



**ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ  
ΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΑ  
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ (ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟ  
ΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΣΙΤΑΡΙ, ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ,  
ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ) – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

**Η εργασία υποβάλλεται για τη μερική κάλυψη των απαιτήσεων με  
στόχο την απόκτηση του διπλώματος**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
& ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**από**

**ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**&**

**ΤΗ ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ**

**ΒΕΝΕΤΙΑ ΒΑΛΙΑΝΑΤΟΥ**

**2013**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
2.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ - ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ .....	17
2.1.	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	17
2.2.	ΒΙΟΜΑΖΑ .....	17
2.2.1.	Η βιομάζα ως αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας .....	18
2.3.	ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ .....	20
2.3.1.	Κύκλος ζωής βιοκαυσίμων .....	21
2.3.2.	Πρώτες ύλες βιοκαυσίμων .....	25
2.3.3.	Διεργασίες Παραγωγής Βιοκαυσίμων .....	28
2.3.4.	Ενεργειακές Καλλιέργειες .....	31
2.3.5.	Βιοκαύσιμα Πρώτης Γενιάς .....	33
2.3.6.	Βιοκαύσιμα Δεύτερης Γενιάς .....	35
2.4.	ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ .....	38
2.4.1.	Χημεία Βιοαιθανόλης .....	38
2.4.2.	Καύσιμο αιθανόλης .....	41
2.4.3.	Παραγωγή βιοαιθανόλης .....	42
3.	ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ, ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΚΑΙ ΣΙΤΑΡΙ..	45
3.1.	ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ .....	46
3.1.1.	Παραγωγή ζαχαροκάλαμου .....	46
3.1.2.	Διεργασίες μετατροπής ζαχαροκάλαμου σε βιοαιθανόλη .....	51
3.2.	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ .....	59
3.2.1.	Παραγωγή καλαμποκιού .....	59
3.2.2.	Διεργασίες μετατροπής καλαμποκιού σε βιοαιθανόλη .....	62
3.3.	ΣΙΤΑΡΙ .....	64
3.3.1.	Παραγωγή σίτου .....	64
3.3.2.	Διεργασίες μετατροπής σίτου σε βιοαιθανόλη .....	71
4.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ, ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ, ΣΙΤΑΡΙ .....	77
4.1.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ .....	77
4.2.	ΜΟΝΤΕΛΟ GEMIS .....	82
4.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ .....	86
4.3.1.	Διεργασία Καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου .....	86
4.3.2.	Διεργασία μεταφοράς ζαχαροκάλαμου .....	89
4.3.3.	Διεργασία Αλκοολικής ζύμωσης ζαχαροκάλαμου .....	90
4.3.4.	Διεργασία μεταφοράς βιοαιθανόλης .....	92
4.3.5.	Διεργασία Ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης .....	93
4.3.6.	Διεργασία Χρήσης βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο .....	95
4.4.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	97
4.4.1.	Διεργασία Καλλιέργειας καλαμποκιού .....	97
4.4.2.	Διεργασία μεταφοράς καλαμποκιού .....	100
4.4.3.	Διεργασία Αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού .....	101
4.4.4.	Διεργασία μεταφοράς βιοαιθανόλης .....	104
4.4.5.	Διεργασία Ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης .....	105
4.4.6.	Διεργασία Χρήσης βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο .....	107

4.5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΣΙΤΑΡΙ .....	108
4.5.1.	Διεργασία Καλλιέργειας Σίτου .....	109
4.5.2.	Διεργασία μεταφοράς σίτου .....	112
4.5.3.	Διεργασία Αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού .....	112
4.5.4.	Διεργασία μεταφοράς βιοαιθανόλης .....	114
4.5.5.	Διεργασία Ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης .....	115
4.5.6.	Διεργασία Χρήσης βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο .....	117
5.	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ .....	119
5.1.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ .....	119
5.2.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΙΩΝ .....	124
5.3.	ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	130
5.4.	ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ .....	133
5.5.	ΚΟΣΤΟΣ .....	134
5.6.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ 135	
5.7.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΙΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ 137	
5.8.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΙΩΝ .....	139
6.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	141
6.1.	ΑΕΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ .....	141
6.2.	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ .....	142
6.3.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ .....	143
6.4.	ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ .....	144
6.5.	ΚΟΣΤΟΣ .....	144
6.6.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ 144	
6.7.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΙΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ 145	
6.8.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΙΩΝ .....	145
6.9.	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ .....	146
6.10.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΝΥΠΟΛΟΓΙΣΤΟΥΝ .....	146
6.10.1.	Βιωσιμότητα .....	147
6.10.2.	Αλλαγή χρήσης γης .....	148
6.10.3.	Υποπροϊόντα .....	151
6.10.4.	Ανταγωνισμός τροφής και βιοκαυσίμων .....	151
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ .....	156
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	158

