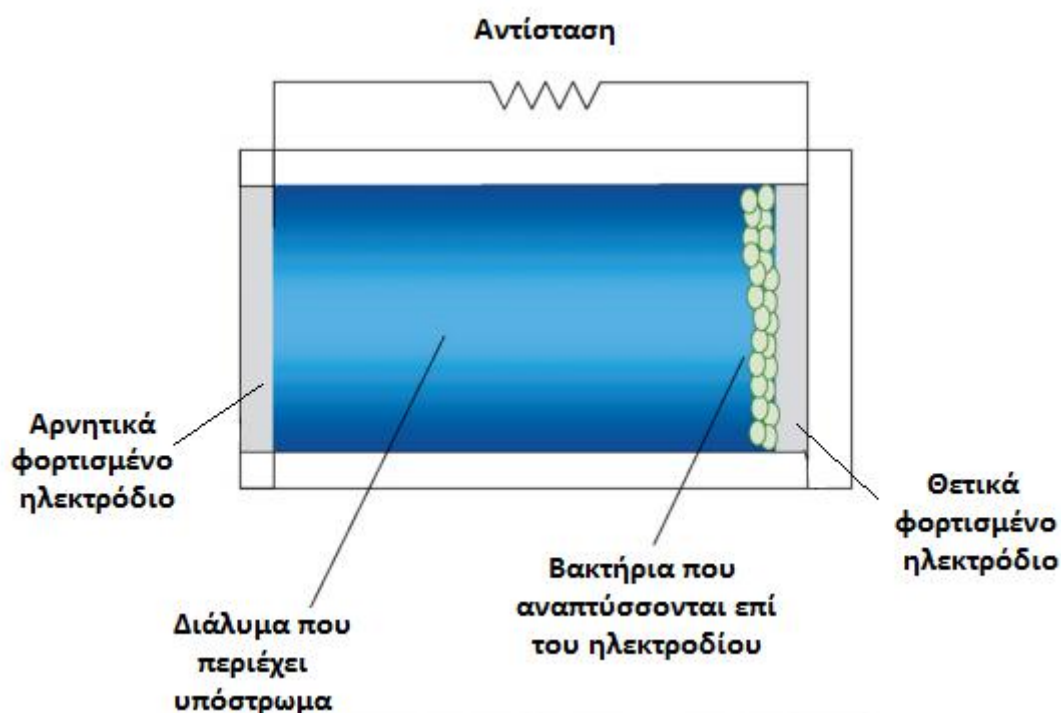
αντιδραστήρες σπηλαίωσης (Gogate, 2008; Gogate & Kabadi, 2009) και υπερηχητικοί αντιδραστήρες (Kalva et al., 2008; Deshmane et al., 2008).

### 3.11 Παραγωγή βιοηλεκτρισμού από θαλάσσια βακτήρια , ακτινοβακτήρια και μύκητες

Από το έργο του Potter (1911), όπως αναφέρεται στους Logan & Regan, (2006), διαπιστώνεται ότι η γνώση της ιδιότητας των βακτηριδίων να παράγουν ηλεκτρισμό υπάρχει για πάνω από 100 χρόνια πλέον, αλλά μόνο κατά την τελευταία δεκαετία έχει αρχίσει η διερεύνηση του φαινομένου. Οι λόγοι για αυτό το πρόσφατο ενδιαφέρον της χρήσης βακτηρίων για την παραγωγή ηλεκτρισμού, αποτελεί συνδυασμό παραγόντων όπως:

1. η ανάγκη για νέες πηγές ενέργειας,
2. η ανακαλύψεις για τη μικροβιακή φυσιολογία που σχετίζεται με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και
3. η πρόοδος των τεχνολογιών κυψελών καυσίμου.

Σε μια μικροβιακή κυψέλη καυσίμου (MFC), τα βακτηρίδια διαχωρίζονται από έναν τελικό αποδέκτη ηλεκτρονίων στην κάθοδο έτσι ώστε το μόνο μέσο αναπνοής είναι να μεταφέρονται τα ηλεκτρόνια στην άνοδο, όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 25 Σχηματική παράσταση ενός μικροβιακού κυττάρου καυσίμου μονού θαλάμου.

Τα ηλεκτρόνια ρέουν στην κάθοδο ως αποτέλεσμα του ηλεκτροχημικού δυναμικού μεταξύ του αναπνευστικού ενζύμου και του δέκτη ηλεκτρονίων στην κάθοδο. Η μεταφορά ηλεκτρονίων από την άνοδο στην κάθοδο πρέπει να αντιστοιχεί σε ίσο αριθμό πρωτονίων που μετακινούνται μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων, έτσι ώστε να διατηρείται η ουδετερότητα.

Η μικροβιακή οξειδωση των οργανικών και ανόργανων ενώσεων μπορεί να συζευχθεί με τη μείωση των ηλεκτροδίων σε μια μικροβιακή κυψέλη καυσίμου (MFC) για να δημιουργηθεί ένα άμεσο ηλεκτρικό ρεύμα (Logan et al., 2006, Lovley 2006). Αυτό το φαινόμενο λαμβάνει νέα προσοχή λόγω της ενδιαφέρουσας δυνατότητας ανάπτυξης διαδικασιών βιώσιμης ενέργειας που δεν απαιτούν την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Μέχρι στιγμής, οι πυκνότητες ρεύματος και ισχύος που επιτυγχάνονται με τα MFCs είναι σχετικά χαμηλές, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία αισθητήρων και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών, για την παραγωγή ενέργειας για απομακρυσμένες εφαρμογές και για την επεξεργασία αποβλήτων ενώ παράγουν ηλεκτρισμό.

Πολλοί παράγοντες περιορίζουν την απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου και, προς το παρόν, μεγάλο μέρος της έρευνας για τα MFC επικεντρώνεται στη βελτίωση του υλικού των κυττάρων. Η απόδοση και οι δυνατότητες των βιολογικών καταλυτών είναι επίσης κρίσιμες καθώς βελτιώνεται η τεχνολογία MFC. Μία ομάδα μικροοργανισμών που έχει εξεταστεί μόνο σε περιορισμένο βαθμό σε MFCs είναι τα ακραίοφιλα. Η ακραία έκταση του pH, της αλατότητας και της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τα υλικά που λειτουργούν καλύτερα υπό τέτοιες συνθήκες θα μπορούσαν ενδεχομένως να καταλήξουν στην παραγωγή πιο ισχυρών MFCs (Mathis et al., 2008).

Σε διάφορες έρευνες που εκπονήθηκαν σχετικά με τα MFC που λειτουργούν σε μεσόφιλες θερμοκρασίες (κάτω από τους 50°C), προέκυψε ότι παράγουν ενέργεια από την οξειδωση των καυσίμων στα ιζήματα των ωκεανών (Holmes et al., 2004; Reimers et al., 2001; Tender et al., 2002), από νερά λυμάτων (Angenent et al., 2004; Logan, 2005; Min et al., 2005) και βιομάζα (Wilkinson, 2000). Οι θερμοκρασίες άνω των 50°C που προκαλούνται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, τις ηφαιστειακές θερμές πηγές, τις υδροθερμικές σπές, την κομποστοποίηση των αστικών και γεωργικών αποβλήτων, τις γραμμές ατμού και τους αγωγούς ζεστού νερού και την απόβλητη θερμότητα από μια ποικιλία βιομηχανικών διεργασιών, υποστηρίζουν την ανάπτυξη θερμόφιλων βακτηρίων (Madigan & Oren, 1999).

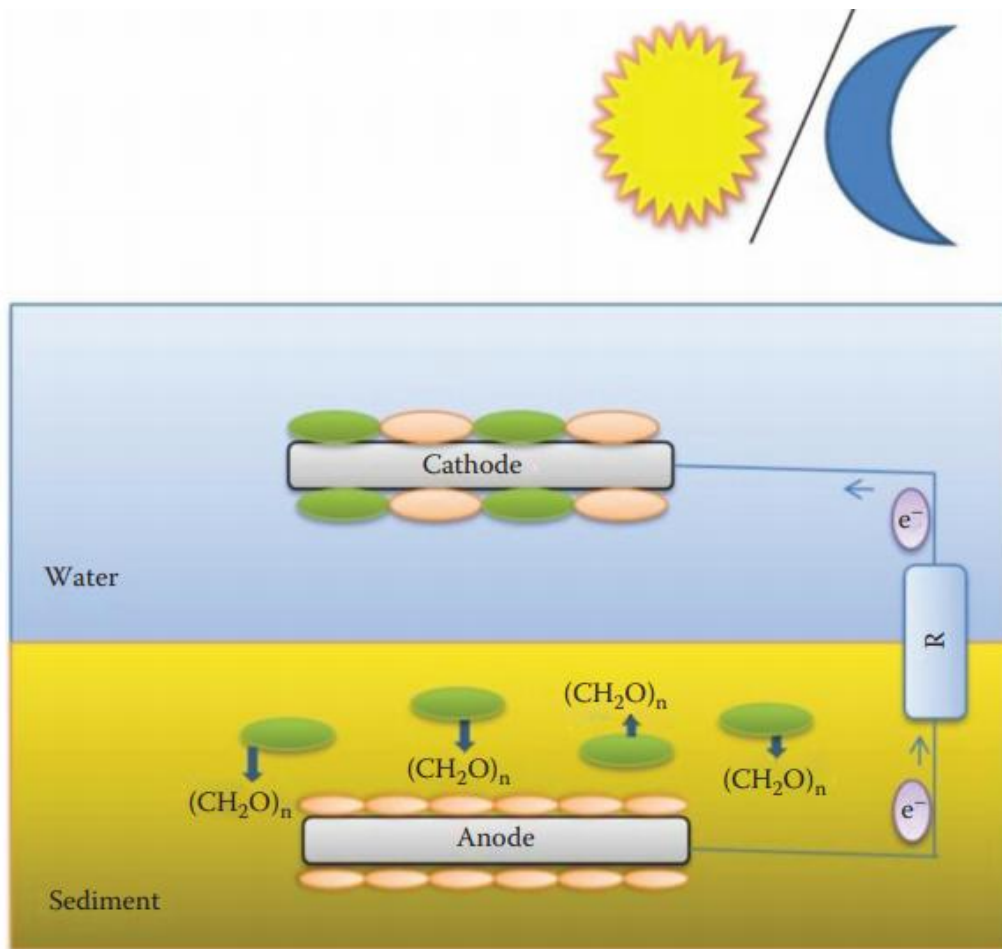
Το έδαφος και τα υδάτινα ιζήματα από εύκρατα περιβάλλοντα είναι γνωστό ότι διαθέτουν θερμόφιλα βακτήρια με βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης άνω των 50°C. Τα ιζήματα είναι επίσης πλούσια σε πολλά από τα πρόσφατα ανακαλυφθέντα μεσοφιλικά βακτήρια που μειώνουν τα ηλεκτρόδια (Bond et al., 2002, Holmes et al., 2004).

Σε ένα MFC, τα βακτήρια χρησιμοποιούν μια άνοδο ως τελικό δέκτη ηλεκτρονίων. Τα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν διαλυτό παράγοντα από το περιβάλλον ως φορέα ηλεκτρονίων για τη μεσολάβηση μεταφοράς ηλεκτρονίων στο ηλεκτρόδιο, απαιτούν την προσθήκη ενός συνθετικού μεσολαβητή (Park & Zeikus, 2000), δημιουργούν έναν διαλυτό μεσολαβητή (Rabaey et al., 2004), ή, μέσω άμεσης επαφής μεταξύ βακτηριδίου και ηλεκτροδίου, απελευθερώνουν ηλεκτρόνια στην επιφάνεια ενός ηλεκτροδίου. Ο μηχανισμός του τελευταίου δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητός, αλλά έχει οριστεί ως ιδιότητα ηλεκτρογονικών βακτηριδίων (Lovley, 2006).

Οι πειραματικές διατάξεις των MFC απαιτούν ειδικά ηλεκτροχημικά όργανα για τη μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Liu et al., 2004; Rabaey et al., 2004). Γενικά, οι τάσεις κυψελών και τα δυναμικά ηλεκτροδίων υπολογίζονται αποτελεσματικά με κανονικούς υπάρχοντες μετρητές τάσης, πολύμετρα και συστήματα λήψης δεδομένων που είναι προσαρτημένα παράλληλα με το κύκλωμα. Οι τάσεις των κυψελών μπορούν να μετρηθούν απευθείας από τη διαφορά τάσης μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Τα δυναμικά των ηλεκτροδίων μπορούν να μετρηθούν έναντι ενός ηλεκτροδίου αναφοράς, το οποίο σύμφωνα με τις απαιτήσεις, πρέπει να ενσωματωθεί στο θάλαμο ηλεκτροδίου (Bard & Faulkner, 2001). Η ηλεκτρική ενέργεια υπολογίζεται με τη χρήση του νόμου Ohm ( $I = E_{\text{cell}} / R$ ) με δεδομένη τη μετρούμενη τάση.

### 3.11.1 Φωτοτροφικά MFC

Έχει σχεδιαστεί ένα αυτοφυές και ιζηματογενές φωτοτροφικό MFC, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη συνεργική αλληλεπίδραση μεταξύ των φωτοσυνθετικών μικροοργανισμών και των ετεροτροφικών βακτηρίων, το οποίο παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα. Από την πειραματική διαδικασία προέκυψαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Αρχικά, υπό συνθήκες φωτισμού, το MFC παράγαγε συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια χωρίς την είσοδο εξωγενών οργανικών ή θρεπτικών ουσιών. Παρόλα αυτά, στην συνέχεια, η παραγωγή του ρεύματος παρουσίασε αύξηση στο σκοτάδι και μείωση με το φως, πιθανώς λόγω της αρνητικής επίδρασης του οξυγόνου που παράγεται μέσω φωτοσύνθεσης (Karuppiah & Li, 2015).



Εικόνα 26 Λεζάντα Ιζηματογενές φωτοτροφικό MCF

Ο συνεχής φωτισμός ανέστειλε την τρέχουσα παραγωγή, ενώ η συνεχής σκοτεινή περίοδος ενέπνευσε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το πλήρες σκοτάδι οδήγησε σε μείωση του ρεύματος, πιθανώς λόγω της κατανάλωσης των οργανικών που συσσωρεύτηκαν κατά την διάρκεια της φάσης φωτός. Η χρήση των φίλτρων χρώματος ή η αύξηση του πάχους του ιζήματος οδήγησε σε μείωση της αναστολής που προκαλείται από το οξυγόνο (He et al., 2007; Zou et al., 2009).

Η μοριακή ταξινομική ανάλυση έδειξε ότι οι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί όπως τα κυανοβακτήρια και τα μικροφύκη υπερισχύουν στην υδατική φάση, δίπλα στην κάθοδο και στην επιφάνεια του ιζήματος. Αντίθετα, τα ιζήματα που εμπλουτίστηκαν από ετερότροφα βακτήρια, μειώνονταν με αυξανόμενο βάθος. Τα άγνη και ορισμένες βακτηριακές ομάδες που υπάρχουν σε θαλάσσια ιζήματα μπορούν να παρέχουν οργανική ύλη (π.χ. αποβαλλόμενους πολυσακχαρίτες) σε ετερότροφα βακτήρια μέσω φωτοσύνθεσης και έτσι να διατηρούν συνεργικές κοινότητες.

Επίσης δοκιμάστηκαν και τα θαλάσσια μικροβιοτικά σε μια φωτοτροφική MFC τύπου ιζήματος, με μια μικροβιακή ανόδο και κάθοδο (Malik et al., 2009). Εδώ, οι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί στις επικαλυπτικές υδατικές στιβάδες παρήγαγαν οξυγόνο για την καθοδική αναγωγή οξυγόνου και την



οργανική ύλη, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πηγή άνθρακα στην άνοδο στο αναερόβιο ίζημα, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα αυτοδιατηρημένο συνεργιστικό βιοηλεκτροχημικό σύστημα με είσοδο φωτός και ηλεκτρική ισχύ.

Οι οργανικές ύλες που αποθηκεύονται στο θαλάσσιο ίζημα και τα απόβλητα αντιπροσωπεύουν έναν τεράστιο ενεργειακό πόρο. Η ικανότητα του MFC να αξιοποιεί την ενέργεια από τα απόβλητα και το φυσικό περιβάλλον τηρεί τις υποσχέσεις των MFC που εφαρμόζονται για περιβαλλοντική διαχείριση ή ως βιώσιμη ενεργειακή τεχνολογία. Η θαλάσσια έρευνα MFC έχει παράσχει κρίσιμες γνώσεις σχετικά με τους γεωχημικούς και μικροβιολογικούς παράγοντες που συμβάλλουν και μπορεί τελικά να περιορίσει την παραγωγή ενέργειας σε πολύπλοκα συστήματα. Μέχρι σήμερα, τα θαλάσσια MFC έχουν αποδειχθεί αξιόπιστες και μακροπρόθεσμες πηγές ενέργειας κατάλληλες για πολλές θαλάσσιες εφαρμογές. Καθώς εξακολουθούν να απαιτούνται περαιτέρω βελτιώσεις σε αυτήν την εκκολαπτόμενη τεχνολογία και η ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνεχίζει να ανεβαίνει, περαιτέρω ευκαιρίες στην αγορά αναμφίβολα θα παρουσιαστούν.

Η επιτυχής εμπορική ανάπτυξη του θαλάσσιου MFC απαιτεί τόσο έναν μηχανικό όσο και έναν επιστήμονα. Η αυξανόμενη πίεση στο περιβάλλον μας και η έκκληση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα τονώσουν περαιτέρω την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας, οδηγώντας σύντομα να ελπίζουμε στην επιτυχή εφαρμογή της. Τα απαραίτητα στοιχεία στο θαλάσσιο MFC περιλαμβάνουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας, την πίεση, τη ροή υγρών, τη μεταφορά μαζών και τη μετατροπή των αντιδραστηρίων. Μόλις εξεταστούν αυτά τα στοιχεία, θα πρέπει να καταστεί δυνατή η σχεδίαση ενός κυττάρου βιοκαυσίμου ως μονάδα λειτουργίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέρος μιας ευρύτερης διαδικασίας.

Στο εγγύς μέλλον, η ανάπτυξη των MFCs για τη δημιουργία ωφέλιμης ενέργειας για αυτές τις εφαρμογές θα περιοριστεί από την αποδοτικότητα και το κόστος των υλικών, τη φυσική αρχιτεκτονική και τους χημικούς περιορισμούς, όπως η αγωγιμότητα του διαλύματος και το pH. Ωστόσο, προκειμένου να καταστούν τα MFCs μια οικονομικά αξιόπιστη τεχνολογία, πρέπει να διεξαχθεί πιο συστηματική και πολυεπιστημονική έρευνα, για παράδειγμα, με τη θέσπιση προτύπων και πρωτοκόλλων, με τη διεξαγωγή στατιστικά σχεδιασμένων πειραμάτων και (κυρίως) με την αύξηση του βαθμού εγκάρσιας αλληλεπίδρασης όπως η μικροβιολογία, η ηλεκτροχημεία, η χημική μηχανική, η ηλεκτρολογική μηχανική, η επιστήμη των υλικών και η νανοτεχνολογία, έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη μέση πυκνότητα ισχύος μία ημέρα, ξεπερνώντας τους περιορισμούς στα MFCs.