## **i. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ενώ η παραγωγή βιοαιθανόλης συνεχίζει να επεκτείνεται παγκοσμίως, υπάρχουν ερωτήματα σχετικά με τις επιδόσεις της ως καύσιμο μεταφοράς σε περιβαλλοντικά θέματα, καθώς επίσης και με το κόστος αυτής. Για την αξιολόγηση της σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα έχουν καθιερωθεί μοντέλα ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ), με την βοήθεια των οποίων υπολογίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους και το κόστος από την παραγωγή μέχρι την τελική χρήση τους ως καύσιμα μεταφοράς.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση κύκλου ζωής της χρήσης βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο, που παράγεται χρησιμοποιώντας ως πρώτες ύλες το ζαχαροκάλαμο, το καλαμπόκι και το σιτάρι. Κατά την AKZ θα εξεταστούν τα στάδια παραγωγής των πρώτων υλών, οι διεργασίες μετατροπής τους σε βιοαιθανόλη και τα συμπαραγόμενα προϊόντα. Η AKZ θα πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του μοντέλου «Global Emission Model of Integrated Systems, GEMIS, Version 4.81» του International Institute for Sustainability Analysis and Strategy (IINAS) με σημείο αναφοράς την AKZ της βενζίνης. Οι περιβαλλοντικές πλευρές που θα εξεταστούν είναι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, η χρήση μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, η χρήση γης, καθώς επίσης και το ιδιωτικό και κοινωνικό κόστος.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αν και η βιοαιθανόλη και κυρίως εκείνη με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο, υπερτερεί σε σχέση με τη βενζίνη σε θέματα που αφορούν τη θέρμανση του πλανήτη και την εξάντληση των φυσικών πόρων, υπάρχουν τομείς όπως είναι η οξίνιση των φυσικών αποδεκτών, η δημιουργία αιθαλομίχλης και η γεωργική χρήση γης, όπου η επίδοση της είναι χειρότερη.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα βιοκαύσιμα ως εναλλακτική πηγή ενέργειας, σε μία προσπάθεια να αντικατασταθούν τα προϊόντα που προέρχονται από το πετρέλαιο.

Ο όρος βιοκαύσιμα, αποτελεί συντομογραφία των καυσίμων βιομάζας και χρησιμοποιείται για να περιγράψει υγρά, στερεά και αέρια καύσιμα τα οποία παράγονται από βιομάζα για χρήση στον τομέα των μεταφορών, είτε σε άλλες διαδικασίες καύσης, συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγής ενέργειας.

Στον τομέα των μεταφορών καταναλώνεται το 19% της ενέργειας που χρησιμοποιείται παγκοσμίως και σε αυτόν οφείλεται το 23% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας. Τα ποσοστά αυτά είναι πιθανό να αυξηθούν στο μέλλον. Ενώ η κατανάλωση ενέργειας για τον τομέα των μεταφορών αναμένεται να διπλασιαστεί μέχρι το 2050, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να μειωθούν δραματικά, στα πλαίσια της στρατηγικής για συνολική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας κατά 50%. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η εφαρμογή νέων τεχνολογιών, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι παγκοσμίως για καθαρή ενέργεια και βιώσιμη ανάπτυξη.<sup>1</sup>

Στην προσπάθεια απεξάρτησης από το πετρέλαιο στον τομέα των μεταφορών, τα βιοκαύσιμα αποτελούν τη λύση, με μικρές αλλαγές στα οχήματα. Ενώ η βελτίωση της απόδοσης των οχημάτων είναι μακράν ο πιο φθηνός τρόπος μείωσης των εκπομπών του CO<sub>2</sub> στον τομέα των μεταφορών, τα βιοκαύσιμα θα πρέπει να διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στην αντικατάσταση των υγρών ορυκτών καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται σε αεροπλάνα, θαλάσσια σκάφη και άλλα βαριά οχήματα που δεν μπορούν να κινηθούν με ηλεκτρισμό. Η παραγωγή και η χρήση των βιοκαυσίμων μπορούν να παρέχουν και επιπλέον οφέλη, όπως είναι η ασφάλεια εφοδιασμού ενέργειας,

με τη μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές πετρελαίου και η μείωση της αστάθειας τιμών του πετρελαίου. Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα μπορούν να συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη των αγροτικών περιοχών με τη δημιουργία νέων πηγών εισοδήματος.

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μια διαφωνία για το βαθμό στον οποίο τα βιοκαύσιμα οδηγούν σε μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, κυρίως εάν ληφθούν υπόψη οι εκπομπές που συνδέονται με τις άμεσες και έμμεσες αλλαγές χρήσης γης που προκαλούνται από την παραγωγή βιοκαυσίμων. Έχει γίνει επίσης συζήτηση για το αν τα συμβατικά βιοκαύσιμα μπορούν να βλάψουν την ασφάλεια τροφίμων, μετά από μια αύξηση στις τιμές των βασικών γεωργικών προϊόντων τα έτη 2007 - 08. Παρόλο που οι πιο πρόσφατες αναλύσεις δείχνουν ότι ο συνδυασμός των υψηλών τιμών του πετρελαίου, των φτωχών συγκομιδών και της χρήσης των βασικών αγαθών από οικονομικούς επενδυτές, είχε μεγαλύτερη επίδραση στις τιμές των τροφίμων από την παραγωγή βιοκαυσίμων (Παγκόσμια Τράπεζα, 2010), η ασφάλεια των τροφίμων παραμένει ένα κρίσιμο θέμα για τις πολιτικές παραγωγής βιοκαυσίμων. Υπάρχει επίσης διαμάχη γύρω από τις πιθανές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιδράσεις από την παραγωγή και τη χρήση βιοκαυσίμων.