## 4. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΘΝΗ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.1 Παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη της θαλάσσιας βιοενέργειας

Οι μικροάλγες ως πρώτη ύλη προσελκύουν την προσοχή σε παγκόσμιο επίπεδο εξαιτίας των κάτωθι παραγόντων (Amaro et al. 2013; Singh et al. 2011; Singh and Olsen 2011):

1. Η ταχύτατη αναπτυξιακή τους δυνατότητα.
2. Η πολύ μικρότερη χρήση γης που απαιτείται για την καλλιέργεια τους.
3. Η περιεκτικότητα τους σε υψηλά επίπεδα λιπιδίων, υδατανθράκων, πρωτεϊνών, νουκλεϊνικών οξέων και βιοδραστικών μεταβολιτών.

Η συμβολή τους στην μείωση των επιπέδων ρύπανσης με τη χρήση θρεπτικών ουσιών από τα λύματα διοξειδίου του άνθρακα από τα καυσαέρια.

Όλες αυτές οι ιδιότητες, καθιστούν την θαλάσσια βιομάζα μια εξαιρετική πηγή βιοκαυσίμων όπως το βιοντίζελ, η βιοαιθανόλη, το βιοϋδρογόνο και το βιομεθάνιο. καθώς και μια σειρά από άλλα πολύτιμα φαρμακευτικά προϊόντα.

Η εμπορική βιωσιμότητα της παραγωγής βιοκαυσίμων με βάση τη θαλάσσια βιομάζα, εξαρτάται από την οικονομία της τεχνολογίας και τις πηγές εισροών που απαιτούνται κατά την καλλιέργεια των φυκών. Η κύρια επένδυση για ένα έργο θαλάσσιας βιομάζας μπορεί να χωριστεί στο κόστος που σχετίζεται με την καλλιέργεια φυκών (ανάπτυξη βιομάζας φυκών, συγκομιδή, αφυδάτωση, ξήρανση κ.α.) και στα συστήματα ανάκτησης ελαίου των φυκών. Οι Singh & Gu, (2010), υπογράμμισαν ότι ανεξάρτητα από τις προόδους που μπορεί να προκύψουν από τις τεχνολογικές και βιολογικές καινοτομίες, η εμπορική αγορά θα πρέπει να επιδείξει κάποιο επίπεδο ενθουσιασμού για τη χρηματοδότηση ενεργειακών έργων.

Το κόστος των μονάδων παραγωγής βιοκαυσίμων μπορεί να κατανεμηθεί σε κόστος εγκατάστασης (π.χ. μηχανική, αδειοδότηση, προετοιμασία υποδομής, σχεδιασμός εγκαταστάσεων, εγκατάσταση και ολοκλήρωση, αμοιβές γης ή χρηματοδοτικής μίσθωσης και εργολάβων) και κόστος λειτουργίας και διαχείρισης (π.χ. κατανομή CO<sub>2</sub> και αναπλήρωση νερού εξαιτίας απωλειών λόγω εξάτμισης, υπηρεσιών κοινής ωφελείας, αντικατάστασης εξαρτημάτων και κόστους εργασίας). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα κόστη και η κατανομή τους ανάλογα με την φύση του κάθε κόστους.

Πίνακας 4 Σημαντικά κεφάλαια κόστους που εμπλέκονται σε μια μονάδα βιοκαυσίμων φυκών

Κόστος εγκατάστασης μονάδας	Κόστος λειτουργίας και διαχείρισης
Μηχανική	Θρεπτικές ουσίες
Αδειοδότηση	Κατανομή CO <sub>2</sub>
Προετοιμασία υποδομής	Αναπλήρωση νερού
Σχεδίαση, εγκατάσταση και ολοκλήρωση	Βοηθητικά προγράμματα
Τέλη ανάδοχου	Αντικατάσταση στοιχείων
Οικόπεδα ή μίσθωση	Εργασία

Οι Singh & Gu (2010) επεσήμαναν ότι θα απαιτηθούν σημαντικές επενδύσεις στις έρευνες για την εξασφάλιση υψηλών επιπέδων παραγωγικότητας που να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της εμπορικής κλίμακας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, ορισμένες εταιρείες και κυβερνητικές οργανώσεις, έχουν προηγουμένως αξιολογήσει διαφορετικές μεθοδολογίες, καθώς και σχεδιάζουν και ετοιμάζουν εκτιμήσεις κόστους για την παραγωγή βιομάζας φυκών σε εμπορική κλίμακα. Πολλές από αυτές τις έρευνες συνιστούν να αναπτυχθεί αποτελεσματικά η εγκατάσταση βιοκαυσίμων φυκών σε γειτονικές περιοχές των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής έτσι ώστε το CO<sub>2</sub> από τα καυσαέρια που παράγονται να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλλιέργεια βιομάζας φυκών, μειώνοντας έτσι αποτελεσματικά το κόστος εισροών που συνεπάγεται η καλλιέργεια (Singh & Gu, 2010). Η αγορά των προϊόντων φυκών εκτιμάται ότι είναι της τάξεως των δισεκατομμυρίων δολαρίων ετησίως με περισσότερα από 20 διαφορετικά εμπορικά προϊόντα (Hudek et al., 2014).

#### 4.2 Βιωσιμότητα και αξιολόγηση του κύκλου ζωής

Η Παγκόσμια Επιτροπή Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης όρισε την βιωσιμότητα ως «την ανάπτυξη που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες» (UNCED 1992). Η μετατροπή της ενέργειας, η αξιοποίηση και η πρόσβαση στηρίζουν πολλές από τις μεγάλες προκλήσεις που συνδέονται με την αειφορία, την περιβαλλοντική ποιότητα, την ασφάλεια και τη φτώχεια (Korres et al. 2010; Korres et al. 2011; Singh and Olsen 2012).

Η αξιολόγηση της βιωσιμότητας προϊόντων ή τεχνολογιών θεωρείται κανονικά ότι περιλαμβάνει επιπτώσεις σε τρεις διαστάσεις, την κοινωνική, την περιβαλλοντική και την οικονομική διάσταση

(Elkington 1998). Αυτές οι τρεις διαστάσεις αποτελούν τη ραχοκοκαλιά των προτύπων βιωσιμότητας. Για να αντικατασταθούν τα ορυκτά καύσιμα με τα βιοκαύσιμα, υπάρχει ανάγκη να μεγιστοποιηθεί η περιβαλλοντική και κοινωνική αξία των βιοκαυσίμων, η οποία είναι επίσης σημαντική για το μέλλον της βιομηχανίας βιοκαυσίμων και το δυναμικό της αγοράς εξαρτάται από το να είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος των ορυκτών καυσίμων. Αυτοί οι τρεις αλληλένδετοι στόχοι πρέπει να παραμείνουν σε ισορροπία ώστε τα βιοκαύσιμα να παραμείνουν βιώσιμα (Singh and Olsen, 2012).

Η βιωσιμότητα της παραγωγής βιοκαυσίμων από θαλάσσια βιομάζα εξαρτάται από το καθαρό ενεργειακό κέρδος που καθορίζεται στα βιοκαύσιμα, το οποίο εξαρτάται από τις παραμέτρους της παραγωγικής διαδικασίας, όπως ο τύπος γης όπου παράγεται η βιομάζα, η ποσότητα των ενεργειακά εντατικών εισροών και η εισροή ενέργειας για τη συγκομιδή, τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, τις εκπομπές και το κόστος παραγωγής τους (Haye & Hardtke, 2009). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι δείκτες για τη μέτρηση της βιωσιμότητας των βιοκαυσίμων περιλαμβάνουν το ενεργειακό ισοζύγιο του κύκλου ζωής, την ποσότητα ορυκτής ενέργειας που αντικαθίσταται ανά εκτάριο, την κατανομή ενέργειας από το συμπαραγωγή, το ισοζύγιο του κύκλου ζωής άνθρακα και τις μεταβολές στη χρήση του εδάφους (Silva Lora et al., 2011).

Ο Gnansounou, (2011), πρότεινε ότι λόγω της πολυδιάστατης επίδρασης των βιοκαυσίμων, η εκτίμηση των επιπτώσεων των πολιτικών στην αειφορία είναι εξίσου σημαντική με την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των οδών παραγωγής και την εκτίμηση των κανονιστικών επιπτώσεων. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων ζητημάτων βιωσιμότητας καθιστούν την αξιολόγηση της ανάπτυξης βιοκαυσίμων δύσκολη και περίπλοκη. Η πολυπλοκότητα σε όλη την αλυσίδα παραγωγής βιοκαυσίμων παράγει διαφορετικά αποτελέσματα λόγω των διαφορών στα δεδομένα εισροών, τις εφαρμοζόμενες μεθοδολογίες και τις τοπικές γεωγραφικές συνθήκες (Singh and Olsen 2011, Yan and Lin 2009). Η αξιολόγηση κύκλου ζωής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποτελεσματικό εργαλείο για την αντιμετώπιση θεμάτων περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

Η αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA) είναι ένα εργαλείο που χρησιμεύει στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων από ένα προϊόν, μια διαδικασία ή μια δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας τη χρήση ενέργειας και των υλικών, καθώς και τις απορρίψεις αποβλήτων, αξιολογώντας τις επιπτώσεις αυτών των αποβλήτων στο περιβάλλον και αξιολογώντας επίσης τις ευκαιρίες για περιβαλλοντικές βελτιώσεις ολόκληρου του κύκλου ζωής (Singh and Olsen, 2012). Η LCA εξετάζει όλα τα χαρακτηριστικά ή τις πτυχές του φυσικού περιβάλλοντος, της ανθρώπινης υγείας και των πόρων, ενώ μπορεί να οριστεί ως η μέθοδος ανάλυσης και αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός υλικού, προϊόντος ή υπηρεσίας κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του (Korres et al., 2010; ISO, 2005).

Ο κύκλος ζωής των βιοκαυσίμων, περιλαμβάνει κάθε στάδιο που εμπλέκεται στην παραγωγή, όπως η παραγωγή και εξόρυξη πρώτων υλών, η επεξεργασία, η μεταφορά, η παραγωγή, η αποθήκευση, η διανομή και χρήση του βιοκαυσίμου. Επιπλέον, τα στάδια του κύκλου ζωής μπορούν να έχουν επιβλαβή αποτελέσματα ή οφέλη από διαφορετικές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις. Για τον λόγο αυτό είναι ζωτικής σημασίας η πλήρης διερεύνηση του κύκλου ζωής των καυσίμων καλύπτοντας όλες τις διαφορετικές προοπτικές (Markevičius et al. 2010).

Η LCA υπήρξε η μέθοδος επιλογής τα τελευταία χρόνια για διάφορα είδη νέων τεχνολογιών για βιοενέργεια και απομόνωση άνθρακα. Η μέθοδος αυτή είναι μια καθολικά αποδεκτή προσέγγιση για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών συνεπειών ενός συγκεκριμένου προϊόντος σε ολόκληρο τον κύκλο παραγωγής του (Pant et al., 2011).

Οι Yang et al. (2011), εξέτασαν τη χρήση νερού και θρεπτικών ουσιών για την παραγωγή βιοντίζελ με βάση τη θαλάσσια βιομάζα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση θαλασσινού νερού ή υγρών αποβλήτων μπορεί να μειώσει τη χρήση γλυκού νερού κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής, μέχρι και 90%. Ωστόσο, για την καλλιέργεια πρέπει να χρησιμοποιείται σημαντική ποσότητα γλυκού νερού (περίπου  $400 \text{ kg kg}^{-1}$  βιοντίζελ), ανεξάρτητα από το αν το θαλασσινό/νερό λυμάτων, χρησιμεύουν ως μέσο καλλιέργειας ή πόσο ανακυκλωμένο νερό συλλέγεται. Αναλύουν επίσης τις χρήσεις του αζώτου, του φωσφόρου, του καλίου, του μαγνησίου και του θείου στο κύκλωμα ζωής και αναφέρουν ότι όταν το νερό συγκομιδής ανακυκλώνεται 100%, η χρήση αυτών των θρεπτικών ουσιών μειώνεται κατά περίπου 55%. Η χρήση θαλασσινού/ νερού λυμάτων για την καλλιέργεια φυκών μπορεί να μειώσει τη χρήση του αζώτου κατά 94% και να εξαλείψει την ανάγκη για κάλιο, μαγνήσιο και θείο. Συνολικά, το αποτύπωμα ύδατος της παραγωγής βιοντίζελ με μικροφύκη μειώνεται σταδιακά από βορρά προς νότο καθώς η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία αυξάνονται.

### 4.3 Εμπορικά προϊόντα που παράγονται από την θαλάσσια βιομάζα

Η παραγωγή βιομάζας των φυκών έχει εφαρμοσθεί και στο παρελθόν όχι όμως για την παραγωγή προϊόντων που προορίζονται για παραγωγή βιοκαυσίμων. Η μεγαλύτερη αγορά που βασίζεται στη βιομάζα φυκών είναι τα προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των συμπληρωμάτων διατροφής και των λειτουργικών τροφών. Υπάρχουν πολλές ροές προϊόντων που σχετίζονται με τη διαδικασία διαχωρισμού. Η παραγωγή γίνεται σε γλυκά νερά, θαλασσινό νερό και συγκομιδές από φυσικές περιοχές θαλασσών και ωκεανών. Λόγω της ποικιλομορφίας των περιβαλλόντων ανάπτυξης και των ειδών, μπορούν να προωθηθούν πολλά περισσότερα δυνητικά προϊόντα και πρέπει να ενθαρρυνθούν πρόσθετες έρευνες (Hudek et al., 2014).

Αυτό φαίνεται και από μελέτες που ανέφεραν ότι η παραγωγή μόνο βιολογικών καυσίμων δεν είναι αρκετά ελκυστική από οικονομική άποψη και ως εκ τούτου η έννοια του συστήματος πολλαπλών

προϊόντων (βιο-διυλιστήριο) θα μπορούσε να προσθέσει αξία για να καταστήσει το σύστημα βιώσιμο και να αυξήσει την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος παραγωγής βιολογικών καυσίμων. Τα υποπροϊόντα που παράγονται κατά την παραγωγή βιοκαυσίμων από τη βιομάζα των φυκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή άλλων χρήσιμων προϊόντων, με αποτέλεσμα την αύξηση του εισοδήματος και τη μείωση του κόστους των βιοκαυσίμων των φυκών. (Hudek et al., 2014).

Τα φύκη έχουν μεγάλη ποικιλία και η παραγωγή προϊόντων φυκών έχει μεγάλη υπόσχεση ότι τα χαρακτηριστικά των φυκών μπορούν να χρησιμεύσουν για την ενίσχυση μιας μεγάλης ποικιλίας σημερινών προϊόντων και την παραγωγή νέων. Η σημερινή επέκταση της αγοράς για τα προϊόντα με βάση τα φύκια δείχνει ένα λαμπρό μέλλον για την έρευνα και την ανάπτυξη προϊόντων φυκών (Hudek et al., 2014). Υπάρχουν πολλά πιθανά χρήσιμα προϊόντα που μπορούν να ανακαλυφθούν και να αναπτυχθούν μέσω μελλοντικής έρευνας (De Luca et al., 2012).

Οι μεγαλύτερες αγορές φυκών είναι η βιομηχανία τροφίμων και τα εμπορικά προϊόντα, περιλαμβάνοντας σκόνες φυκών, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, πολυσακχαρίτες, καροτενοειδή, χρωστικές ουσίες τροφίμων κ.ά. (Capelli et al., 2010; Shahidi; 2008; Yuan, 2008). Τα φύκη χρησιμοποιούνται επίσης για ζωοτροφές, ειδικά στην υδατοκαλλιέργεια (Spolaore et al., 2006; Venugopal, 2009). Τα υδροκολλοειδή, όπως τα αλγινικά άλατα, διατίθενται στην αγορά για τη λειτουργική χρήση τους σε τρόφιμα καθώς και για τη χρήση τους σε πολλά βιομηχανικά προϊόντα (Bixler & Porse, 2011; Venugopal, 2009).

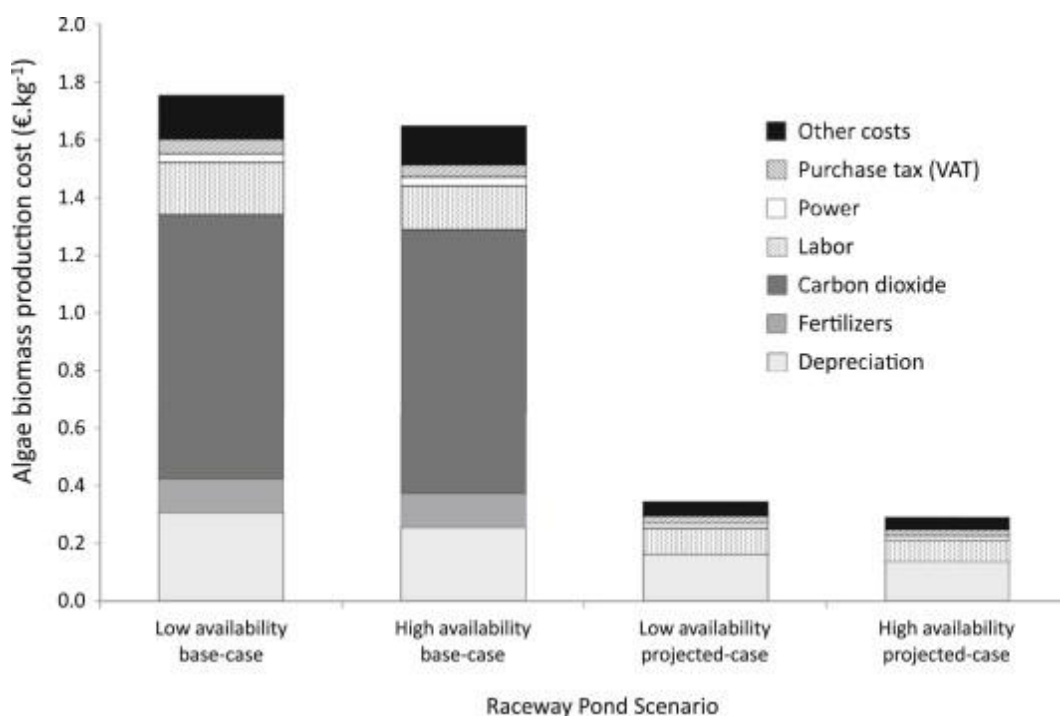
#### 4.4 Περιορισμοί στην εμπορευματοποίηση της θαλάσσιας βιομάζας

Η καλλιέργεια βιομάζας φυκών σε εμπορική κλίμακα είναι στην πράξη κυρίως για διατροφικά προϊόντα από συστήματα παραγωγής μικρής και μεσαίας κλίμακας και παράγει τεράστια βιομάζα ετησίως. Τα κύρια γένη των φυκών που καλλιεργούνται επί του παρόντος σε εμπορική κλίμακα για την παραγωγή διατροφικών προϊόντων περιλαμβάνουν *Spirulina*, *Chlorella*, *Haematococcus*, *Dunaliella*. Η παραγωγή βιομάζας αλγών γίνεται κυρίως στην Κίνα, την Ιαπωνία, τις ΗΠΑ, την Αυστραλία, την Ινδία και ορισμένες άλλες χώρες (Henrikson 2009).