Ο μεγαλύτερος όγκος της παραγωγής βιοκαυσίμων προέρχεται από τη βιοαιθανόλη, η οποία παράγεται από μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών. Το 80% της παραγωγής βιοαιθανόλης προέρχεται από καλαμπόκι και ζαχαροκάλαμο.

Πολλές έρευνες και εκθέσεις έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια με σκοπό την εξέταση ενός μεγάλου εύρους θεμάτων και επιπτώσεων που σχετίζονται με τη χρήση της βιοαιθανόλης ως καύσιμο στον τομέα μεταφοράς. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι και θετικά και αρνητικά, όσον αφορά τις επιπτώσεις της βιοαιθανόλης στις τοπικές κοινωνίες και οικονομίες, στο περιβάλλον, τη δημόσια υγεία και την γεωργία.<sup>2</sup>

Οι κύριες κινητήριες δυνάμεις ανάπτυξης των βιοκαυσίμων είναι η ανησυχία για την ασφάλεια εφοδιασμού, η οποία ενισχύεται από την επιθυμία να υποστηριχθεί ο αγροτικός τομέας και να βελτιωθεί η αγροτική οικονομία και η μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub> στον τομέα των μεταφορών.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (ΔΟΕ – IEA) σε πρόσφατη έκδοση του με προβλέψεις για το ενεργειακό μέλλον (World Energy Outlook 2012<sup>3</sup>), εκτιμά ότι η παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου προβλέπεται να φθάσει τα 99,7 εκατ. βαρέλια την ημέρα το 2035 από 87,4 εκατ. βαρέλια την ημέρα το 2011. Η κατανάλωση πετρελαίου θα αυξάνεται κατά μέσο όρο 1,2% το χρόνο και η τιμή του πετρελαίου θα διαμορφωθεί στο ίδιο έτος πιθανόν στα 125 δολάρια το βαρέλι σε σύγκριση με την τιμή των 108 δολαρίων ανά βαρέλι για το πετρέλαιο τύπου μπρεντ τώρα. Μέχρι το 2020 η έκθεση προβλέπει αύξηση στη ζήτηση πετρελαίου κατά 7 εκατ. δολάρια ημερησίως, η οποία αναμένεται να ξεπεράσει τα 99 εκ., δολάρια ημερησίως το 2035.

Αναφορικά με την παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου το 2013, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας με τη μηνιαία έκθεση Ιανουαρίου 2013 για την παγκόσμια αγορά πετρελαίου, προβλέπει ότι αυτή θα αγγίξει τα 90,8 εκατ. βαρέλια ημερησίως, 930 χιλ. βαρέλια (1,%) πάνω σε σχέση με το 2012, αναθεωρώντας ανοδικά κατά 240 χιλ. βαρέλια ημερησίως την πρόβλεψη της έκθεσης του Δεκεμβρίου. Από την άλλη πλευρά, η παγκόσμια παραγωγή μειώθηκε κατά 170 χιλ. βαρέλια την ημέρα τον Δεκέμβριο του 2012, αγγίζοντας τα 91,2 εκατ. βαρέλια την ημέρα. Όσο η παραγωγή πετρελαίου θα μειώνεται τόσο οι τιμές του πετρελαίου θα αυξάνουν, εκτός εάν άλλα εναλλακτικά καύσιμα αρχίζουν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Η πορεία για το φυσικό αέριο προδιαγράφεται αντίστοιχη. Η ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί κατά 50% έως το 2035, φτάνοντας τα 5 tcm.



Όπως επισημαίνει η έκθεση World Energy Outlook 2012 ο ενεργειακός χάρτης πρόκειται να αλλάξει δραματικά μέσα στις επόμενες δεκαετίες, με τη δεύτερη θέση στην παγκόσμια κατάταξη να καταλαμβάνουν οι ΑΠΕ έως το 2015, ενώ στα επόμενα 22 χρόνια πρόκειται να «ανταγωνιστούν» τα ορυκτά καύσιμα έως το 2035. Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης του IEA, οι επιδοτήσεις του 2011 (συμπεριλαμβανομένων των βιοκαυσίμων) στις ΑΠΕ, ανήλθαν σε 88 δις. δολάρια, ενώ, προκειμένου να ισχύσουν οι ανωτέρω προβλέψεις για την ανάπτυξη της «πράσινης» αγοράς, θα απαιτηθούν επενδύσεις 4,8 τρισ. δολαρίων. Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει έως το 2035 το 20% της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας του 2010<sup>4,5</sup>.