Η εμπορική παραγωγή της Σπιρουλίνας συνεχίζεται από το 1982 στις Γηραιές Φάρμες της Καλιφόρνιας (Henrikson 2009). Οι ανοιχτές λίμνες χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη σπιρουλίνας σε υψηλό pH, με διοχέτευση διοξειδίου του άνθρακα στο νερό για την παροχή άνθρακα και αζώτου, ενώ κάλιο και άλλα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά παρέχονται από αποστειρωμένες πηγές για να αποφευχθεί ενδεχόμενη μόλυνση. Η σπιρουλίνα αναπτύσσεται βέλτιστα στους 35-38 ° C. Ωστόσο, δεν είναι δυνατή η ρύθμιση της θερμοκρασίας στο σύστημα ανοιχτών δεξαμενών. Αρκετές εμπορικές επιχειρήσεις έχουν δημιουργηθεί στην ηλιόλουστη έρημο της Καλιφόρνιας, στη Χαβάη και

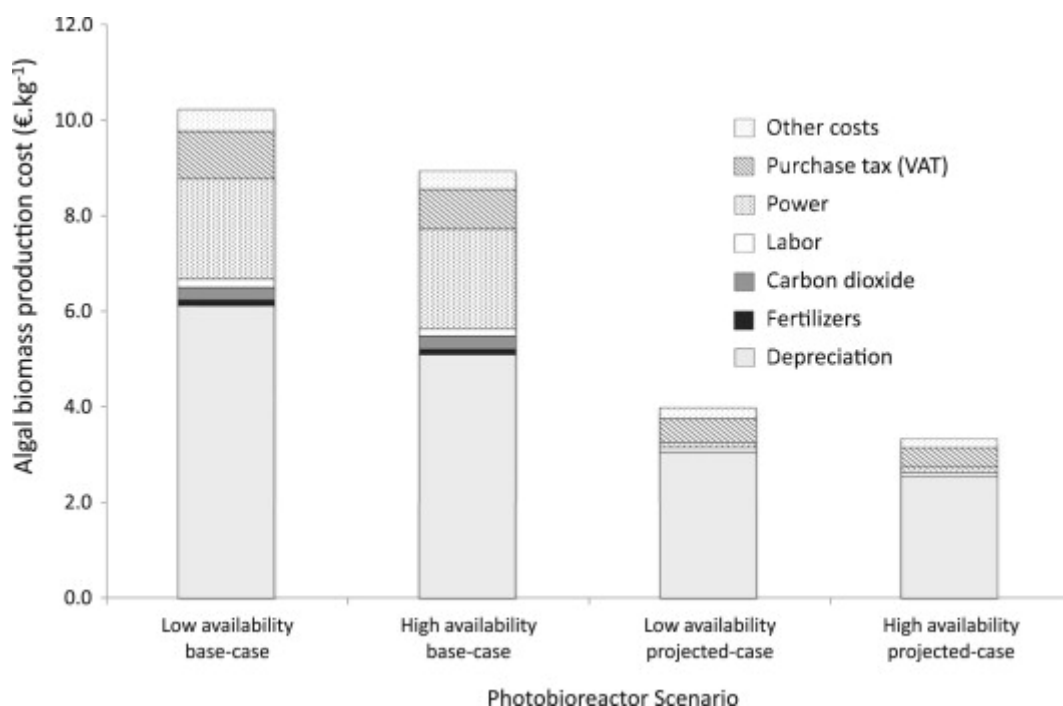
σε άλλες περιοχές όπου ο ήλιος και η θερμοκρασία είναι κατάλληλοι για μια αποδοτική παραγωγή. Ως πηγή γλυκού νερού στις καλλιέργειες χρησιμοποιείται το νερό του ποταμού Κολοράντο (Hudek et al., 2014). Η μέθοδος της διήθησης χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό της σπιρουλίνας από το νερό, ενώ για τη ξήρανση χρησιμοποιείται η τεχνική ξήρανσης με ψεκασμό, καθώς αποτελεί μια γρήγορη διαδικασία και διατηρεί τα θρεπτικά συστατικά που είναι ευαίσθητα στη θερμότητα (Henrikson 2009, Hu 2004).

Η πιο συνηθισμένη τεχνική για την παραγωγή βιομάζας φυκών σε εμπορική κλίμακα είναι οι δεξαμενές ανοιχτής λίμνης, με εξαιρετικά χαμηλή παραγωγικότητα (Chisti, 2012; Terry & Raymond, 1985). Το ζήτημα αν οι ανοιχτές δεξαμενές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή επαρκούς βιομάζας φυκών με χαμηλό κόστος για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι αμφισβητήσιμη (Chisti, 2012). Τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας όπως τα φωτοβιοαντιδραστήρια είναι πιο παραγωγικά, αλλά είναι ακριβά και απαιτούν πολλή ενέργεια για να λειτουργήσουν. Μια υψηλή ενεργειακή δαπάνη για την παραγωγή βιομάζας φυκών είχε ως αποτέλεσμα τον χαμηλό Συντελεστή Καθαρής Ενέργειας, γεγονός που καθιστά το βιοκαύσιμο των φυκών μη βιώσιμο και μη αποδεκτό (Singh et al., 2012; Wongluang et al., 2013). Οι νέες μέθοδοι παραγωγής βιομάζας που βασίζονται στο ηλιακό φως, στα βιομηχανικά καυσαέρια, στα θαλάσσια ύδατα και στα λύματα θα μπορούσαν να είναι φθηνές και ενεργειακά αποδοτικές.



Εικόνα 27 Κόστος παραγωγής βιομάζας αλγών στην περίπτωση χρήσης δεξαμενής ανοιχτού τύπου

Οι Zijffers et al., (2010) ανέφεραν ότι μια καλλιέργεια φυκών υψηλής πυκνότητας είναι εφικτή μόνο σε υψηλές εντάσεις φωτός με επαρκή παροχή θρεπτικών συστατικών και μόνο σε ένα σύστημα ανάπτυξης με μικρό βάθος. Η παραγωγικότητα της βιομάζας των φυκών μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά όχι μόνο μέσω της μηχανικής, αλλά και με την αντιμετώπιση θεμάτων που αφορούν την βιολογία των φυκών. Όσον αφορά την παραγωγικότητα της βιομάζας, τα υπάρχοντα συστήματα καλλιέργειας δεν πλησιάζουν τα βιολογικά όρια της παραγωγικότητας. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή μια καλλιέργεια φυκών αναπόφευκτα είναι περιορισμένη λόγω αμοιβαίας σκίασης από τα κύτταρα και είναι ευαίσθητη στη φωτοαναστολή σε επίπεδο φωτισμού που είναι μόνο περίπου το 10% του μέγιστου επιπέδου ηλιοφάνειας σε μια τροπική περιοχή (Chisti, 2013).



**Εικόνα 28 Κόστος παραγωγής βιομάζας αλγών στην περίπτωση χρήσης δεξαμενής ανοιχτού τύπου**

Ο Chisti (2013) επεσήμανε τους κύριους περιορισμούς στην εμπορική παραγωγή βιομάζας φυκών, καταλήγοντας στο ότι είναι απαραίτητη ένας χαμηλού κόστους εφοδιασμός διοξειδίου του άνθρακα, σε συνδυασμό με άλλους βασικούς πόρους, ώστε να επιτευχθεί βιώσιμη παραγωγή βιοκαυσίμων. Η βιωσιμότητα της παραγωγής βιοκαυσίμων από θαλάσσια βιομάζα, απαιτεί την ανάπτυξη της ικανότητας της εξολοκλήρου ανακύκλωσης των θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητα για την καλλιέργεια φυκών. Η ανάπτυξη της ικανότητας βιοαεριοποίησης αζώτου στα στελέχη των φυκών πρέπει να είναι ένας σημαντικός μακροπρόθεσμος στόχος για τη στήριξη της παραγωγής καυσίμων φυκών.

Η περιορισμένη παροχή γλυκού νερού μπορεί να αποτελέσει έναν ακόμα σημαντικό περιορισμό για την παραγωγή σε εμπορική κλίμακα, ακόμη και αν χρησιμοποιούνται θαλάσσια άλγη. Διαδικασίες



ανάκτησης ενέργειας ή χρήσιμων προϊόντων από τη βιομάζα φυκών, που απομένουν μετά την ανάκτηση των ελαίων, απαιτούνται για την επίτευξη καθαρού θετικού ενεργειακού ισοζυγίου. Η γενετική και μεταβολική επεξεργασία των μικροφυκών για την τόνωση της παραγωγής ελαίων είναι απαραίτητες για την εμπορευματοποίηση των καυσίμων των φυκών (Chisti, 2013).

Οι Hudek et al., (2014), ανέφεραν ότι για να παράγουν ένα εμπορικό προϊόν, τα φύκη πρέπει να μπορούν να καλλιεργούνται σε λογικό κόστος και με κατάλληλο ποιοτικό έλεγχο για να έχουν ένα προϊόν με αρκετή καθαρότητα ώστε να εξυπηρετούν τις ανάγκες των πελατών. Η επεξεργασία που απαιτείται για την παραγωγή ενός προϊόντος με τις επιθυμητές λειτουργικές ιδιότητες πρέπει να είναι οικονομικού κόστους για να ανταγωνιστεί με άλλα υπάρχοντα προϊόντα. Η αξία των προϊόντων από τα φύκη πρέπει να υπερβαίνει το κόστος παραγωγής ώστε να έχει καλές πωλήσεις και μια αναπτυσσόμενη αγορά.

#### 4.5 Βασικές στρατηγικές για την εμπορευματοποίηση της θαλάσσια βιομάζας

Τα φύκη μπορούν να καλλιεργηθούν για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων με λιγότερη χρήση γης. Ωστόσο, η καλλιέργεια βιομάζας φυκών σε εμπορική κλίμακα για την παραγωγή εμπορικών αγαθών πρέπει να πραγματοποιείται με κατάλληλη περιβαλλοντική διαχείριση. Σε μια μελέτη, ο Thurmond, (2009), έχει εντοπίσει πέντε βασικές στρατηγικές:

1. Παχύτερα κύτταρα μικροφυκών.
2. Ταχύτερη ανάπτυξη μικροφυκών.
3. Φθηνότερη ανάπτυξη μικροφυκών.
4. Ευκολότερη παραγωγή μικροφυκών.
5. Χρήση κλασματικών μεθόδων μάρκετινγκ

Σύμφωνα με τον Thurmond, αυτές οι πέντε στρατηγικές έχουν ως βασικό στόχο να βοηθήσουν τους παραγωγούς να μειώσουν το κόστος και να επιταχύνουν την εμπορευματοποίηση του βιοντίζελ των φυκών.

Μια πρωταρχική στρατηγική για τους περισσότερους παραγωγούς βιοκαυσίμων φυκών είναι η αναγνώριση ειδών φυκών που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε έλαια και αναπτύσσονται γρήγορα για την παραγωγή βιοντίζελ και άλλων βιοκαυσίμων. Οι παραγωγοί αλγών ενδιαφέρονται να επιλέξουν τα είδη φυκών με υψηλή περιεκτικότητα σε έλαιο τριγλυκεριδίων (TAG) για παραγωγή βιοντίζελ και βιοκαυσίμων. Η χρησιμοποίηση παχύτερων φυκών με περιεκτικότητα σε έλαιο 60% μπορεί να μειώσει σημαντικά το μέγεθος και το αποτύπωμα των συστημάτων παραγωγής βιολογικών καυσίμων των αλγών, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κεφαλαίου και του λειτουργικού κόστους και την εξοικονόμηση πόρων για τα συστήματα (Thurmond 2009).

Η πιο σημαντική οικονομική πρόκληση για την παραγωγή βιομάζας φυκών σε εμπορική κλίμακα, είναι η αναγνώριση μεθόδων ανάκτησης ελαίου με χαμηλό κόστος παραγωγής και συγκομιδής. Η μείωση του κόστους στα συστήματα παραγωγής αλγών είναι απαραίτητη για τους παραγωγούς, καθώς τους δίνει την δυνατότητα να δημιουργήσουν οικονομικά βιώσιμες και κερδοφόρες επιχειρήσεις. Τα συστήματα παραγωγής αλγών είναι ένα σύνθετο σύστημα, το οποίο απαρτίζεται από διάφορα υποσύνολα συστημάτων, όπως η παραγωγή, η συγκομιδή, η εκχύλιση και τα συστήματα ξήρανσης. Οπότε αν μειωθούν τα βήματα της παραγωγής βιοκαυσίμων θαλάσσιας βιομάζας, θα είναι εφικτή η δημιουργία ενός συστήματος παραγωγής όπου οι διεργασίες θα είναι πιο εύκολο να υλοποιηθούν και θα εκτελούνται με καλύτερο ποιότητα, ενώ παράλληλα θα επιτυγχάνεται χαμηλότερο κόστος παραγωγής (Thurmond 2009).

Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μπορούν να παράγουν λιπαρά οξέα Ωμέγα 3 και Ωμέγα 6, καθώς και πολύτιμα προϊόντα όπως η Βήτα Καροτίνη και άλλα συμπληρώματα διατροφής και φαρμακευτικά συμπληρώματα από καροτενοειδή. Τα άλλα κλάσματα της βιομάζας των φυκών περιέχουν πολύτιμα χημικά ή μοριακές ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πράσινων πλαστικών, πράσινων απορρυπαντικών, καθαριστικών και πολυμερών που είναι βιοδιασπώμενα, μη τοξικά και μπορούν να πωληθούν σε προνομιακή τιμή. Αυτές οι στρατηγικές μάρκετινγκ για συμπαραγωγή βιομάζας θα είναι κρίσιμες για την επιτυχία του βιοντίζελ και των λοιπών βιοκαυσίμων (Thurmond 2009).

Οι Singh & Gu, (2010), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ένα υβριδικό διυλιστήριο βιοκαυσίμων μπορεί να εφαρμοστεί με κέρδη για τα βιοκαύσιμα που παράγονται από την θαλάσσια βιομάζα. Το διοξείδιο του άνθρακα και τα θρεπτικά συστατικά μπορούν να ανακυκλωθούν για την καλλιέργεια μικροφυκών και έτσι να βοηθήσουν στην απομόνωση του άνθρακα. Εκτός από τα καύσιμα, μπορούν να δημιουργηθούν και άλλα πολύτιμα προϊόντα για να καταστήσουν τη διαδικασία εμπορευματοποίησης μια κερδοφόρα επιχείρηση.

#### 4.6 Συμφωνία Task 40

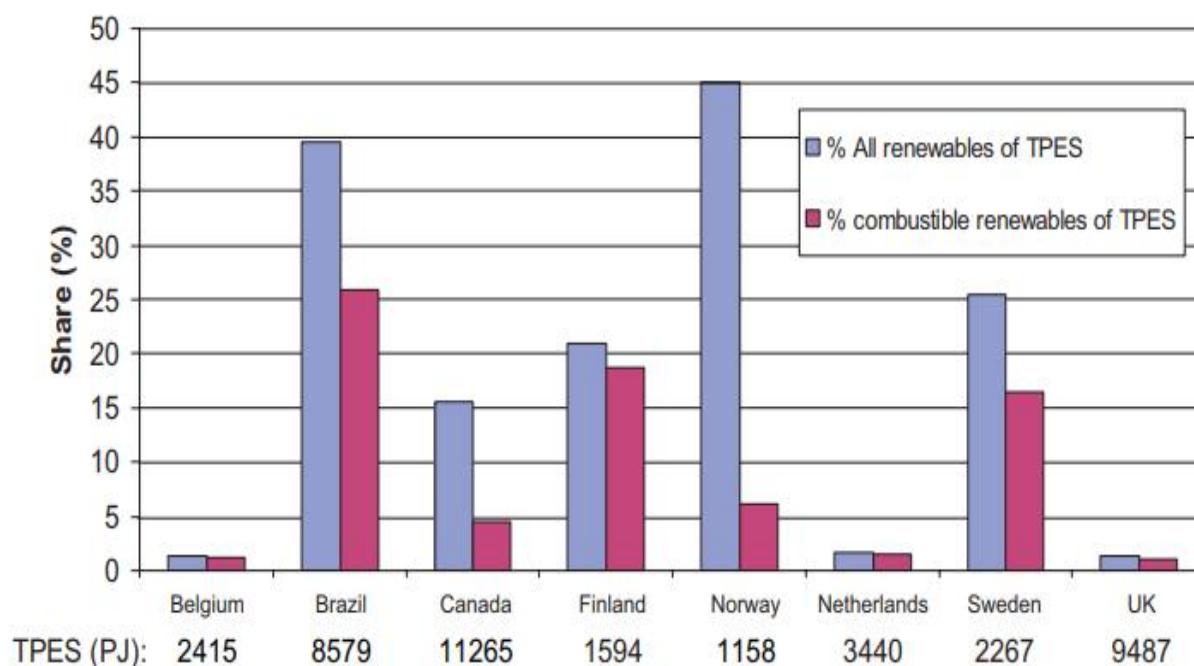
Το Task 40 δημιουργήθηκε με τη συμφωνία εφαρμογής του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) για τη βιοενέργεια το Δεκέμβριο του 2003, με στόχο την επικέντρωση στο διεθνές εμπόριο βιοενέργειας και τις ευρύτερες επιπτώσεις του. Το εμπόριο βιοενέργειας επεκτάθηκε ταχέως τα τελευταία χρόνια. Η στερεή βιομάζα, τα υγρά βιοκαύσιμα, η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ, διακινούνται όλο και περισσότερο για εφαρμογές όπως η παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο και άνθρακα), η θέρμανση και τα καύσιμα μεταφοράς (Junginger et al., 2008).

Το εμπόριο αυτό συμβαίνει σε σημαντικές κλίμακες, τόσο σε εθνικές και περιφερειακές, όσο και σε παγκόσμιες αγορές ενέργειας. Το μελλοντικό όραμα του Task 40 της IEA για το παγκόσμιο εμπόριο βιοενέργειας είναι ότι θα εξελιχθεί σε μια «παγκόσμια αγορά βασικών προϊόντων», η οποία θα διασφαλίσει την προσφορά και τη ζήτηση με βιώσιμο τρόπο. Η κινητήρια δύναμη πίσω από την επέκταση της βιοενέργειας είναι η δυνατότητα που διαθέτει για την παροχή οικονομικά προσιτής και πρακτικής ανανεώσιμης πηγής ενέργειας για την άμβλυση της κλιματικής αλλαγής, την ενεργειακή ασφάλεια και την αγροτική ανάπτυξη.

Μέχρι στιγμής, το διεθνές εμπόριο βιομάζας δεν έχει καλυφθεί επαρκώς. Τα υπάρχοντα στατιστικά στοιχεία συχνά δεν καλύπτουν τον τελικό προορισμό των εμπορεύσιμων προϊόντων, όπως η βιοαιθανόλη ή το φοινικέλαιο, ή συγκεκριμένα καύσιμα βιομάζας, όπως τα συσσωματώματα ξύλου, περιλαμβάνονται σε γενικότερες κατηγορίες, καθιστώντας αδύνατον να προσδιοριστεί η ποσότητα κάθε προϊόντος που χρησιμοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς. Επίσης, σημαντικές ποσότητες εμπορίου βιομάζας εμφανίζονται έμμεσα, (π.χ. φλοιός και πριονίδι) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας (Heinimö & Alakangas, 2006). Ένα τελικό εμπόδιο για τη χαρτογράφηση των εμπορικών ροών της βιομάζας είναι οι συχνά μικρές ποσότητες (σε σύγκριση με άλλα εμπορεύματα μεγάλης κλίμακας).

Ένας από τους σαφείς στόχους του Task 40, είναι η διερεύνηση των εξελίξεων στο διεθνές εμπόριο βιοενέργειας και η ανταλλαγή των εθνικών εμπειριών. Για το σκοπό αυτό, οι χώρες μέλη της Task 40 έχουν συντάξει μεμονωμένες εκθέσεις χωρών, οι οποίες καλύπτουν τις εθνικές παραγωγές βιομάζας, τις πολιτικές για την τόνωση της βιομάζας, το διεθνές εμπόριο βιοενέργειας, τις ευκαιρίες και τους φραγμούς για την ανάπτυξη του εμπορίου βιομάζας (Junginger et al., 2008).

Σύμφωνα με την έρευνα των Junginger et al., (2008), οι χώρες μέλη του Task 40, διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε σχέση με το διεθνές εμπόριο βιοενέργειας. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται ένα γράφημα όπου παρουσιάζεται η συμβολή όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την βιοενέργεια να εμφανίζεται ως μερίδιο του συνολικού πρωτογενούς ενεργειακού εφοδιασμού (TPES) για το 2004.

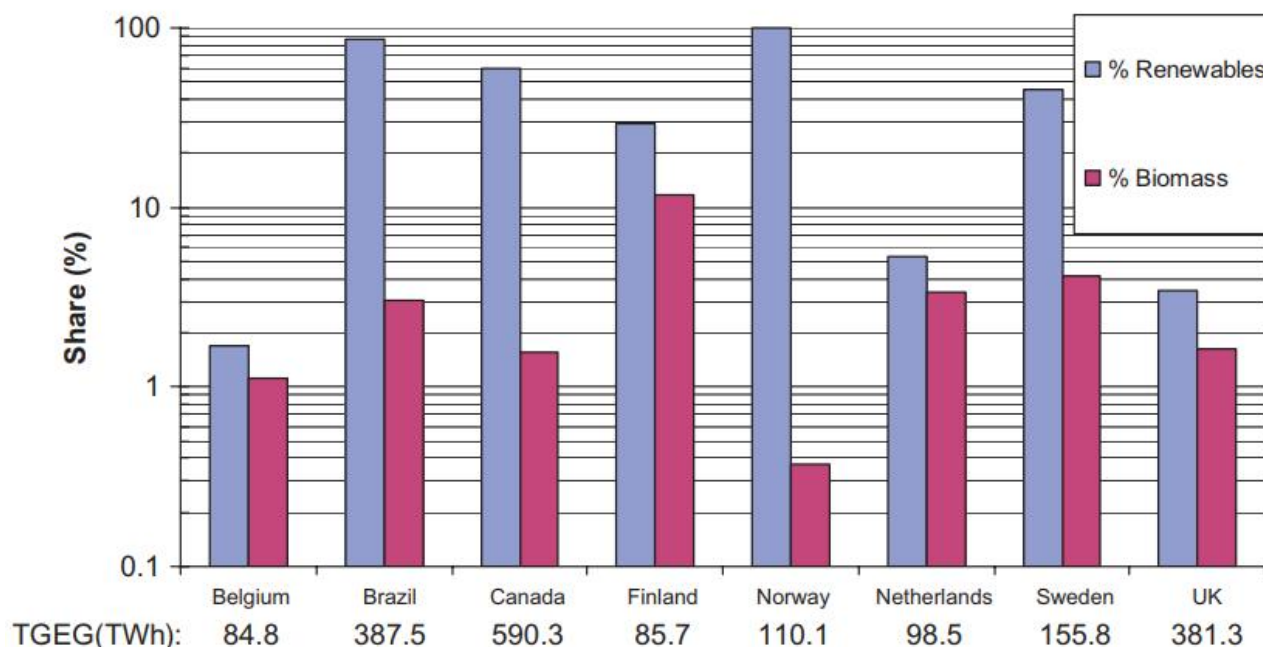


Εικόνα 29 Επισκόπηση της συνολικής συνεισφοράς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της βιομάζας στο συνολικό ενεργειακό εφοδιασμό της πρωτογενούς ενέργειας το 2004 στα κράτη μέλη Task 40.

Οι αριθμοί συνολικού πρωτογενούς ενεργειακού εφοδιασμού (TPES), κάτω από τις ράβδους δίνουν τη συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας ανά χώρα σε PJ. Για λόγους σύγκρισης, τα 100 PJ ισούται περίπου με 2,4 Mtoe (εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) ή 1015 BTU. Στο γράφημα αυτό απεικονίζεται η κατάσταση στις διάφορες χώρες μέλη. Για παράδειγμα, οι Σκανδιναβικές χώρες, η Βραζιλία και ο Καναδάς έχουν υψηλό μερίδιο στη συνολική συνεισφορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (μεταξύ 15% και 45% στην TPES). Η ειδική συμβολή της βιοενέργειας στην TPES ήταν ιδιαίτερα υψηλή στη Βραζιλία με 26%, κυρίως λόγω της χρήσης βιοαιθανόλης ως καυσίμου μεταφοράς και της Φινλανδίας με 19% και της Σουηδίας με 16%, κυρίως λόγω της χρήσης βιομάζας ξύλου στις δασικές βιομηχανίες.

Από την άλλη πλευρά, στο Βέλγιο, τις Κάτω Χώρες και το Ηνωμένο Βασίλειο, οι συνεισφορές ανανεώσιμης ενέργειας είναι μικρότερες από το 2% του συνόλου των TPES. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά των χωρών αυτών: η Βραζιλία και ο Καναδάς είναι σχετικά αραιοκατοικημένες χώρες με μεγάλες δυνατότητες υδροηλεκτρικής ενέργειας και βιομάζας. Οι σκανδιναβικές χώρες ομοίως χαρακτηρίζονται από μεγάλες δασικές εκτάσεις και μεγάλες βιομηχανίες. Η Νορβηγία έχει μια ιδιαίτερη θέση, τόσο από τα μεγάλα αποθέματα ορυκτών καυσίμων όσο και από τις μεγάλες υδροηλεκτρικές δυνατότητες. Σε αντίθεση με τις χώρες αυτές, το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο και οι Κάτω Χώρες είναι πυκνοκατοικημένες χώρες, με περιορισμένες μόνο περιθωριακές δυνατότητες υδροηλεκτρικής ενέργειας και βιομάζας, αν και μερικά αποθέματα ορυκτών καυσίμων (π.χ. φυσικό αέριο και πετρέλαιο στις Κάτω Χώρες και το Ηνωμένο Βασίλειο).

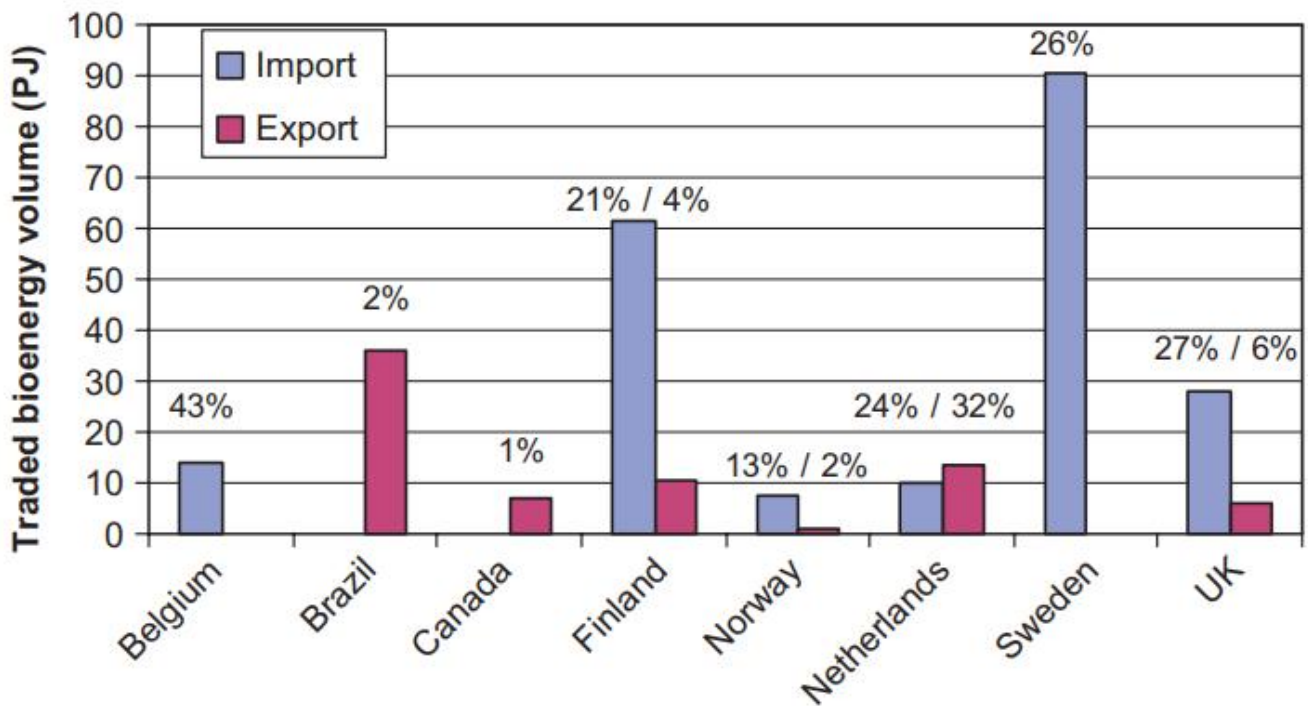
Η συμβολή της ανανεώσιμης ενέργειας και συγκεκριμένα της βιομάζας, στο συνολικό ακαθάριστο εφοδιασμό ηλεκτρικής ενέργειας είναι ακόμη πιο διαφοροποιημένη, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 30 Επισκόπηση του συνολικού μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της βιομάζας στη συνολική ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (TGE), που ορίζεται ως η μεικτή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε εγκαταστάσεις άντλησης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (και η βιομάζα) δεν περιλαμβάνουν τα βιομηχανικά απόβλητα, τα μη ανανεώσιμα αστικά στερεά απόβλητα και την παραγωγή αντλούμενων αποθεμάτων. Σημειώστε ότι ο άξονας y βρίσκεται σε λογαριθμική κλίμακα προκειμένου να διευκολυνθεί η οπτική σύγκριση.

Ίσως η πιο ακραία περίπτωση είναι η Νορβηγία, με το 100% περίπου της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρική ενέργεια και μόλις 0,4% βιομάζα. Παρόμοια μοτίβα υψηλού μεριδίου της υδροηλεκτρικής ενέργειας και μικρότερα μερίδια ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα βρίσκονται στον Καναδά (2%) και στη Σουηδία (9%). Στις άλλες χώρες μέλη, η βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, που κυμαίνεται από 40% έως 65%.

Κατά την εξέταση των όγκων βιομάζας που εμπορεύονται οι χώρες μέλη του Task 40, οι Junginger et al., διερεύνησαν τα στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, τόσο την ποσότητα της εισαγόμενης όσο και της εξαγόμενης βιομάζας, ενώ στην συνέχεια, τη σύγκριναν με την εθνική πρωτογενή εγχώρια προσφορά βιομάζας για ενεργειακή αξιοποίηση στις χώρες αυτές, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα (International Energy Agency, 2007).



Εικόνα 31 Επισκόπηση των εισαγωγών/εξαγωγών βιοενέργειας για το έτος 2004. Τα στοιχεία για το Βέλγιο και το Ηνωμένο Βασίλειο αναφέρονται στο 2005.

Τα ποσοστά που παρουσιάζονται στο γράφημα, υποδηλώνουν το μερίδιο των συναλλασσομένων όγκων ως μέρος της εγχώριας προσφοράς πρωτογενούς βιομάζας. Οι αριθμοί, όπως αναφέρουν οι Junginger et al., θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως ακαθάριστες εκτιμήσεις, καθώς δεν περιλαμβάνουν απαραίτητα όλα τα ρεύματα βιομάζας. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, κάποιες χώρες εισάγουν αποκλειστικά βιοενέργεια, όπως το Βέλγιο και η Σουηδία, ενώ άλλες εξάγουν, όπως η Βραζιλία και ο Καναδάς. Στις υπόλοιπες χώρες, παρατηρείται αυξημένη εισαγωγή ποσοτήτων βιοενέργειας όπως στην Φινλανδία, στην Νορβηγία και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η Ολλανδία από την άλλη πλευρά, διαθέτει υψηλότερο ποσοστό εξαγωγής βιοενέργειας, ενώ το ποσοστό εισαγωγής της είναι κατά 8% μικρότερο. Αναφορικά με τον όγκο της εμπορευόμενης βιοενέργειας, η Σουηδία παρουσιάζει την υψηλότερη ποσότητα εισαγωγής, με περίπου 90PJ (2,16 Mtoe) ενώ η Βραζιλία παρουσιάζει το υψηλότερο ποσοστό εξαγωγής βιοενέργειας με περίπου 37PJ (0,88 Mtoe).

Από την έρευνα τους, οι Junginger et al. κατέληξαν στο ότι ποσοτικοποίηση του όγκου της εμπορευόμενης βιοενέργειας αποτελεί δύσκολο έργο, εξαιτίας παραγόντων όπως:

1. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς ενεργειακούς σκοπούς, όπως η θέρμανση κατοικιών, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ως καύσιμα μεταφοράς.
2. Κατά την ανάλυσή τους, συμπεριέλαβαν μόνο τις εισαγωγές ή τις εξαγωγές βιομάζας, για τις οποίες η τελική χρήση ήταν η παραγωγή ενέργειας. Για παράδειγμα, έπρεπε να κάνουν εκτιμήσεις

σχετικά με το πόσο οι εξαγωγές βιοαιθανόλης της Βραζιλίας χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμα μεταφοράς στο εξωτερικό ή πόσο από το ξύλο που εξάγεται από τις Κάτω Χώρες συγχρηματοδοτείται για παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας.

3. Το διεθνές εμπόριο βιομάζας μπορεί να διαιρεθεί σε άμεσο και έμμεσο εμπόριο. Το άμεσο εμπόριο περιλαμβάνει τη βιομάζα που χρησιμοποιείται άμεσα για ενεργειακούς σκοπούς, ενώ το έμμεσο εμπόριο αποτελείται από ροές πρώτων υλών που καταλήγουν ως ενεργειακό καύσιμο μετά από προηγούμενη παραγωγική διαδικασία. Και πάλι, ήταν αναγκαίες εκτιμήσεις για τον υπολογισμό των αντίστοιχων όγκων έμμεσου εμπορίου βιομάζας.

4. Μέχρι στιγμής, μόνο λίγες οργανώσεις παρακολουθούν το διεθνές εμπόριο βιοενέργειας. Στα στατιστικά στοιχεία του ΔΟΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται επίσης οι «καθαρές εισαγωγές βιομάζας» για διάφορες κατηγορίες βιομάζας στις στατιστικές τους (International Energy Agency, 2007). Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις αναφέρονται αποκλίνοντες αριθμοί, όπως για παράδειγμα μηδενικές εισαγωγές ή εξαγωγές για τη Σουηδία και τον Καναδά για το 2004, γεγονός που δεν συμβαδίζει με τα ευρήματά τους.

Από την αξιολόγηση του έργου τους, οι Junginger et al. καταλήγουν στο ότι οι πιο σημαντικοί παράγοντες για το διεθνές εμπόριο βιοενέργειας γενικά είναι:

1. οι μεγάλες δυνατότητες των πόρων,
2. το σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής στις χώρες παραγωγής όπως ο Καναδάς και η Βραζιλία,
3. οι υψηλές τιμές ορυκτών καυσίμων και
4. τα διάφορα κίνητρα πολιτικής για την τόνωση της χρήσης βιομάζας στις χώρες εισαγωγής.

Ωστόσο, όπως αναφέρουν, και τα εμπόδια που επηρεάζουν την ανάπτυξη της αγοράς είναι:

1. Για την ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής υλικοτεχνικής υποδομής τόσο στις χώρες εξαγωγής όσο και στις χώρες εισαγωγής, απαιτείται η πρόσβαση σε μεγαλύτερους όγκους φυσικής βιομάζας και η προσέγγιση άλλων μικρότερων τελικών καταναλωτών.
2. Πρέπει να αναπτυχθούν καλύτερα στατιστικά στοιχεία και μέθοδοι παρακολούθησης ώστε να καταγραφούν οι συναλλαγές ανάμεσα στις χώρες.

3. Τα μέτρα πολιτικής εξακολουθούν να καθορίζουν μεγάλα τμήματα των εμπορικών ροών και οι ξαφνικές αλλαγές στην πολιτική μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα την ταχεία αλλαγή των εμπορικών προτύπων.

4. Απαιτούνται διασφαλίσεις για τη διασφάλιση της βιώσιμης παραγωγής βιομάζας.