Επομένως τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων προβλέπεται να είναι περιορισμένα και να εξασθενήσουν κάποια στιγμή στο μέλλον. Οι πρόσφατες δραματικές διακυμάνσεις στις τιμές πετρελαίου δείχνουν μία σταθερά αυξημένη ζήτηση. Ο χρονικός ορίζοντας εξάντλησης του πετρελαίου είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί, αλλά είναι βέβαιο ότι η σχέση προσφοράς – ζήτησης θα χειροτερεύει με το χρόνο. Οι τιμές πετρελαίου θα αυξηθούν σημαντικά τις επρχόμενες δεκαετίες, πιθανότατα με δραματικές επιπτώσεις στην κοινωνική ευημερία. Κάποια στιγμή δε θα υπάρξει οικονομικό ενδιαφέρον για τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, επειδή θα είναι φθηνότερο να παραχθούν καύσιμα από άλλες πρώτες ύλες, όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο, η βιομάζα, η αιολική, η υδροηλεκτρική ενέργεια ή ακόμα και η πυρηνική ενέργεια. Η αιθανόλη προσφέρει μία δυνατότητα μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και αυτός είναι ίσως ο πιο σημαντικός λόγος χρήσης της αιθανόλης στον τομέα των μεταφορών σήμερα. Εάν επιλεγεί η αιθανόλη σαν μέρος της λύσης του προβλήματος της εξασθένησης των αποθεμάτων πετρελαίου, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η βιώσιμη παραγωγή αιθανόλης, ώστε να ικανοποιεί συνεχώς την ζήτηση.

Τα αέρια θερμοκηπίου (GHG) είναι τα αέρια που μειώνουν την ικανότητα της γης να εκπέμπει τη θερμική ενέργεια του ήλιου πίσω στο διάστημα. Είναι απαραίτητο να γίνονται προσεκτικοί χειρισμοί όσον αφορά στις αλλαγές του οικοσυστήματος και της ατμόσφαιρας. Σύμφωνα με την έκθεση κλιματικής αλλαγής του 2007 η Διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) υποστηρίζει ότι έχει παρατηρηθεί σημαντική άνοδος σε τοπικές θερμοκρασίες και στην θερμοκρασία του πλανήτη. Επιπλέον η IPCC έχει βρει ότι είναι πολύ πιθανό αυτή η άνοδος να έχει προκληθεί από τις αυξημένες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Επομένως είναι σημαντικό να βρεθούν τρόποι ελαχιστοποίησης της εκπομπής μεγαλύτερων συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, κυρίως αυτών που προέρχονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Ο τομέας μεταφορών συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στις εκπομπές GHG, στον οποίο οφείλονται περίπου το 13% των ανθρωπογενών εκπομπών GHG. Οι μεταφορές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα και δεν υπάρχουν πολλές εφαρμόσιμες εναλλακτικές σήμερα, σε σύγκριση με τον υπόλοιπο ενεργειακό τομέα, ο οποίος έχει πολυάριθμες εναλλακτικές για την παραγωγή ηλεκτρισμού, π.χ. αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, πυρηνική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια κ.α.<sup>6</sup>

Ωστόσο η βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων έχει αμφισβητηθεί από πολλές έρευνες (π.χ. Doornbosch και Steenblik 2007, Fargione et al. 2008, Searchinger et al. 2008). Σε απάντηση αυτών χρησιμοποιείται η μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, για την αξιολόγηση των δυνατών πλεονεκτημάτων και πιθανών μειονεκτημάτων των βιοκαυσίμων.

Στους πίνακες 1.1 και 1.2 φαίνονται τα αποτελέσματα από μελέτες που αφορούν στην ανάλυση κύκλου ζωής βιοαιθανόλης και βιοντίζελ 1<sup>ης</sup> γενιάς και στον πίνακα 1.3 2<sup>ης</sup> γενιάς. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως ποσοστό βελτίωσης σε σχέση με τα συμβατικά

καύσιμα. Οι τιμές σε παρένθεση αντιστοιχούν στα ανώτατα και κατώτατα όρια που παρατηρούνται στην μελέτη. Οι τιμές που δεν είναι σε παρένθεση σχετίζονται με διαφορετικά σενάρια ή υποθέσεις της αντίστοιχης μελέτης.<sup>7</sup>

Συγγραφέας	Έτος	Περιοχή Μελέτης	Μείωση ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα	Μείωση αερίων θερμοκηπίου	Πρώτη ύλη βιοκαυσίμου
Farrell et al.	2006	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	34% ; 16 %	13% ; -2%	καλαμπόκι
Grood & Heywood	2007	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	68%	20% (-47%, +58%)	καλαμπόκι
Unnasch & Pont	2007	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	33-64%	-5%, +30%	καλαμπόκι
Wang et al.	2007	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	36% (30-70%)	19% (-3%, +52%)	καλαμπόκι
De Oliveira et al.	2005	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	26%	-4%	καλαμπόκι
Shapouri et al.	2002	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	39%	35%	καλαμπόκι
Zah et al.	2007	Ηνωμένες Πολιτείες και Κίνα	37%	18%	καλαμπόκι
Quirin et al.	2004	Διάφορες	16-85%	18-90%	σιτάρι
Elsayed et al.	2003	Διάφορες	61%	64%	σιτάρι
Edwards et al.	2007	Ευρώπη	42% (22-115%)	32%	σιτάρι
S&T Consultants	2006	Καναδάς	61%	48%	σιτάρι
Lechon et al	2005	Ισπανία	42%	78%	σιτάρι
Ecobilan	2002	Γαλλία	57%	60%	σιτάρι
Various (Ecofys & SenterNovum)	2005	Ευρώπη	40%	32%	σιτάρι
De Castro	2007	Βραζιλία, Αφρική	90%	>100%	ζαχαροκάλαμο
Smeets et al.	2006	Βραζιλία	>90%	85 - 90%	ζαχαροκάλαμο
Edwards et al.	2007	Ευρώπη	>90-100%+	~87%	ζαχαροκάλαμο
Unnasch & Pont	2007	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	86%	84%	ζαχαροκάλαμο