#### 4.7 Σύγκριση βιωσιμότητας της αλυσίδας εφοδιασμού βιοκαυσίμων από θαλάσσια και μη βιομάζα

Η βιωσιμότητα αφορά την ικανοποίηση των σημερινών ενεργειακών αναγκών για περιβαλλοντική διαχείριση, οικονομική ευημερία και ποιότητα ζωής, χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν αυτές τις ανάγκες ενέργειας για τον εαυτό τους (Sabri & Beamon, 2000). Όπως αναλύθηκε από τους [(Ayuso et al., 2003)-(Altiook & Ranjan, 1995)], η εκτίμηση του πραγματικού δυναμικού βιωσιμότητας απαιτεί την διερεύνηση της παραγωγής, του εμπορίου καθώς και την τελική μετατροπή του βιοκαυσίμου. Οι έννοιες της αειφορίας πρέπει να αναλύονται λαμβάνοντας υπόψη τα ζητήματα που αφορούν κυρίως το περιβάλλον και τις κοινωνικοοικονομικές πολιτικές (Amiguna et al., 2010; Duku et al., 2010).

##### 4.7.1 Βιωσιμότητα θαλάσσιας βιομάζας από περιβαλλοντική άποψη

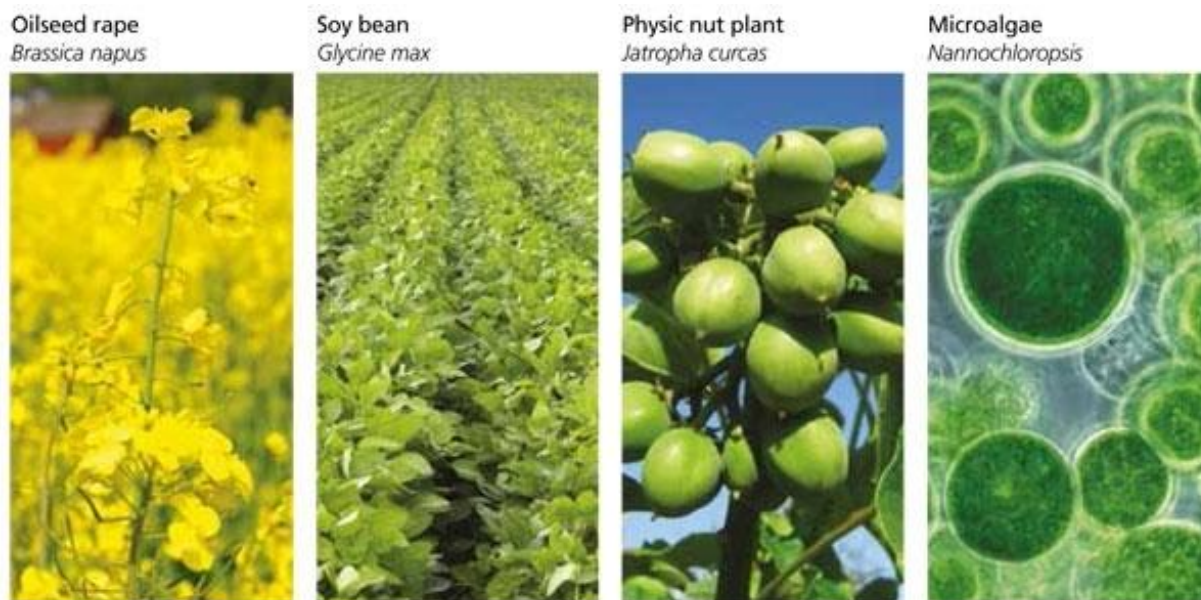
Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα περιγράφει τους στόχους των πολιτικών που έχουν θεσπιστεί για την πρόληψη της υποβάθμισης των γεωργικών και δασικών εκτάσεων, καθώς και για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων περιβαλλοντικών ζητημάτων (Tan et al., 2011). Γενικά, τα βασικά ζητήματα της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας είναι (Awudu & Zhang, 2012):

- οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου,
- η ποιότητα των υδάτινων πόρων,
- η υποβάθμιση του εδάφους και
- η απώλεια της βιοποικιλότητας.

Τα αέρια του θερμοκηπίου αποτελούν ένα μίγμα ατμοσφαιρικών αερίων που απορροφούν και εκπέμπουν ακτινοβολία. Στα βιοκαύσιμα, η ποσότητα της εκπομπής των αερίων αυτών, είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τη βενζίνη, καθώς, κατά την καύση τους δεν παράγονται οι βλαβεροί για το περιβάλλον ρύποι, που παράγονται από τα συμβατικά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα που παράγονται από την θαλάσσια βιομάζα, είναι πλήρως βιοαποικοδομήσιμα, σε σύγκριση με άλλα πρόσθετα καυσίμων. Η κυτταρινική αιθανόλη για παράδειγμα, έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 86%. Η βιοαιθανόλη είναι επίσης μια ασφαλής και υψηλής απόδοσης επιλογή για την αντικατάσταση των περισσότερων πρόσθετων καυσίμων. Η χρήση της



αιθανόλης μπορεί να αυξήσει τις εκπομπές ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, εξαιτίας του ότι κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας βιομάζας και κατά την παραγωγή βιοκαυσίμων, χρησιμοποιείται ενέργεια προερχόμενη από ορυκτά καύσιμα. Αυτές οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την βελτίωση των καλλιεργητικών μεθόδων καθώς και με την χρήση του άνθρακα που παράγεται σε μονάδες παραγωγής ενέργειας (Awudu & Zhang, 2012).



Εικόνα 32 Είδη καλλιέργειας πρώτης ύλης βιομάζας. Από αριστερά προς δεξιά, ελαιοκράμβη, σόγια, καρύδι, μικροέλγη.

Η υποβάθμιση και η διάβρωση του εδάφους προκαλείται τόσο από την επίδραση φυσικών φαινομένων όπως η βροχή και ο άνεμος, όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες. Ελλείψει αυστηρής εφαρμογής βέλτιστων πρακτικών για την αντιμετώπιση του προβλήματος αλλά και της πρόληψης του, το πρόβλημα της διάβρωσης του εδάφους θα συνεχίσουν να εντείνονται. Στο πρόβλημα αυτό συμβάλει επίσης και η εκτεταμένη καλλιέργεια φυτών που απαιτούν υψηλές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και λιπάσματος, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε μόλυνση του εδάφους και σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, στην υποβάθμιση του (Awudu & Zhang, 2012). Με την καλλιέργεια θαλάσσιας βιομάζας όμως, αυτά τα προβλήματα μπορούν ακόμη και να εξαλειφούν, καθώς δεν απαιτούνται γόνιμες εκτάσεις γης, αλλά ούτε και η χρήση χημικών λιπασμάτων για την ανάπτυξη των μικροφυκών. Αντιθέτως μάλιστα, τα μικροφύκη μπορούν να βοηθήσουν ενεργά στην αξιοποίηση ήδη υποβαθμισμένων εδαφών.

#### 4.7.2 Βιωσιμότητα θαλάσσιας βιομάζας από οικονομική άποψη

Η οικονομική ανάπτυξη σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο πληθυσμό έχει οδηγήσει σε σταθερή αύξηση των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Σύμφωνα με προβλέψεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, η διατήρηση των τρεχουσών πολιτικών, σχετικά με το θέμα της ενέργειας,

θα δημιουργήσει ενεργειακές ανάγκες οι οποίες θα είναι αυξημένες κατά περίπου 60% μέχρι το 2030, με το 45% να αντιπροσωπεύεται από την Κίνα και την Ινδία, δηλαδή χώρε με τον ταχύτερα αυξανόμενο πληθυσμό (International Energy Agency, 2007). Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς που χρησιμοποιεί το 27% της πρωτογενούς ενέργειας (Antoni et al., 2007). Η συνεχής χρήση των ορυκτών καυσίμων δεν αποτελεί βιώσιμη επιλογή, δεδομένου ότι είναι πεπερασμένοι πόροι και η καύση τους οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την ενέργεια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) (Srivastava & Prasad, 2000).

Οι μελλοντικές μειώσεις στο οικολογικό αποτύπωμα της παραγωγής ενέργειας, βασίζονται σε μια πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει τόσο τα ορυκτά καύσιμα όσο και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα βιοκαύσιμα (Hoffart et al., 2002). Γενικά, η μετατόπιση της εξάρτησης της κοινωνίας από το πετρέλαιο στην ανανεώσιμη βιομάζα θα συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη βιώσιμης βιομηχανικής κοινωνίας και στην αποτελεσματική διαχείριση των αερίων του θερμοκηπίου (Demirbas & Demirbas, 2007; Ragauskas et al., 2006).

Το οικονομικό ζήτημα που αφορά τα βιοκαύσιμα περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα εξής (Inderwildi & King, 2009; Amiguna et al., 2010; Karagiannidis et al., 2009):

1. την κρισιμότητα της χρήσης των φυτών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καυσίμων έναντι τροφής,
2. την αποδοτικότητα των βιοκαυσίμων και το ενεργειακό τους ισοζύγιο
3. την αύξηση των προγραμμάτων χρηματοδότησης για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Έχει υπάρξει μεγάλη διαμάχη σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων καθώς κάποιες από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, όπως το καλαμπόκι, το ζαχαροκάλαμο και η σόγια, χρησιμοποιούνται επίσης και για την παραγωγή βασικών τροφίμων. Για αυτό τον λόγο, η παραγωγή καλλιεργειών για την αποκλειστική χρήση τους στην παραγωγή βιοενέργειας, μπορεί να μετατοπίσει τις καλλιεργείες που σχετίζονται με την παραγωγή τροφίμων. Αυτό μπορεί να αυξήσει το κόστος και να μειώσει τη διαθεσιμότητα βασικών τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και ζωικών τροφών (Duku et al., 2010). Αυτός είναι και ο βασικός λόγος για τον οποίο διερευνάται σήμερα η χρήση των βιοκαυσίμων που προέρχονται από καλλιεργείες οι οποίες δεν ανταγωνίζονται την καλλιέργεια τροφίμων. Η θαλάσσια βιομάζα μπορεί να καλύψει ένα σημαντικά μεγάλο μέρος των απαιτήσεων σε πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων, καθώς δεν επηρεάζει καθόλου την παραγωγή τροφής.

Η αποδοτικότητα και η ενεργειακή ισορροπία αφορούν τον στόχο της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών υλικών και μέσων. Οι πρώτες ύλες και τα μέσα που

σχετίζονται με την ενέργεια διαμορφώνονται και τροποποιούνται ώστε να καταστούν πιο ενεργειακά αποδοτικά, πράγμα που σημαίνει ότι χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια για να καταστήσουν το προϊόν τους ενεργειακά αποδοτικό (Awudu & Zhang, 2012).

Η αύξηση των προγραμμάτων χρηματοδότησης για τα βιοκαύσιμα μπορεί να αυξήσει τις οικονομικές δραστηριότητες του γεωργικού τομέα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της καλλιέργειας πρώτων υλών, της απόκτησης γης, της ποικιλίας γης για διαφορετική συγκομιδή βασικών προϊόντων και της αύξησης των εσόδων από τους επενδυτές (Demirbas, 2009). Παρόλα αυτά, οι καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, το σόργο, η σόγια κ.α. απαιτούν την χρήση καλλιεργήσιμων και γόνιμων εκτάσεων γης, γεγονός το οποίο περιορίζει την κατανομή της παραγωγής σε περιοχές με κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες. Στην περίπτωση της θαλάσσιας βιομάζας αυτό δεν είναι απαραίτητο. Η ανάπτυξη των μικροαλγών μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε έκταση γης, ακόμα και σε περιοχές όπου το έδαφος χαρακτηρίζεται άγονο.

#### 4.7.3 Βιωσιμότητα θαλάσσιας βιομάζας από κοινωνική άποψη

Η τρίτη κατηγορία που εξετάζεται σχετικά με την βιωσιμότητα της θαλάσσιας βιομάζας αφορά τα κοινωνικά ζητήματα που εγείρονται για το θέμα. Ουσιαστικά πρόκειται για το πώς συμβάλει η παραγωγή και η χρήση της θαλάσσιας βιομάζας στην κοινωνία. Ορισμένα από τα θέματα της έννοιας της κοινωνικής βιωσιμότητας περιλαμβάνουν έννοιες όπως (Awudu & Zhang, 2012):

- η δυνατότητα της μείωσης του ποσοστού της φτώχειας,
- οι έμμεσες επιπτώσεις της χρήσης γης και των καλλιεργειών και
- οι επιπτώσεις της παραγωγής βιομάζας στους κοινωνικούς πόρους.

Η ανάπτυξη βιοκαυσίμων λαμβάνει χώρα στις αγροτικές περιοχές όπου υπάρχουν ευκαιρίες για τη γεωργία. Τα βιοκαύσιμα, μέσω της παροχής ενέργειας, υποστηρίζεται ότι συμβάλλουν στη μείωση της φτώχειας με την αύξηση του εισοδήματος των παραγωγών (Bell et al., 2011). Η κατανομή αυτού του πλούτου μπορεί να δημιουργήσει ισότητα και βελτίωση της ποιότητας ζωής των κοινοτήτων που παράγουν και επεξεργάζονται βιοκαύσιμα. Παρόλα αυτά και σε αυτή την περίπτωση, η παραγωγή βιοκαυσίμων που βασίζεται σε καλλιέργειες φυτών (καλαμπόκι, σόγια, ζαχαρότευτλα κ.α.) απαιτεί καλλιεργήσιμες εκτάσεις γης, καθιστώντας την κατανομή του πλούτου αναξιοκρατική. Η ανάπτυξη θαλάσσιας βιομάζας όμως, μπορεί να βοηθήσει πιο ουσιαστικά στην καταπολέμηση της φτώχειας καθώς, έτσι δίνεται η δυνατότητα σε ανθρώπους που διαβιούν σε άγονες περιοχές να αποκτήσουν μια βασική πηγή εισοδήματος, αξιοποιώντας παράλληλα, εκτάσεις γης που σε διαφορετική περίπτωση θα παρέμεναν ανεκμετάλλευτες. Βέβαια, εξαιτίας του οικονομικού κόστους που απαιτείται για την δημιουργία μιας εγκατάστασης παραγωγής και επεξεργασίας θαλάσσιας

βιομάζας, θα πρέπει να μελετηθούν και να αναπτυχθούν ειδικά δομημένα αναπτυξιακά προγράμματα που θα δίνουν την δυνατότητα και σε μη αγροτικές περιοχές αποκτήσουν εισόδημα.



Εικόνα 33 Καλλιέργειες βιομάζας, αριστερά καλαμποκιού, δεξιά μικροαλγών.

Η χρήση της γης αποτελεί ένα βασικό ζήτημα της παραγωγής βιοκαυσίμων. Προκειμένου να επωφεληθούν τα μέγιστα από την παραγωγή και ανάπτυξη των βιοκαυσίμων, απαιτούνται μεγάλα κομμάτια γης για την παραγωγή των πρώτων υλών. Η γη και η καλλιέργεια των πρώτων υλών, μπορούν να επηρεάσουν έμμεσα το σύστημα κατοχής γης καθώς και την απόφαση σχετικά με την ποικιλία των πρώτων υλών, στις οποίες θα γίνει σε κάθε περίπτωση η επένδυση. Οι υψηλές τιμές του καλαμποκιού για παράδειγμα, ενθαρρύνουν τους αγρότες να επεκτείνουν τη συνολική έκταση καλλιεργούμενης γης. Παρόλο που υπάρχουν συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης και διαφοροποίησης των χρήσεων γης, σύμφωνα με φυσικά κριτήρια, οι πραγματικές χρήσεις γης, όχι μόνο μεταβάλλονται ανάλογα με τους φυσικούς παράγοντες, αλλά αλλάζουν και προσαρμόζονται ανάλογα με τις ευκαιρίες της αγοράς, την κοινωνία και τα δικαιώματα των ενδιαφερομένων (Peskett et al., 2011).

Η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων αυξάνεται ραγδαία, κυρίως λόγω της δημιουργίας βιο-διυλιστηρίων βιοκαυσίμων μεγάλης κλίμακας. Για την σωστή ανάπτυξη των πρώτων υλών όμως, απαιτείται παροχή μεγάλης ποσότητας ποιοτικού νερού (Bass et al., 1998). Σε αυτό ακριβώς το ζήτημα εγείρονται πολλές ενστάσεις καθώς, το καθαρό νερό είναι απαραίτητο για τη δημόσια υγεία. Βραχυπρόθεσμα, ο αντίκτυπος της παραγωγής βιοκαυσίμων στην ποιότητα του συστήματος των υδάτων θα είναι η ανεπάρκεια και η ρύπανση του νερού. Παρόλα αυτά, η ανάπτυξη της θαλάσσιας

βιομάζας δεν απαιτεί μεγάλες ποσότητες καθαρού νερού, καθώς οι καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν και σε αλμυρά και υφάλμυρα νερά ή ακόμα και σε νερά λυμάτων προερχόμενα από αστικά και κτηνοτροφικά λύματα. Αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στην μείωση των απαιτήσεων καθαρού νερού στις καλλιέργειες φυτών για την παραγωγή βιομάζας, αλλά και στην διάθεση των αστικών και κτηνοτροφικών λυμάτων.

#### 4.8 Πολιτικές και εμπορικά καθεστώτα

Οι Lamers et al., (2011), στην ανάλυση του διεθνούς εμπορίου βιοενέργειας, διενέργησαν επισκόπηση των παρελθουσών εξελίξεων στην αγορά υγρών βιοκαυσίμων και κατέγραψαν τις πολιτικές και εμπορικά καθεστώτα που ισχύουν σε διάφορες περιοχές της γης. Στο έργο τους αναφέρουν ότι οι πολιτικές υποστήριξης που στοχεύουν στα βιοκαύσιμα μπορούν να λάβουν διάφορες μορφές και να στοχεύσουν σε διαφορετικά στάδια στην αλυσίδα αξίας των βιοκαυσίμων. Μπορούν είτε να ωθήσουν (π.χ. νομικά) είτε να έλξουν (π.χ. φορολογικά κίνητρα) τα βιοκαύσιμα στην αγορά. Η πρόταση τους μάλιστα, ήταν να κατηγοριοποιηθούν οι πολιτικές υποστήριξης των βιοκαυσίμων με τους ακόλουθους τρόπους:

- Προώθηση της εγχώριας κατανάλωσης μέσω εντολών κατανάλωσης (για την περιεκτικότητα σε βιοκαύσιμα ή ελάχιστη εξοικονόμηση αερίων θερμοκηπίου μέσω βιοκαυσίμων) ή κίνητρα (π.χ. φοροαπαλλαγές για το βιοκαύσιμο στην αντλία ή προώθηση ειδικών οχημάτων βιοκαυσίμων).
- Προώθηση της εγχώριας παραγωγής μέσω εντολών παραγωγής, επενδυτικές ενισχύσεις (π.χ. δάνεια, επιχορηγήσεις, άμεσες επιχορηγήσεις) για παραγωγικές εγκαταστάσεις, σχέδια επίδειξης, υποδομές ή έρευνα και ανάπτυξη – στήριξη πρώτων υλών ή φορολογικά κίνητρα (π.χ. απαλλαγή από τον ειδικό φόρο κατανάλωσης).
- Εμπορικά μέτρα που είτε θα προστατεύουν την τοπική παραγωγή (και επομένως τις τιμές της αγοράς) μέσω προστατευτικών μέτρων (π.χ. τιμολόγια εισαγωγής, απαιτήσεις επιλεξιμότητας στο πλαίσιο της ποσόστωσης βιοκαυσίμων, πρότυπα) είτε θα εμποδίζουν τις εξαγωγές εγκαθιστώντας συγκεκριμένα τιμολόγια εξαγωγής.