De Oliveira et al.	2005	Βραζιλία, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	78%	>70%	ζαχαροκάλαμο
Macedo et al.	2004	Βραζιλία	91%	86%	ζαχαροκάλαμο
Zah et al.	2007	Βραζιλία, Κίνα	89%	85%	ζαχαροκάλαμο
Smeets et al.	2006	Μη Διαθέσιμο	Μη Διαθέσιμο	~35 - 55%	ζαχαρότευτλο
Edwards et al.	2007	Ευρώπη	+ 48% (24-73%)	48% (32-65%)	ζαχαρότευτλο
Ecobilan	2002	Γαλλία	58%	61%	ζαχαρότευτλο
Elsayed et al.	2003	Διάφορες	~58%	51%	ζαχαρότευτλο
Zah et al.	2007	Κίνα	73%	65%	ζαχαρότευτλο
Gnansounou & Dauriat	2004	Ελβετία	85%	40%	ζαχαρότευτλο

Πίνακας 1.1 Αποτελέσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής βιοαιθανόλης 1<sup>ης</sup> γενιάς από καλαμπόκι, σιτάρι, ζαχαροκάλαμο και ζαχαρότευτλο.

Συγγραφέας	Έτος	Περιοχή Μελέτης	Μείωση ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα	Μείωση αερίων θερμοκηπίου	Πρώτη ύλη βιοκαυσίμου
de Castro	2007	Βραζιλία, Αφρική	Μη διαθέσιμο	~20 - 40%	ελαιοκράμβη
Quirin et al.	2004	Διάφορες	~60% (> 100%)	~20 - 85%	ελαιοκράμβη
Elsayed et al.	2003	Διάφορες	65%	53%	ελαιοκράμβη
Puppan	2001	Βέλγιο, Γερμανία	55%	45%	ελαιοκράμβη
Edwards et al.	2007	Ευρώπη, Βραζιλία	56 - 61%	41-47%	ελαιοκράμβη
Lechon et al.	2006	Ισπανία	79%	56%	ελαιοκράμβη
Ecobilan	2002	Γαλλία	80%	~80%	ελαιοκράμβη
Choudhury et al.	2002	Ευρώπη	43%	~55% (30-85%)	ελαιοκράμβη
Zah et al.	2007	Διάφορες	46-54%	64%	ελαιοκράμβη
Various (Ecofys, SenterNovem)	2005	Διάφορες	57%	40%	ελαιοκράμβη
De Castro	2007	Βραζιλία, Αφρική	Μη διαθέσιμο	53-78%	σόγια
Larson	2005	Ευρώπη, Β. Αμερική	-70%	45-75%	σόγια
Quirin et al.	2004	Διάφορες	>100%	68-110%	σόγια
Edwards et al.	2007	Ευρώπη, Βραζιλία	67%	67%	σόγια
Unnasch and Pont	2007		10%	10%	σόγια

Lechon	2006		79%	56%	σόγια
Zah et al.	2007		27% (Βραζιλία) - ~ 40% (ΗΠΑ)	-17% (Βραζιλία) - ~ 40% (ΗΠΑ)	σόγια
Quirin et al.	2004	Διάφορες	72-139%	35-110%	ηλίανθο
Edwards et al.	2007	Ευρώπη, Βραζιλία	67%	67%	ηλίανθο
Lechon et al.	2006	Ισπανία	76%	66%	ηλίανθο
Ecobilan	2002	Γαλλία	83%	83%	ηλίανθο
Reinhardt et al.	2007	Μέση παραγωγή	7%	31%	φοινικέλαιο
Unnasch and Pont	2007		10%	8-12%	φοινικέλαιο
Lechin et al.	2006	Ταϊλάνδη, Ισπανία	64%	40%	φοινικέλαιο
Zah et al.	2007	Μαλαισία, Κίνα	64%	70%	φοινικέλαιο
Beer et al.	2007	Ινδονησία, Μαλαισία	Μη διαθέσιμο	~80%	φοινικέλαιο

Πίνακας 1.2 Αποτελέσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής βιοντιζέλ 1<sup>ης</sup> γενιάς από ελαιοκράμβη, σόγια, ηλίανθο, φοινικέλαιο .