Ως επί το πλείστο, οι χώρες εφαρμόζουν ένα σύνολο μέτρων, τα οποία καλύπτουν πολλές από τις κατηγορίες και τα επιμέρους στοιχεία που απαριθμούνται.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Γενικά συμπεράσματα για την θαλάσσια βιομάζα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνήθηκε το θέμα της παραγωγής ενέργειας μέσω της θαλάσσιας βιομάζας. Στα πλαίσια της διερεύνησης του θέματος, αναπτύχθηκαν βασικά σημεία που αφορούν το ενεργειακό πρόβλημα και τα είδη των βιοκαυσίμων που μπορούν να παραχθούν για την αντιμετώπιση του, ενώ εξετάστηκε η παραγωγή βιοκαυσίμων μέσω της βιομάζας αλγών.

Η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και η υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελούν δύο μεγάλες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η σύγχρονη κοινωνία. Η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα για την κάλυψη των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών δεν είναι βιώσιμη, λόγω της αύξησης των επιπέδων κατανάλωσης και της μειωμένης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η ανησυχία έχει ωθήσει τους ερευνητές να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, το νερό και η βιομάζα. Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια εναλλακτική λύση έναντι των ορυκτών καυσίμων και παράγονται από διάφορες πρώτες ύλες φυτικής και οργανικής προέλευσης.

Στις πρώτες ύλες συγκαταλέγονται οι καλλιέργειες δημητριακών, συμπεριλαμβανομένου του καλαμποκιού και του σιταριού, οι καλλιέργειες ζάχαρης, συμπεριλαμβανομένου του σόργου και του ζαχαροκάλαμου, οι ενεργειακές καλλιέργειες, τα γεωργικά απόβλητα καθώς και υδρόβια είδη φυτών. Επί του παρόντος, η αιθανόλη παράγεται από καλαμπόκι και ζαχαροκάλαμο σε σημαντικούς όγκους ως συμπληρωματικό καύσιμο αλλά και ως μερικό υποκατάστατο της βενζίνης. Η παραγωγή και η χρήση αιθανόλης ως καυσίμου μεταφοράς οδηγεί σε καθαρή μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG). Ο ισχυρισμός αυτός βασίζεται στην ιδέα ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της βιομάζας και από τη χρήση βιοκαυσίμων απομονώνονται εύκολα.

Τα μικροφύκη είναι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί που μπορούν να παράγουν λιπίδια, πρωτεΐνες και υδατάνθρακες σε μεγάλες ποσότητες για σύντομες χρονικές περιόδους. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να μεταποιηθούν τόσο σε βιοκαύσιμα όσο και σε χρήσιμα χημικά προϊόντα. Οι κύριες μέθοδοι μετατροπής της βιομάζας των μικροφυκών σε ενέργεια είναι μέσω διαδικασιών όπως:

- η θερμοχημική,
- η χημική και
- η βιοχημική.

Η μετατροπή ενέργειας με τη χρήση θερμοχημικών, χημικών και βιοχημικών μεθόδων μετατροπής δύναται να παράγει μίγμα βιοκαυσίμων όπως βιοαερίων, βιοντίζελ, βιοιθανόλης και υδρογόνου. Η βιομάζα των φυκών μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίλυση του προβλήματος μεταξύ της παραγωγής τροφίμων και της βιομάζας στο εγγύς μέλλον. Διαφορετικά είδη φυκών μπορεί να είναι πιο κατάλληλα, βάση της κυτταρικής δομής τους, για την παραγωγή διαφορετικών τύπων καυσίμων. Τα φύκη μπορούν να καλλιεργηθούν σχεδόν οπουδήποτε, ακόμη και σελυματολάσπη ή αλμυρό νερό και δεν απαιτούν γόνιμη γη, οπότε και δεν ανταγωνίζονται την καλλιέργεια τροφίμων, ενώ η επεξεργασία τους απαιτεί λιγότερη ενέργεια.

Η βιομάζα των φυκών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή διαφόρων βιοκαυσίμων όπως το βιοντίζελ, η βιοιθανόλη, το βιοαέριο, το βιοϋδρογόνο και το συνθετικό αέριο. Η υπολειμματική βιομάζα φυκών που παράγεται από την εκχύλιση λιπιδίων για βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί καταλλήλως για την παραγωγή βιοιθανόλης ή βιομεθανίου. Ωστόσο, πρέπει να γίνουν σημαντικές βελτιώσεις σε τομείς όπως:

- η αποδοτικότητα,
- η διάρθρωση του κόστους
- η ικανότητα αύξησης της ανάπτυξης των φυκών,
- της ανάκτηση των λιπιδίων
- η παραγωγή εμπορικά βιώσιμων βιοκαυσίμων.

Η φωτοτροφική παραγωγή είναι η πιο αποτελεσματική όσον αφορά το καθαρό ενεργειακό ισοζύγιο. Ωστόσο, οι τιμές παραγωγικότητας ποικίλλουν πάρα πολύ ανάμεσα στα διάφορα είδη και είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σύγκριση με την ετεροτροφική παραγωγή. Συνολικά, η τεχνική βιωσιμότητα ενός συστήματος παραγωγής εξαρτάται από τις εγγενείς ιδιότητες του επιλεγμένου στελέχους των φυκών, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για μεγαλύτερο έλεγχο των ειδών, καθώς και επιπρόσθετη έρευνα σχετικά με τις συνθήκες καλλιέργειας και τα συστήματα παραγωγής. Η βιοαποικοδόμηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> με μικροφύκη παρέχει μια συμπληρωματική λειτουργία που μπορεί να αξιοποιηθεί για να μετριαστεί το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμων. Η χρήση αποβλήτων CO<sub>2</sub> από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την ενίσχυση της παραγωγής έχει αποδειχθεί ότι είναι τεχνικά εφικτή και ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του κόστους παραγωγής και για τον έλεγχο των εκπομπών του θερμοκηπίου.

Η συγκομιδή βιομάζας φυκών αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της εισροής ενέργειας κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Η προσαρμογή των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται ήδη στον τομέα της επεξεργασίας τροφίμων, βιοφαρμακευτικών προϊόντων και επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να προσφέρει πιθανές λύσεις. Τα λιπίδια αποτελούν την πιο εύκολα εξαγόμενη τροφοδοσία

βιοκαυσίμων από τα φύκη, αλλά η πιθανή αποθήκευση εμποδίζεται από την παρουσία πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs) που προκαλούν αντιδράσεις οξειδωσης και υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας στην πρώτη ύλη των φυκών, έτσι τόσο η θερμοχημική υγροποίηση όσο και η πυρόλυση φαίνεται να είναι οι πλέον τεχνικά εφικτές μέθοδοι μετατροπής της βιομάζας των φυκών σε βιοκαύσιμα μετά την εκχύλιση των ελαίων από τα φύκη.

Από την ανασκόπηση των διαφόρων μελετών στα προηγούμενα κεφάλαια, γίνεται φανερό ότι η ταυτόχρονη εκχύλιση πολύτιμων παραπροϊόντων, όπως το β-καροτένιο και τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, με την παραγωγή βιοκαυσίμων παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές. Συνεπώς, η παραγωγή μικροφυκών για βιοκαύσιμα μεγάλης κλίμακας θα αυξήσει τη διαθεσιμότητα αυτών των προϊόντων. Συνολικά, με την τρέχουσα ζήτηση για ανανεώσιμα καύσιμα, ειδικά για χρήση στον τομέα των μεταφορών, υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης μιας σειράς βιώσιμων πόρων βιοκαυσίμων, δεδομένου ότι το συνδυασμένο μίγμα θα αποτελέσει σημαντικό βήμα για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Η συνεχής ανάπτυξη τεχνολογιών για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής μικροφυκών, της εκχύλισης ελαίων και της επεξεργασίας της θαλάσσιας βιομάζας έχει την ικανότητα να συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Για το σκοπό αυτό, θα απαιτηθεί ένα καθορισμένο σύνολο τεχνολογικών καινοτομιών για την ανάπτυξη της βέλτιστης χρήσης της βιομάζας φυκών για την εμπορική παραγωγή βιοκαυσίμων. Εάν προκύψουν αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις, τα βιοκαύσιμα με βάση τη βιομάζα των φυκών θα διαδραματίσουν ένα σπουδαίο ρόλο στα μελλοντικά ενεργειακά συστήματα. Στο σημερινό στάδιο ανάπτυξης, είναι ακόμα πολύ νωρίς για να σχολιάσουμε τις προτιμώμενες οδούς παραγωγής βιοκαυσίμων από τη βιομάζα των φυκών. Τέλος, η ολοκληρωμένη αξιολόγηση του κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων φυκών που απεικονίζουν τα περιβαλλοντικά οφέλη και τις επιπτώσεις μπορεί και πρέπει να είναι ένα εργαλείο καθοδήγησης της τεχνολογικής ανάπτυξης καθώς και για αποφάσεις πολιτικής.

## 5.2 Συμπεράσματα για τα φύκη ως αειφόρο πηγή βιοκαυσίμων

Για την επιτυχία κάθε βιώσιμου βιοκαυσίμου, υπάρχουν τρεις βασικοί παράγοντες:

1. η τεχνική σκοπιμότητα.
2. οικονομική βιωσιμότητα και
3. η αειφορία των πόρων.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων με βάση τα φυτά είναι τεχνικά εφικτό. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν έχει επιτευχθεί οικονομική βιωσιμότητα. Επιπλέον, η βιωσιμότητα των πόρων όσον αφορά τη γη, το νερό, τη θρεπτική αξία και την αξιοποίηση της ενέργειας πρέπει να ποσοτικοποιηθεί προσεκτικά για



κάθε τύπο συστήματος παραγωγής, προκειμένου να θεωρηθεί ότι η πρώτη ύλη θεωρείται πραγματικά «βιώσιμη».

Η βιώσιμη χρήση των λυμάτων και των πόρων θαλασσινού νερού αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις για την παραγωγή μεγάλης κλίμακας βιοκαυσίμων με βάση τα φυτά. Η παραγωγή βιολογικών καυσίμων με χρήση υγρών αποβλήτων, υφάλμυρων υδάτων ή θαλασσινού νερού σε ανοικτές λίμνες ή με χρήση κλειστών φωτοβιοαντιδραστήρων, όπου οι απώλειες νερού είναι αμελητέες, αποτελούν δυνητικές λύσεις σε αυτή την πρόκληση.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akkerman, I., Janssen, M., Rocha, J., Wijffels, R.H., (2002). Photobiological hydrogen production: photochemical efficiency and bioreactor design. *International Journal of Hydrogen Energy*. 27(11):1195–208.

Alam, F., Date, A., Rasjidin, R., Mobin, S., Moria, H., & Baqui, A. (2012). Biofuel from algae-Is it a viable alternative?. *Procedia Engineering*, 49, 221-227.

Altiok, T., Ranjan, R. (1995). Multistage, pull-type production inventory systems. *Institute of Industries Engineering Transactions*. 27:190–200.

Amaro, H.M., Barros, R., Guedes, A.C., Sousa-Pinto, I., Malcata, F.X. (2013). Microalgal compounds modulate carcinogenesis in the gastrointestinal tract. *Trends in Biotechnology* 31:92-98.

Amiguna, B., Kaviti, M.J., Stafford, W. (2010). Biofuels and sustainability in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15: 1360–72.

Andrade, M.R., Costa, J.A.V., (2007). Mixotrophic cultivation of microalga *Spirulina platensis* using molasses as organic substrate. *Aquaculture*. 264(1–4): 130–4.

Ang, J. B. (2007). CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778.

Angenent, L. T., Karim, K., Al-Dahhan, M. H., Wrenn, B. A., & Domínguez-Espinosa, R. (2004). Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater. *TRENDS in Biotechnology*, 22(9), 477-485.

Ansari, S. A., & Husain, Q. (2012). Potential applications of enzymes immobilized on/in nano materials: a review. *Biotechnology advances*, 30(3), 512-523.

Antoni, D., Zverlov, V.V., Schwarz, H. (2007). Biofuels from Microbes. *Appl Microbiol Biotechnol*. 77, 23–35.

Armbrust, E. V., Berges, J. A., Bowler, C., Green, B. R., Martinez, D., Putnam, N. H., ... & Brzezinski, M. A. (2004). The genome of the diatom *Thalassiosira pseudonana*: ecology, evolution, and metabolism. *Science*, 306(5693), 79-86.

Aslan, S., & Kapdan, I. K. (2006). Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological engineering*, 28(1), 64-70.

Awudu, I., & Zhang, J. (2012). Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1359-1368.

Ayuso, A.A., Escudero, L.F., Ortuno, A.G.M.T., Perez, G. (2003). An approach for strategic supply chain planning under uncertainty based on stochastic 0-1 programming. *Journal of Global Optimization*. 26(1):97–124.

Azcan, N., & Danisman, A. (2008). Microwave assisted transesterification of rapeseed oil. *Fuel*, 87(10-11), 1781-1788.

Babu, B. V. (2008). Biomass pyrolysis: a state-of-the-art review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2(5), 393-414.

Bahadur, N. P., Boocock, D. G., & Konar, S. K. (1995). Liquid hydrocarbons from catalytic pyrolysis of sewage sludge lipid and canola oil: evaluation of fuel properties. *Energy & fuels*, 9(2), 248-256.

Bass, S., Hawthorne, W., Hughes, C. (1998). *Forests, biodiversity and livelihoods: linking policy and practice*. Issues paper for DFID, London, UK.

Bauen, A., Berndes, G., Junginger, M., Londo, M., Vuille, F., Ball, R., ... & Mozaffarian, H. (2009). Bioenergy: a sustainable and reliable energy source. A review of status and prospects. Ανακτήθηκε από: [https://www.researchgate.net/publication/48326680\\_Bioenergy\\_-\\_A\\_Sustainable\\_and\\_Reliable\\_Energy\\_Source](https://www.researchgate.net/publication/48326680_Bioenergy_-_A_Sustainable_and_Reliable_Energy_Source)

Bell, D.R., Silalertruksa, T., Gheewala, S.H., Kamens, R. (2011). The net cost of biofuels in Thailand—an economic analysis. *Energy Policy*. 39:834–43.

Berndes, G., Hoogwijk, M., & Van den Broek, R. (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and bioenergy*, 25(1), 1-28.

Biswas, A., Bayer, I. S., Biris, A. S., Wang, T., Dervishi, E., & Faupel, F. (2012). Advances in top-down and bottom-up surface nanofabrication: Techniques,

applications & future prospects. *Advances in colloid and interface science*, 170(1-2), 2-27.

Bixler, H.J., Porse, H. (2011). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J Appl Phycol* 23:321-335.

Blanchard, R., Richardson, D. M., O'Farrell, P. J., & Von Maltitz, G. P. (2011). Biofuels and biodiversity in South Africa. *South African Journal of Science*, 107(5-6), 19-26.

Boateng, A. A., Mullen, C. A., Goldberg, N., Hicks, K. B., Jung, H. J. G., & Lamb, J. F. (2008). Production of bio-oil from alfalfa stems by fluidized-bed fast pyrolysis. *Industrial & engineering chemistry research*, 47(12), 4115-4122.

Bond, D. R., Holmes, D. E., Tender, L. M., & Lovley, D. R. (2002). Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science*, 295(5554), 483-485.

Borowitzka, M., (1992). Algal biotechnology products and processes—matching science and economics. *Journal of Applied Phycology*. 4(3):267–79.

Borowitzka, M., (1997). Microalgae for aquaculture: opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*. 9(5):393–401.

Borowitzka, M., (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology*. 70(1–3):313–21.

Borthwick, A. G. (2016). Marine renewable energy seascape. *Engineering*, 2(1), 69-78.

Bosma, R., Van Spronsen, W.A., Tramper, J., Wijffels, R.H. (2003). Ultrasound, a new separation technique to harvest microalgae. *Journal of Applied Phycology*. 15(2):143–53.

Bozbas, K. (2008). Biodiesel as an alternative motor fuel: production and policies in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), 542-552.

Brennan, L., Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2), 557-577.

Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G. (2008). Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. *Bioresource Technology*. 99(17):7941–53.

Capelli, B., Keily, S., Cysewski, G.R. (2010). The medical research of astaxanthin: Cyanotech Corporation, Kailua-Kona, Hawaii.

Carsten, O., Martin, B., Thomas, S., Guido, B., Helmut, B., Peter, S. et al. (2001). Standardized ultrasound as a new method to induce platelet aggregation: evaluation, influence of lipoproteins and of glycoprotein IIb/IIIa antagonist tirofiban. *European Journal of Ultrasound Official Journal of the European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology*, 14(2):157–66.

Carvalho, A.P., Meireles, L.A., Malcata, F.X., (2006). Microalgal reactors: a review of enclosed system designs and performances. *Biotechnology Progress*. 22(6):1490–506.

Chen, C.Y., Durbin, E.G., (1994). Effects of pH on the growth and carbon uptake of marine phytoplankton. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 109, 83–94.

Chen, C.Y., Yeh, K.L., Aisyah, R., Lee, D.J., Chang, J.S., (2011). Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review. *Bioresour. Technol.* 102, 71–81.

Chen, F., Zhang, Y., Guo, S., (1996). Growth and phycocyanin formation of *Spirulina platensis* in photoheterotrophic culture. *Biotechnology Letters*. 18(5):603–8.

Chen, G.Q., Chen, F., (2006). Growing phototrophic cells without light. *Biotechnology Letters*. 28(9):607–16.

Cheng, J. (Ed.). (2009). *Biomass to renewable energy processes*. CRC press.

Chiaramonti, D., Oasmaa, A., Solantausta, Y. (2007). Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11(6):1056–86.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 25(3):294–306.

Chisti, Y. (2012). Raceways-based production of algal crude oil. In: Posten C, and Walter C, editors. *Microalgal Biotechnology: Potential and Production*: de Gruyter, Berlin. p 113-146.

Chisti, Y. (2013). Constraints to commercialization of algal fuels. *Journal of biotechnology*, 167(3), 201-214.

Chisti, Y., (2008). Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*. 26(3):126–31.

Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Tsai, M. T., Ong, S. C., Chen, C. H., & Lin, C. S. (2009). Lipid accumulation and CO<sub>2</sub> utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO<sub>2</sub> aeration. *Bioresource technology*, 100(2), 833-838.

Chronopoulou, L., Kamel, G., Sparago, C., Bordi, F., Lupi, S., Diociaiuti, M., & Palocci, C. (2011). Structure–activity relationships of *Candida rugosa* lipase immobilized on polylactic acid nanoparticles. *Soft Matter*, 7(6), 2653-2662.

Ciniglia, C., Yoon, H., Pollio, A., Bhattacharya, D. (2004). Hidden biodiversity of the extremophilic Cyanidiales -red algae. *Molecular Ecology*. 13 (7): 1827–1838

Clark, J., Deswarte, F. (2008). Introduction to chemicals from biomass. In: Stevens CV, editor. *Wiley series in renewable resources*. John Wiley & Sons.

Cravotto, G., Boffa, L., Mantegna, S., Perego, P., Avogadro, M., & Cintas, P. (2008). Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves. *Ultrasonics sonochemistry*, 15(5), 898-902.

Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... & Fargione, J. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *Gcb Bioenergy*, 7(5), 916-944.

Cuvelier, M. L., Allen, A. E., Monier, A., McCrow, J. P., Messié, M., Tringe, S. G., ... & Binder, B. J. (2010). Targeted metagenomics and ecology of globally important uncultured eukaryotic phytoplankton. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(33), 14679-14684.

- Damsté, J. S. S., Muyzer, G., Abbas, B., Rampen, S. W., Massé, G., Allard, W. G., ... & Barbanti, S. M. (2004). The rise of the rhizosolenid diatoms. *Science*, 304(5670), 584-587.
- De Luca, Y., Salim, V., Atsumi, S.M., Yu, F. (2012). Mining the biodiversity of plants: a revolution in the making. *Science* 236:1658-1661.
- Delucchi, M. (2003). A lifecycle emissions model (LEM): lifecycle emissions from transportation fuels, motor vehicles, transportation modes, electricity use, heating and cooking fuels, and materials. Main report UCD-ITS-RR-03-17. Ανακτήθηκε από: <http://escholarship.ucop.edu/content/qt9vr8s1bb/qt9vr8s1bb.pdf>
- Demirbas A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*. 42(11):1357–78.
- Demirbas, A. (2006). Oily products from mosses and algae via pyrolysis. *Energy Sources Part A—Recovery Utilization and Environmental Effects*. 28(10):933–40.
- Demirbas, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuel: a review. *Applied Energy*. 86: S108–17.
- Demirbas, A.H., Demirbas, I. (2007). Importance of Rural Bioenergy for Developing Countries. *Energy Convers Manage*. 48, 2386–2398.
- Deshmane, V. G., Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2008). Ultrasound-assisted synthesis of biodiesel from palm fatty acid distillate. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(17), 7923-7927.
- Desmorieux, H., Decaen, N. (2006). Convective drying of spirulina in thin layer. *Journal of Food Engineering*. 66(4):497–503.
- Divakaran, R., Pillai, V.N.S. (2002). Flocculation of algae using chitosan. *Journal of Applied Phycology*. 14(5):419–22.
- Dote, Y., Sawayama, S., Inoue, S., Minowa, T., Yokoyama, S.Y. (1994). Recovery of liquid fuel from hydrocarbon-rich microalgae by thermochemical liquefaction. *Fuel*. 73(12):1855–7.

Doughman, S. D., Krupanidhi, S., & Sanjeevi, C. B. (2007). Omega-3 fatty acids for nutrition and medicine: considering microalgae oil as a vegetarian source of EPA and DHA. *Current diabetes reviews*, 3(3), 198-203.

Dragone, G., Fernandes, B. D., Vicente, A. A., & Teixeira, J. A. (2010). Third generation biofuels from microalgae. *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, 2, 1355-1366.

Du, W., Xu, Y. Y., Liu, D. H., & Li, Z. B. (2005). Study on acyl migration in immobilized lipozyme TL-catalyzed transesterification of soybean oil for biodiesel production. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 37(1-6), 68-71.

Du, Z., Li, Y., Wang, X., Wan, Y., Chen, Q., Wang, C., Lin, X., Liu, Y., Chen, P., Ruan, R. (2011) Microwave-assisted pyrolysis of microalgae for biofuel production. *Bioresour. Technol.*, 102, 4890–4896.

Duan, P., Jin, B., Xu, Y., Yang, Y., Bai, X., Wang, F., Zhang, L., Miao, J. (2013) Thermo-chemical conversion of *Chlorella pyrenoidosa* to liquid biofuels. *Bioresour. Technol.* 133, 197–205.

Duku, M.H., Gu, S., Hagan, E.B. (2010). A comprehensive review of biomass resources and biofuel potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15: 404–15.

Eisberg N. (2006). Harvesting energy. *Chem Ind.* 17: 24–25.

Elkington, J. (1998). *Cannibals with Forks - The Triple Bottom Line of 21st Century Business*: New Society Publishers, Canada.

Eriksen, N., (2008). Production of phycocyanin—a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 80(1):1–14.

EU. (1999). Biomass conversion technologies: achievements and prospects for heat and power generation. EUR 18029 EN. European Commission Directorate General Science, Research and Development, 178.



Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *science*, 281(5374), 237-240.

Fisher, T., Berner, T., Iluz, D., & Dubinsky, Z. (1998). The kinetics of the photoacclimation response of *Nannochloropsis* sp.(Eustigmatophyceae): a study of changes in ultrastructure and PSU density. *Journal of Phycology*, 34(5), 818-824.

Fogg, G. (2012). *The blue-green algae*. Elsevier.

Ghirardi, M.L., Zhang, L., Lee, J.W., Flynn, T., Seibert, M., Greenbaum, E., et al. (2000). Microalgae: a green source of renewable H<sub>2</sub>. *Trends in Biotechnology*. 18(12):506–11.

Gnansounou, E. (2011). Assessing the sustainability of biofuels: A logic-based model. *Energy* 36:2089-2096.

Gogate, P. R. (2008). Cavitation reactors for process intensification of chemical processing applications: a critical review. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(4), 515-527.

Gogate, P. R., & Kabadi, A. M. (2009). A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology. *Biochemical Engineering Journal*, 44(1), 60-72.

Gordillo, F.J.L., Goutx, M., Figueroa, F.L., Niell, F.X. (1998) Effects of light intensity, CO<sub>2</sub> and nitrogen supply on lipid class composition of *Dunaliella viridis*. *J. Appl. Phycol.* 10, 135–144.

Goyal, H.B., Seal, D., Saxena, R.C. (2008) Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12, 504–517.

Graham, L.E., Graham, J.M., Wilcox, L.W., (2009). *Algae*, 2nd ed., San Francisco: Pearson Education, Inc.

Gray, K. A., Zhao, L., & Emptage, M. (2006). Bioethanol. *Current opinion in chemical biology*, 10(2), 141-146.

Greenbaum, E. (1988). Energetic efficiency of hydrogen photoevolution by algal water splitting. *Biophysical Journal*. 54(2):365–8.

Haye, S., Hardtke, C.S. (2009). The Roundtable on Sustainable Biofuels: plant scientist input needed. *Trends Plant Sci* 14(8):409-412.

He, Z., Shao, H., & Angenent, L. T. (2007). Increased power production from a sediment microbial fuel cell with a rotating cathode. *Biosensors and Bioelectronics*, 22(12), 3252-3255.

Heasman, M., Diemar, J., O'connor, W., Sushames, T., & Foulkes, L. (2000). Development of extended shelf-life microalgae concentrate diets harvested by centrifugation for bivalve molluscs—a summary. *Aquaculture Research*, 31(8-9), 637-659.

Heinimö, J. & Alakangas, E. (2006). Solid and Liquid Biofuels: Markets in Finland—a study on international biofuels trade. Ανακτήθηκε από: <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/21715/NWS-E-2006-364.pdf?sequence=1>

Hirano, A., Hon-Nami, K., Kunito, S., Hada, M., Ogushi, Y. (1998). Temperature effect on continuous gasification of microalgal biomass: theoretical yield of methanol production and its energy balance. *Catalysis Today*. 45(1–4):399– 404.

Hoffart, M.I., Caldeira, K., Benford, G., Criswell, D.R., Green, C., Herzog, H., Jain, A.K., Kheshgi, H.S., Lackner, K.S., Lewis, J.S., Lightfoot, H.D., Manheimer, W., Mankins, J.C., Mauel, M.E., Perkins, L.J., Schlesinger, M.E., Volk, T., Wigley, T.M.L. (2002). Advanced Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet. *Science*. 298, 981–987.

Holdren, J. P. (1990). Energy in transition. *Scientific American*, pp. 156-163. Ανακτήθηκε από: <https://www.popline.org/node/378537>

Holdren, J. P. (1991). Population and the energy problem. *Population & Environment*, 12(3), 231-255. Ανακτήθηκε από: [http://www.geo.arizona.edu/geo4xx/geos478/2009/Resources/Holdren91\\_Pop.Energy\\_Pop.Env.pdf](http://www.geo.arizona.edu/geo4xx/geos478/2009/Resources/Holdren91_Pop.Energy_Pop.Env.pdf)

Holmes, D. E., Bond, D. R., O'neil, R. A., Reimers, C. E., Tender, L. R., & Lovley, D. R. (2004). Microbial communities associated with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments. *Microbial ecology*, 48(2), 178-190.

Hoogwijk, M., Faaij, A., Van Den Broek, R., Berndes, G., Gielen, D., & Turkenburg, W. (2003). Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and bioenergy*, 25(2), 119-133.

Höök, M. (2011). Fuelling Future Emissions—Examining Fossil Fuel Production Outlooks Used in Climate Models. In *Climate Change-Research and Technology for Adaptation and Mitigation*. InTech. Ανακτήθηκε από: <https://www.intechopen.com/books/climate-change-research-and-technology-for-adaptation-and-mitigation/fuelling-future-emissions-examining-fossil-fuel-production-outlooks-used-in-climate-models>

Hu, Q. (2004). Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products-major industrial species: arthrospira (Spirulina) platensis. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*: Blackwell, Oxford. p 264-272.

Hu, Q., Kurano, N., Kawachi, M., Iwasaki, I., Miyachi, A., (1998). Ultrahigh-cell-density culture of a marine alga *Chlorococcum littorale* in a flat-plate photobioreactor. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 46:655–62.

Hudek, K., Davis, L. C., Ibbini, J., & Erickson, L. (2014). Commercial products from algae. In *Algal biorefineries* (pp. 275-295). Springer Netherlands.

Inderwildi, O.R., King, D.A. (2009). Quo Vadis biofuels. *Energy & Environmental Science*. 2: 343.

International Energy Agency. (2007). *Renewables information* (2007 edition with 2006 data). IEA statistics, p. 321.

ISO. (2005). 14040-Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Standard Organisation 54.

Janssen, M., Tramper, J., Mur, L.R., Wijffels, R.H., (2003). Enclosed outdoor photobioreactors: light regime, photosynthetic efficiency, scale-up, and future prospects. *Biotechnology and Bioengineering*. 81(2):193–210.

Jiang, S., Win, K. Y., Liu, S., Teng, C. P., Zheng, Y., & Han, M. Y. (2013). Surface-functionalized nanoparticles for biosensing and imaging-guided therapeutics. *Nanoscale*, 5(8), 3127-3148.

Jiang, S., Win, K. Y., Liu, S., Teng, C. P., Zheng, Y., & Han, M. Y. (2013). Surface-functionalized nanoparticles for biosensing and imaging-guided therapeutics. *Nanoscale*, 5(8), 3127-3148.

Jimenez, C., Cossio, B.R., Labella, D., Xavier-Niell, F., (2003). The feasibility of industrial production of *Spirulina* (*Arthrospira*) in southern Spain. *Aquaculture*. 217(1–4):179–90.

Johansson, L. S., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C., & Potter, A. (2004). Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. *Atmospheric environment*, 38(25), 4183-4195.

Juneja, A., Ceballos, R. M., & Murthy, G. S. (2013). Effects of environmental factors and nutrient availability on the biochemical composition of algae for biofuels production: a review. *Energies*, 6(9), 4607-4638.

Junginger, M., Bolkesjø, T., Bradley, D., Dolzan, P., Faaij, A., Heinimö, J., ... & Piacente, E. (2008). Developments in international bioenergy trade. *Biomass and Bioenergy*, 32(8), 717-729.

Kadam, K.L. (2002). Environmental implications of power generation via coal-microalgae cofiring. *Energy*. 27(10):905–22.

Kadoshin, S., Nishiyama, T., & Ito, T. (2000). The trend in current and near future energy consumption from a statistical perspective. *Applied Energy*, 4(67), 407-417.

Kalva, A., Sivasankar, T., & Moholkar, V. S. (2008). Physical mechanism of ultrasound-assisted synthesis of biodiesel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(1), 534-544.

Karagiannidis, A., Wittmaier, M., Langer, S., Bilitewski, B., Malamakis, A. (2009). Thermal processing of waste organic substrates: developing and applying an integrated framework for feasibility assessment in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13: 2156–62.

- Karuppiah, V., & Li, Z. (2015). Marine Microbial Fuel Cells. In Kim, S. K., & Lee, C. G. (Eds.), *Marine bioenergy: Trends and developments* (p.p. 553-573). CRC Press.
- Khan, S. A., Hussain, M. Z., Prasad, S., & Banerjee, U. C. (2009). Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2361-2372.
- Khanna, V. K. (2016). *Nanosensors: physical, chemical, and biological*. CRC Press.
- Khozin-Goldberg, I., & Boussiba, S. (2011). Concerns over the reporting of inconsistent data on fatty acid composition for microalgae of the genus *Nannochloropsis* (Eustigmatophyceae). *Journal of Applied Phycology*, 23(5), 933-934.
- Kilham, S., Kreeger, D., Goulden, C., Lynn, S. (1997) Effects of nutrient limitation on biochemical constituents of *Ankistrodesmus falcatus*. *Freshw. Biol.* 38, 591–596.
- Kim, S. K., & Lee, C. G. (Eds.). (2015). *Marine bioenergy: Trends and developments*. CRC Press.
- Knothe, G., Krahl, J., & Van Gerpen, J. (Eds.). (2015). *The biodiesel handbook*. Elsevier.
- Knuckey, R. M., Brown, M. R., Robert, R., & Frampton, D. M. (2006). Production of microalgal concentrates by flocculation and their assessment as aquaculture feeds. *Aquacultural Engineering*, 35(3), 300-313.
- Korres, N. E., Singh, A., Nizami, A. S., & Murphy, J. D. (2010). Is grass biomethane a sustainable transport biofuel?. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(3), 310-325.
- Korres, N. E., Thamsiriroj, T., Smyth, B. M., Nizami, A. S., Singh, A., & Murphy, J. D. (2011). Grass biomethane for agriculture and energy. In *Genetics, Biofuels and Local Farming Systems* (pp. 5-49). Springer, Dordrecht.
- Kralova, I., & Sjöblom, J. (2010). Biofuels—renewable energy sources: a review. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 31(3), 409-425.
- Kumari, A., Mahapatra, P., Garlapati, V. K., & Banerjee, R. (2009). Enzymatic transesterification of *Jatropha* oil. *Biotechnology for Biofuels*, 2(1), 1.

Lamers, P., Hamelinck, C., Junginger, M., & Faaij, A. (2011). International bioenergy trade—a review of past developments in the liquid biofuel market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2655-2676.

Laursen, W. (2005). Students take a green initiative. *Chemical engineer*, (774-75), 32-34.

Lawrence, S., Liu, Q., & Yakovenko, V. M. (2013). Global inequality in energy consumption from 1980 to 2010. *Entropy*, 15(12), 5565-5579.

Leach, G., Oliveira, G., Morais, R. (1998). Spray-drying of *Dunaliella salina* to produce abcarotene rich powder. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 20(2):82–5.

Li, X., Xu, H., Wu, Q., (2007). Large-scale biodiesel production from microalga *Chlorella protothecoides* through heterotrophic cultivation in bioreactors. *Biotechnology and Bioengineering*. 98(4):764–71.

Li, Y., Horsman, M., Wang, B., Wu, N., & Lan, C. Q. (2008a). Effects of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleoabundans*. *Applied microbiology and biotechnology*, 81(4), 629-636.

Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C. Q., & Dubois-Calero, N. (2008b). Biofuels from microalgae. *Biotechnology progress*, 24(4), 815-820.

Logan, B. E. (2005). Simultaneous wastewater treatment and biological electricity generation. *Water Science and Technology*, 52(1-2), 31-37.

Logan, B. E., & Regan, J. M. (2006). Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *TRENDS in Microbiology*, 14(12), 512-518.

Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., ... & Rabaey, K. (2006). Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environmental science & technology*, 40(17), 5181-5192.

Lovley, D. R. (2006). Bug juice: harvesting electricity with microorganisms. *Nature Reviews Microbiology*, 4(7), 497.

MacKay, D., Salusbury, T. (1988). Choosing between centrifugation and crossflow microfiltration. *Chemical Engineering Journal*. 477:45–50.

Madigan, M. T., & Orent, A. (1999). Thermophilic and halophilic extremophiles. *Current opinion in microbiology*, 2(3), 265-269.

Malik, P., & Sangwan, A. (2012). Nanotechnology: A tool for improving efficiency of bio-energy. *J. Eng. Appl. Sci*, 1, 37-49.

Malik, S., Drott, E., Grisdela, P., Lee, J., Lee, C., Lowy, D. A., ... & Tender, L. M. (2009). A self-assembling self-repairing microbial photoelectrochemical solar cell. *Energy & Environmental Science*, 2(3), 292-298.

Markevičius, A., Katinas, V., Perednis, E., Tamasauskienė, M. (2010). Trends and sustainability criteria of the production and use of liquid biofuels. *Renew Sustain Energy Rev* 14:3226-3231.

Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(1), 217-232.

Mathis, B. J., Marshall, C. W., Milliken, C. E., Makkar, R. S., Creager, S. E., & May, H. D. (2008). Electricity generation by thermophilic microorganisms from marine sediment. *Applied microbiology and biotechnology*, 78(1), 147-155.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. *Bioresource Technology*. 83(1):55–63.

McKendry, P. (2002a). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. 83(1):37–46.

McKendry, P. (2002b). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*. 83(1):47–54.

Melis, A. (2002). Green alga hydrogen production: progress, challenges and prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*. 27(11–12):1217–28.

Melis, A., Happe, T. (2001) Hydrogen production. Green algae as a source of energy. *Plant Physiology*. 127(3):740–8.