Συγγραφέας	Έτος	Περιοχή Μελέτης	Μείωση ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα	Μείωση αερίων θερμοκηπίου	Πρώτη ύλη βιοκαυσίμου
Farrell et al.	2006	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	93%	88%	Κυτταρινούχα αιθανόλη από switchgrass
Quirin et al.	2004	Διάφορες	58%-138% (EtOH) 72 - 100% (BtL)	15-115% (EtOH) 200% (BtL)	Λιγνοκυτταρινούχα αιθανόλη και υγρά καύσιμα (BtL)
Elsayed et al.	2003	Διάφορες	~100% 8	4%	Κυτταρινούχα αιθανόλη από άχυρο σίτου
Edwards et al.	2007	Ευρώπη, Βραζιλία	76-91%	76--88%	Κυτταρινούχα αιθανόλη από άχυρο σίτου και ξύλο
Grood and Haywood	2007	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	76%	93-98%	Κυτταρινούχα αιθανόλη από switchgrass

Unnasch and Pont	2007	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	70-80%	10-102%	Κυτταρινούχα αιθανόλη από λεύκη, switchgrass και δασικά υπολείμματα
Wang et al.	2007	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	93%	86%	Κυτταρινούχα αιθανόλη
Veeraraghavan & Riera-Palou	2006	Ηνωμένο Βασίλειο	78-102%	88-98%	Κυτταρινούχα αιθανόλη από άχυρο σίτου και ξύλο
Choudhury et al.	2002	Ευρώπη	Μη διαθέσιμο	~70% (propylar) - 80% (residual)	Κυτταρινούχα αιθανόλη από λεύκη και Fischer Tropesch ντίζελ από υπολείμματα ξύλου
Jungbluth et al.	2008	Ευρώπη	37-61%	28-69%	BtL από άχυρο και ξύλο
Zah et al.	2007	Ελβετία	+ 73-79%	65%	Κυτταρινούχα αιθανόλη από χόρτα και ξύλο
Reinhardt et al.	2006	Γερμανία/Κεντρική Ευρώπη	50-80%	60-115%	BtL ντίζελ από διάφορα είδη βιομάζας
Baitz et al.	2004	Γερμανία	Μη διαθέσιμο	61-91%	Sundiesel

Πίνακας 1.3 Αποτελέσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής βιοντίζελ 2ης γενιάς βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλης και βιοντίζελ)

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 1 μετά την εισαγωγή στο θέμα, αναλύονται οι κινητήριες δυνάμεις ανάπτυξης των βιοκαυσίμων και γίνεται μια βιβλιογραφική αναφορά στις μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής βιοκαυσίμων και στη σημασία τους για την αξιολόγηση των επιπτώσεων τους.

Στο Κεφάλαιο 2 ορίζεται η έννοια της βιομάζας και η σημασία της ως αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας. Γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή των βιοκαυσίμων με έμφαση στη βιοαιθανόλη. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βιοκαύσιμα, οι πρώτες ύλες και οι διεργασίες παραγωγής τους και αναφέρονται τα κυριότερα είδη αυτών με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Τέλος γίνεται εκτενής περιγραφή της βιοαιθανόλης.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται τα στάδια παραγωγής βιοαιθανόλης με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο, το καλαμπόκι και το σιτάρι και περιγράφονται εκτενώς όλα τα στάδια παραγωγής τους και μετατροπής τους σε βιοαιθανόλη.

Στο Κεφάλαιο 4 μετά από μια περιγραφή της AKZ ως εργαλείο μελέτης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των βασικών σταδίων αυτής και του προγράμματος GEMIS που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα των διεργασιών του κύκλου ζωής της βιοαιθανόλης από τις παραπάνω πρώτες ύλες, καθώς επίσης και αναλυτικοί πίνακες των στοιχείων τους.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την AKZ της βιοαιθανόλης μεταξύ των διαφορετικών πρώτων υλών. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που εξετάζονται είναι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, η χρήση ενεργειακών πόρων, η χρήση γης, καθώς επίσης και το εσωτερικό και εξωτερικό κόστος. Στο τέλος του Κεφαλαίου γίνεται και σύγκριση μεταξύ των επιπτώσεων αυτών.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την παραπάνω ανάλυση και γίνεται σύγκριση αυτών. Επίσης αναφέρονται παράγοντες που πρέπει να συνυπολογιστούν.

Τέλος στο Κεφάλαιο 7 αναφέρονται τα συμπεράσματα και προτάσεις για το μέλλον.





## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ - ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ

### 2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τα βιοκαύσιμα άρχισαν να παράγονται στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όταν ο Rudolf Diesel κατασκεύασε τον Αύγουστο του 1893 τον ομώνυμο κινητήρα, χρησιμοποιώντας ως καύσιμο για τη λειτουργία του το αραχιδέλαιο (φυστικέλαιο). Μέχρι τη δεκαετία του '40, τα βιοκαύσιμα αποτελούσαν βιώσιμα καύσιμα για μεταφορές, αλλά η πτώση των τιμών των ορυκτών καυσίμων σταμάτησαν την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Το ενδιαφέρον για την εμπορική παραγωγή των βιοκαυσίμων για τον τομέα των μεταφορών αυξήθηκε πάλι στα μέσα του 1970, όταν άρχισε να παράγεται αιθανόλη από ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία και έπειτα από καλαμπόκι στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στα περισσότερα μέρη του κόσμου, η αύξηση της παραγωγής βιοκαυσίμων έχει πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών, υποστηριζόμενη από φιλόδοξες κυβερνητικές πολιτικές.

Η χρήση της αιθανόλης ως καύσιμο μεταφοράς χρονολογείται από το 1908, όταν ο Χένρι Φορντ άρχισε να κατασκευάζει το «Model T». Το «Model T» σχεδιάστηκε να λειτουργεί με βενζίνη, αιθανόλη ή συνδυασμό των δύο και αποτέλεσε το πρώτο πλειοκαύσιμο όχημα (flex fuel). Παρόλο που η αιθανόλη άρχισε να εκλείπει με την ανάπτυξη της βιομηχανίας πετρελαίου στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, το ενδιαφέρον για τη χρήση της ως καύσιμο μεταφοράς επανεμφανίστηκε κατά τη διάρκεια των διαταραχών του εφοδιασμού πετρελαίου τις δεκαετίες του 1970 και 1980. Από τότε οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Βραζιλία διοχετεύουν σημαντικούς κρατικούς πόρους στην ανάπτυξη της βιομηχανίας αιθανόλης και αποτελούν τις πρώτες παραγωγούς χώρες βιοαιθανόλης.

### 2.2. ΒΙΟΜΑΖΑ

Σύμφωνα με την οδηγία 2003/30/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου με τον όρο «βιομάζα» εννοούμε το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων.

Πηγές της βιομάζας θεωρούνται τα υπολείμματα της δασικής ύλης που προκύπτουν από την υλοτόμηση και την επεξεργασία του ξύλου, τα υπολείμματα των αγροτικών καλλιεργειών και της αγροτικής βιομηχανίας, τα υπολείμματα της κτηνοτροφίας, τα αστικά απορρίμματα αλλά και οι ενεργειακές καλλιέργειες.

Βιομάζα είναι η οργανική ύλη που αντιδρά με το οξυγόνο κατά την καύση και τις φυσικές μεταβολικές διαδικασίες για να απελευθερωθεί θερμότητα. Αυτή η θερμότητα, ειδικά σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 400°C, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή έργου και ηλεκτρικής ενέργειας. Η αρχική ύλη μπορεί να μετασχηματιστεί με χημικές και βιολογικές διεργασίες για να παραχθούν βιοκαύσιμα, δηλ. βιομάζα μεταποιημένη σε μια καταλληλότερη μορφή, κυρίως σε υγρά καύσιμα για μεταφορές. Παραδείγματα βιοκαυσίμων αποτελούν το αέριο μεθανίου, η υγρή αιθανόλη, οι μεθυλικοί εστέρες, έλαια και ο στερεός ξυλάνθρακας. Ο όρος βιοενέργεια αναφέρεται τόσο σε βιομάζα όσο και σε βιοκαύσιμα.

### **2.2.1. Η βιομάζα ως αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας**

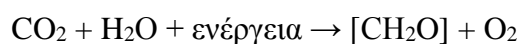
Η βιομάζα αποτελεί μια τεράστια αποθήκη ενέργειας, πηγή της οποίας είναι ο ήλιος. Ενώ μόνο ένα μικρό ποσοστό από την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη δεσμεύεται από την οργανική ύλη, η ποσότητα αυτή ισοδυναμεί με το οκταπλάσιο της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Η εγκλωβισμένη βιοενέργεια ανακυκλώνεται με τη βοήθεια μιας σειράς χημικών και φυσικών διεργασιών στα φυτά, το έδαφος, το χώρο γύρω από τα φυτά και την υπόλοιπη

έμβια ύλη, μέχρι που τελικά ακτινοβολείται από τη γη ως θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας. Εξαιρέση αποτελεί ένα μικρό κλάσμα, το οποίο παραμένει στο έδαφος και σταδιακά μετατρέπεται σε στερεό καύσιμο.

Η παραπάνω κυκλική διεργασία είναι μεγάλης σπουδαιότητας, επειδή υπάρχει η δυνατότητα δέσμευσης μέρους της βιομάζας στη φάση που ακόμα λειτουργεί ως αποθήκη χημικής ενέργειας. Επιπλέον με την προϋπόθεση ότι η κατανάλωση δεν ξεπερνά τα φυσικά επίπεδα ανακύκλωσης, η χρήση βιοκαυσίμων δεν απελευθερώνει περισσότερη θερμότητα ή περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι θα παραγόταν από τις φυσικές διεργασίες, έτσι και αλλιώς. Φαίνεται λοιπόν ότι πρόκειται για μια πηγή ενέργειας, η χρήση της οποίας δεν έχει καμιά περιβαλλοντική επίπτωση.

Η αρχική ενέργεια του συστήματος βιομάζας - οξυγόνου δεσμεύεται από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη φωτοσύνθεση. Φωτοσύνθεση είναι η διεργασία δημιουργίας οργανικών δομών και αποθήκευσης χημικής ενέργειας με τη δράση της ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι η σημαντικότερη διεργασία ανανεώσιμης ενέργειας, επειδή οι ζωντανοί οργανισμοί είναι φτιαγμένοι από υλικό που προέρχεται από τη φωτοσύνθεση και οι δραστηριότητές μας βασίζονται στο οξυγόνο, στο οποίο συνήθως αποθηκεύεται η ηλιακή ενέργεια.