- Miao, X., Wu, Q. (2004). High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*. *Journal of Biotechnology*. 110(1):85–93.
- Miao, X., Wu, Q., (2006). Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Bioresource Technology*. 97(6):841–6.
- Miao, X., Wu, Q., Yang, C. (2004). Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 71(2):855–63.
- Min, B., Kim, J., Oh, S., Regan, J. M., & Logan, B. E. (2005). Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells. *Water research*, 39(20), 4961-4968.
- Minowa, T., Sawayama, S. (1999). A novel microalgal system for energy production with nitrogen cycling. *Fuel*. 78(10):1213–5.
- Minowa, T., Yokoyama, S.Y., Kishimoto, M., Okakura, T. (1995). Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction. *Fuel*. 74(12):1735–8.
- Miura, Y., Akano, T., Fukatsu, K., Miyasaka, H., Mizoguchi, T., Yagi, K., et al. (1995). Hydrogen production by photosynthetic microorganisms. *Energy Conversion and Management*. 36(6–9):903–6.
- Mohapatra, D. P., Gassara, F., & Brar, S. K. (2011). Nanoparticles—Production and Role in Biotransformation. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 11(2), 899-918.
- Mohn, F.H. (1980). Experiences and strategies in the recovery of biomass in mass culture of microalgae. In: Shelef G, Soeder CJ, editors. *Algal biomass*. Amsterdam: Elsevier. p. 547–71.
- Mol, A.P.J., (2010). Environmental authorities and biofuels controversies. *Environmental Politics* 19(1): 61-79.
- Molina Grima, E., Belarbi, E.H., Acien Fernandez, F.G., Robles Medina, A., Chisti, Y., (2001). Tubular photobioreactor design for algal cultures. *Journal of Biotechnology*. 92(2):113–31.



Molina Grima, E., Medina, A., Gimenez, A., Sanchez Perez, J., Camacho, F., Garcia Sanchez, J. (1994). Comparison between extraction of lipids and fatty acids from microalgal biomass. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 71(9):955–9.

Molina-Grima, E., Belarbi, E.H., Acien-Fernandez, F.G., Robles-Medina, A., Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology Advances*. 20(7–8):491–515.

Morris, I., Glover, H., Yentsch, C. (1974) Products of photosynthesis by marine phytoplankton: The effect of environmental factors on the relative rates of protein synthesis. *Mar. Biol.* 27, 1–9.

Muller-Feuga, A., Le Guedes, R., Herve, A., Durand, P., (1998). Comparison of artificial light photobioreactors and other production systems using *Porphyridium cruentum*. *Journal of Applied Phycology*. 10(1):83–90.

Munoz, R., Guieysse, B., (2006). Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. *Water Research*. 40(15):2799–815.

Nakas, J., Schaedle, M., Parkinson, C., Coonley, C., Tanenbaum, S. (1983). System development for linked-fermentation production of solvents from algal biomass. *Appl. Environ. Microbiol.* 46, 1017–1023.

Nelson, D. M., Tréguer, P., Brzezinski, M. A., Leynaert, A., & Quéguiner, B. (1995). Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(3), 359-372.

Nindo, C.I., Tang, J. (2007). Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology*. 25:37–48.

Nurdogan, Y., Oswald, W.J. (1996). Tube settling rate of high-rate pond algae. *Water Science Technology*. 33:229–41.

Olaizola, M. (2003). Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomolecular Engineering*. 20(4–6):459– 66.

Olaizola, M., (2000). Commercial production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* using 25,000-liter outdoor photobioreactors. *Journal of Applied Phycology*. 12(3):499–506.

Overend, R. P., (2004). Thermochemical conversion of biomass. *Renewable Energy Sources Charged with Energy from the Sun and Originated from Earth-Moon Interaction*, Evald E. Shpilrain ed., in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, developed under the Auspices of the UNESCO. Eolss Publishers, Oxford.

Palaniappan, K., (2017). An Overview of Applications of Nanotechnology in Biofuel Production. *World Applied Sciences Journal*, 35 (8): 1305-1311.

Pant, D., Singh, A., Bogaert, G.V., Gallego, Y.A., Diels, L., Vanbroekhoven, K. (2011). An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: relevance and key aspects. *Renewable Sustainable Energy Rev* 15:1305-1313.

Park, D. H., & Zeikus, J. G. (2000). Electricity generation in microbial fuel cells using neutral red as an electronophore. *Applied and environmental microbiology*, 66(4), 1292-1297.

Parkinson, J., & Gordon, R. (1999). Beyond micromachining: the potential of diatoms. *Trends in biotechnology*, 17(5), 190-196.

Patil, V., Tran, K.Q., Giselrad, H.R. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International Journal of Molecular Sciences*. 9(7):1188–95.

Peskett, L., Slater, R., Stevens, C., Dufey, A. (2007). *Biofuels, agriculture and poverty reduction*; March. DFID, London, UK.

Petrusevski, B., Bolier, G., Van Breemen, A.N., Alaerts, G.J. (1995). Tangential flow filtration: a method to concentrate freshwater algae. *Water Research*, 29(5):1419–24.

Phang, S.M., Miah, M.S., Yeoh, B.G., Hashim, M.A. (2000). Spirulina cultivation in digested sago starch factory wastewater. *Journal of Applied Phycology*. 12(3):395–400.

Potter, M. C. (1911). Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 84(571), 260-276.

Pragya, N., Pandey, K.K., Sahoo, P., (2013). A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 24, 159–171.

Prakash, J., Pushparaj, B., Carozzi, P., Torzillo, G., Montaini, E., Materassi, R. (1997). Microalgae drying by a simple solar device. *International Journal of Solar Energy.* 18(4):303–11.

Pugh, S., McKenna, R., Moolick, R., & Nielsen, D. R. (2011). Advances and opportunities at the interface between microbial bioenergy and nanotechnology. *The Canadian Journal of Chemical Engineering,* 89(1), 2-12.

Pulz, O. (1998). Scheinbenbogan K. Photobioreactors: design and performance with respect to light energy input. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology.* 59:123–52.

Pulz, O. (2001). Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Applied microbiology and biotechnology,* 57(3), 287-293.

Puri, M., Abraham, R. E., & Barrow, C. J. (2012). Biofuel production: prospects, challenges and feedstock in Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 16(8), 6022-6031.

Rabaey, K., Boon, N., Siciliano, S. D., Verhaege, M., & Verstraete, W. (2004). Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer. *Applied and environmental microbiology,* 70(9), 5373-5382.

Ragauskas, A.J., Williams, C.K., Davison, B.H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C.A., Frederick, W.J., Hallett, J.P., Leak, D.J., Liotta, C.L., Mielenz, J.R., Murphy, R., Templer, R., Tschaplinski, T. (2006). The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. *Science.* 311, 484–489.

Reimers, C. E., Tender, L. M., Fertig, S., & Wang, W. (2001). Harvesting energy from the marine sediment– water interface. *Environmental science & technology,* 35(1), 192-195.

Richmond, A. (Ed.). (2008). *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology.* John Wiley & Sons.

Richmond, A., (2000) Microalgal biotechnology at the turn of the millennium: a personal view. *Journal of Applied Phycology*. 12(3–5):441–51.

Richmond, A., Cheng-Wu, Z., Zarmi, Y., (2003). Efficient use of strong light for high photosynthetic productivity: interrelationships between the optical path, the optimal population density and cell-growth inhibition. *Biomolecular Engineering*. 20(4–6):229–36.

Rodolfi, L., Chini Zittelli, G., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G., & Tredici, M. R. (2009). Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and bioengineering*, 102(1), 100-112.

Royal Society (Great Britain). (2004). *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties: Summary and Recommendations*. Royal Society.

Sabri, E.H., Beamon B.M. (2000). A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega International Journal of Management Science*. 28: 581–98.

Samson, R., Leduy, A., (1985). Multistage continuous cultivation of blue-green alga *Spirulina maxima* in flat tank photobioreactors. *Canadian Journal of Chemical Engineering*. 63:105–12.

Sanchez-Miron, A., Ceron-Garcia, M.C., Garcia-Camacho, F., Molina Grima, E., Chisti, Y., (2002). Growth and biochemical characterization of microalgal biomass produced in bubble column and airlift photobioreactors: studies in fed-batch culture. *Enzyme and Microbial Technology*. 31(7):1015–23.

Sanchez-Miron, A., Contreras Gomez, A., Garca Camacho, F., Molina Grima, E., Chisti, Y., (1999). Comparative evaluation of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae. *Journal of Biotechnology*. 70(1–3):249–70.

Sayre R. (2010). Microalgae: the potential for carbon capture. *Bioscience*; 60(9): 722–7.

Schenk, P., Thomas-Hall, S., Stephens, E., Marx, U., Mussgnug, J., Posten, C., (2008). Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *BioEnergy Research*; 1(1):20–43.

Serrano, E., Rus, G., & Garcia-Martinez, J. (2009). Nanotechnology for sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2373-2384.

Shahidi, F. (2008). Omega-3 Oils: sources, applications, and health effects. In: Barrow CJ, and Shahidi F, editors. *Marine nutraceuticals and functional foods*: CRC Press, Boca Raton. p 23-61.

Sharma, K.K. Schuhmann, H., Schenk, P.M., (2012). High lipid induction in microalgae for biodiesel production. *Energies*. 5, 1532–1553.

Sharma, Y.C., Singh, B. (2009) Development of biodiesel: Current scenario. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 13, 1646–1651.

Sheath, R. G. (1984). The biology of freshwater red algae. *Progress Phycological Research*. 3: 89–157

Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., & Roessler, P. (1998). Look back at the US department of energy's aquatic species program: biodiesel from algae; close-out report (No. NREL/TP-580-24190). National Renewable Energy Lab., Golden, CO.(US).

Sialve, B., Bernet, N., Bernard, O. (2009). Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology Advances*. 27(4):409–16.

Silva Lora, E.E., Escobar Palacio, J.C., Rocha, M.H., Grillo Renó, M.L., Venturini, O.J., del Olmo, O.A. (2011). Issues to consider, existing tools and constraints in biofuels sustainability assessments. *Energy* 36:2097-2110.

Singh, A., & Olsen, S. I. (2012). Key issues in life cycle assessment of biofuels. In *Sustainable Bioenergy and Bioproducts* (pp. 213-228). Springer, London.

Singh, A., Nigam, P.S., Murphy, J.D. (2011). Mechanism and challenges in commercialisation of algal biofuels. *Bioresour Technol*; 102(1): 26–34.

Singh, A., Olsen, S.I. (2011). Critical analysis of biochemical conversion, sustainability and life cycle assessment of algal biofuels. *Applied Energy* 88:3548-3555.

Singh, J., Gu, S. (2010). Commercialization potential of microalgae for biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 2596-2610.

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87-96.

Srivastava, A., Prasad, R. (2000). Triglycerides-based Diesel Fuels. *Renew Sust Energ Rev.* 4, 111–133.

Stark, W. J. (2011). Nanoparticles in biological systems. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(6), 1242-1258.

Suali, E., Sarbatly, R., (2012). Conversion of microalgae to biofuel. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 4316–4342.

Suh, I.S., Lee, S.B., (2003). A light distribution model for an internally radiating photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*. 82:180–9.

Sukenik, A., Carmeli, Y., Berner, T. (1989) Regulation of fatty acid composition by irradiance level in the eustigmatophyte *Nannochloropsis* sp. *J. Phycol.* 25, 686–692.

Tan, R.R., Avisom, K.B., Barilea, I.U., Culaba, A.B., Cruz, Jr J.B. (2011). A fuzzy multi-regional input–output optimization model for biomass production and trade under resource and footprint constraints. *Applied Energy*. 90: 154–60.

Tender, L. M., Reimers, C. E., Stecher III, H. A., Holmes, D. E., Bond, D. R., Lowy, D. A., ... & Lovley, D. R. (2002). Harnessing microbially generated power on the seafloor. *Nature biotechnology*, 20(8), 821.

Terry, K.L., Raymond, L.P., (1985). System design for the autotrophic production of microalgae. *Enzyme and Microbial Technology*. 7(10):474–87.

Thompson, P.A., Guo, M., Harrison, P.J. (1992) Effects of variation in temperature. I. On the biochemical composition of eight species of marine phytoplankton. *J. Phycol.* 28, 481–488.

Tsukahara, K., Sawayama, S. (2005). Liquid fuel production using microalgae. *Journal of the Japan Petroleum Institute*. 48(5):251–9.

Ueno, Y., Kurano, N., Miyachi, S. (1998). Ethanol production by dark fermentation in the marine green alga, *Chlorococcum littorale*. *Journal of Fermentation and Bioengineering*. 86(1):38–43.

Ugwu, C. U., Aoyagi, H., & Uchiyama, H. (2008). Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource technology*, 99(10), 4021-4028.

Ugwu, C.U., Ogbonna, J., Tanaka, H., (2002). Improvement of mass transfer characteristics and productivities of inclined tubular photobioreactors by installation of internal static mixers. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 58(5):600–7.

UNCED. (1992). Promoting sustainable human settlement development. The United Nation Conference on Environment and Development Agenda 21. Rio de Janeiro, Brazil: United Nations Division for Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil.

USDOE. (2002). Roadmap for biomass technologies in the United States. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.

Varfolomeev, S. D., & Wasserman, L. A. (2011). Microalgae as source of biofuel, food, fodder, and medicines. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(9), 789-807.

Verma, M. L., Barrow, C. J., & Puri, M. (2013). Nanobiotechnology as a novel paradigm for enzyme immobilisation and stabilisation with potential applications in biodiesel production. *Applied microbiology and biotechnology*, 97(1), 23-39.

Waage, E. (2008). U.S. Energy Policy Response to International Food Prices: The Costs and Effects of Corn Ethanol Production. *Politics & Society* 36(5): 792-804.

Warabi, Y., Kusdiana, D., & Saka, S. (2004). Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols. *Bioresource technology*, 91(3), 283-287.

Watanabe, Y., Saiki, H., (1997). Development of a photobioreactor incorporating *Chlorella* sp. for removal of CO<sub>2</sub> in stack gas. *Energy Conversion and Management*. 38(Suppl. 1):S499–503.

Wegner, T. H., & Jones, E. P. (2009). A fundamental review of the relationships between nanotechnology and lignocellulosic biomass. *The nanoscience and technology of renewable biomaterials*, 1, 1-41.

Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 849-860.

Widjaja, A., Chien, C. C., & Ju, Y. H. (2009). Study of increasing lipid production from fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 40(1), 13-20.

Wilkinson, S. (2000). "Gastrobots"—benefits and challenges of microbial fuel cells in foodpowered robot applications. *Autonomous Robots*, 9(2), 99-111.

Wu, W., He, Q., & Jiang, C. (2008). Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies. *Nanoscale research letters*, 3(11), 397.

Yan, J., Lin, T. (2009). Bio-fuels in Asia. *Appl Energy* 86:S1-S10.

Yang, J., Xu, M., Zhang, X., Hu, Q., Sommerfeld, M., Chen, Y. (2011). Life-cycle analysis on biodiesel production from microalgae: water footprint and nutrients balance. *Bioresour Technol* 102:159-165.

Yen, H.W., Brune, D.E. (2007). Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane. *Bioresource Technology*. 98(1):130–4.

Yokoyama, S., Jonouchi, K., & Imou, K. (2007). Energy production from marine biomass: fuel cell power generation driven by methane produced from seaweed. *Proc World Acad Sci Eng Tech*, 22, 320-323.

Yu, W., & Xie, H. (2012). A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of nanomaterials*, 2012, 1.

Yue, D., You, F., & Snyder, S. W. (2014). Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: overview, key issues and challenges. *Computers & Chemical Engineering*, 66, 36-56.

Zhang, X.W., Zhang, Y.M., Chen, F., (1999). Application of mathematical models to the determination optimal glucose concentration and light intensity for mixotrophic culture of *Spirulina platensis*. *Process Biochemistry*. 34(5): 477–81.



Zou, S.P., Wu, Y.L., Yang, M.D., Li, C., Tong, J.M. (2009) Thermochemical catalytic liquefaction of the marine microalgae *Dunaliella tertiolecta* and characterization of bio-oils. *Energy Fuels*, 23, 3753–3758.

Zou, Y., Pisciotta, J., Billmyre, R. B., & Baskakov, I. V. (2009). Photosynthetic microbial fuel cells with positive light response. *Biotechnology and Bioengineering*, 104(5), 939-946.

## Ιστοσελίδες

Austin, A. (2010), July 15th. "O'Ethanol", Ethanol Producer Magazine, At: <http://www.ethanolproducer.com/articles/6810/o'-ethanol>

ENERGY POLICY ACT OF 2005. (2005). Federal Energy Regulatory Commission. Public Law 109–58. Ανακτήθηκε από: <https://www.ferc.gov/enforcement/enforce-res/EPAct2005.pdf>

Environmental Protection Agency. (2010). Fuels and fuel additives. Ανακτήθηκε από: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program>

Henrikson, R. (2009). Earth Food Spirulina: Ronore Enterprises, Inc: Hana, Maui, Hawaii, Ανακτήθηκε από: <http://www.spirulinasource.com/PDF.cfm/EarthFoodSpirulina.pdf>

<https://www.worldcoal.org/coal/what-coal>

Kayleigh, B. (2013). Gray visits Whyalla to unveil 'green crude'. Whyalla News. Ανακτήθηκε από: <https://www.whyallanewsonline.com.au/story/1578410/gray-visits-whyalla-to-unveil-green-crude/?cs=1550>

Mduduzi, M. (2014). Biofuels in South Africa. Environment ENSight. Ανακτήθηκε από: <https://www.ensafrica.com/news/biofuels-in-South-Africa?id=1339>

National Academy of Sciences. (2011). Renewable Fuel Standard: Potential Economic and Environmental Effects of U.S. Biofuel Policy. Ανακτήθηκε από: <https://www.nap.edu/resource/13105/Renewable-Fuel-Standard-Final.pdf>

Natural Resources Canada. (2018). The ecoENERGY Innovation Initiative. Ανακτήθηκε από: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/funding/eii/4985>

Ritchie, H., Roser, M. (2017). Fossil Fuels. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels/>

World Coal Institute. (2009). The coal resource - A comprehensive overview of coal. Ανακτήθηκε από: [www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)

Ελληνική Φυκολογική Εταιρία – ΕΛ.Φ.Ε. (2008). Μια βουτιά, μια ματιά στους κήπους του νερού: Γνωρίζοντας τα φύκη. Ανακτήθηκε από: [http://www.ekke.gr/estia/gr\\_pages/F\\_synerg/ELFE/Fyko-entypo.pdf](http://www.ekke.gr/estia/gr_pages/F_synerg/ELFE/Fyko-entypo.pdf)

ΟΔΗΓΙΑ 2003/30/ΕΚ. (2003). ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ - Σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. L 123. 42 – 46. Ανακτήθηκε από: <http://www.ebb-eu.org/legis/OJ%20promotion%20EL.pdf>

ΟΔΗΓΙΑ 2003/96/ΕΚ. (2003). ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ - Σχετικά με την αναδιάρθρωση του κοινοτικού πλαισίου φορολογίας των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. L 283. 51 – 70. Ανακτήθηκε από: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0096&from=EL>

ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2015/1513. (2015). ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ - Για την τροποποίηση της οδηγίας 98/70/ΕΚ σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων βενζίνης και ντίζελ και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. L 239. 1– 29. Ανακτήθηκε από: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L1513&from=EN>

ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ. (2009). ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ - Σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. L 140. 16 – 62. Ανακτήθηκε από: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