Η βασική αντίδραση της διεργασίας της φωτοσύνθεσης είναι η ακόλουθη:



Με τη φωτοσύνθεση τα φυτά απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα και νερό από την ατμόσφαιρα και αξιοποιώντας την ενέργεια του ηλιακού φωτός, τα μετατρέπουν σε σάκχαρα, άμυλο, κυτταρίνη κλπ., τα οποία αποτελούν την «φυτική ύλη». Η ομάδα  $[\text{CH}_2\text{O}]$  αποτελεί ένα τμήμα του μορίου του υδατάνθρακα που σχηματίζεται. Παρατηρούμε ότι παράγεται και οξυγόνο και επομένως ότι η

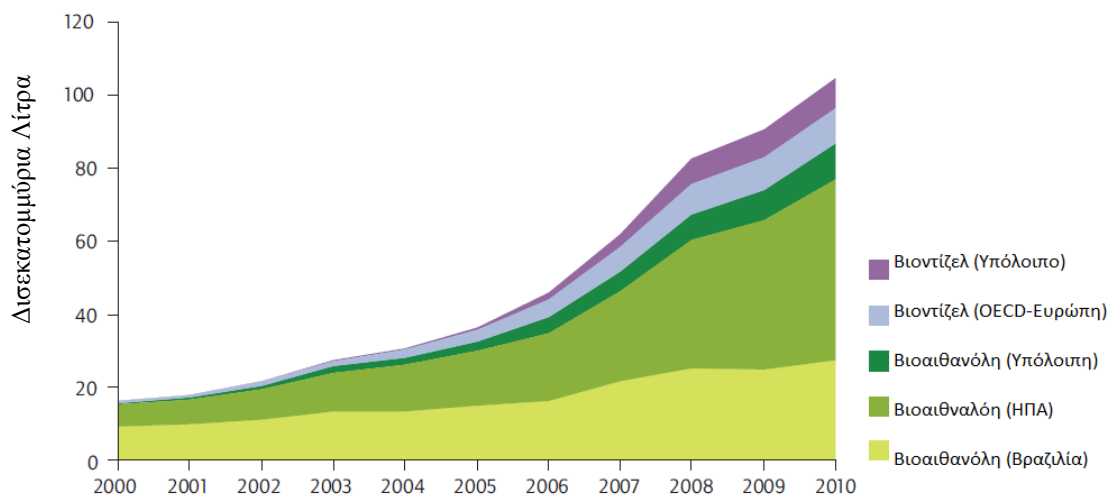
διεργασία αυτή είναι η αντίστροφη της καύσης. Όταν το φυτό αποσυντίθεται ή καίγεται το οξυγόνο καταναλώνεται και η ενέργεια καταναλώνεται ως θερμότητα. Ο άνθρακας δεσμεύεται στη βιομάζα από το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιράς μέσω της φωτοσύνθεσης και δεν προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Όταν η βιομάζα καίγεται ή αποσυντίθεται, το εκπεμπόμενο CO<sub>2</sub> ανακυκλώνεται στην ατμόσφαιρα, χωρίς να προστίθεται στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO<sub>2</sub>. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη χρήση των ορυκτών καυσίμων, τα οποία συνεισφέρουν στην αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Επομένως η χρήση των ανανεώσιμων βιοκαυσίμων, σε μεγάλη κλίμακα, αποτελεί σημαντικό μέτρο για τις περισσότερες μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες πολιτικές μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.<sup>8,9</sup>

### 2.3. ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Τα βιοκαύσιμα είναι κάθε στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο από οργανικά υλικά, που προέρχονται είτε κατευθείαν από τα φυτά είτε έμμεσα από βιομηχανικά, εμπορικά, οικιακά και αγροτικά απόβλητα. Βιοκαύσιμα μπορούν να προκύψουν από μια πληθώρα πρώτων υλών και να αξιοποιηθούν μέσω μίας μεγάλης ποικιλίας τεχνολογιών.

Η παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων αυξήθηκε από 16 δισεκατομμύρια λίτρα το 2000 σε περισσότερα από 100 δισεκατομμύρια λίτρα (ογκομετρικά) το 2010 (σχήμα 2.1). Σήμερα, τα βιοκαύσιμα παρέχουν περίπου το 3% των συνολικών καυσίμων οδικών μεταφορών παγκοσμίως, με ορισμένες χώρες να έχουν μεγαλύτερο μερίδιο. Η Βραζιλία, για παράδειγμα, το 2008 κάλυψε περίπου το 21% των αναγκών της σε καύσιμα οδικών μεταφορών με βιοκαύσιμα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το μερίδιο των

βιοκαυσίμων έφτασε το 4% των καυσίμων οδικών μεταφορών και στην Ευρωπαϊκή Ένωση περίπου 3% το 2008.<sup>10</sup>

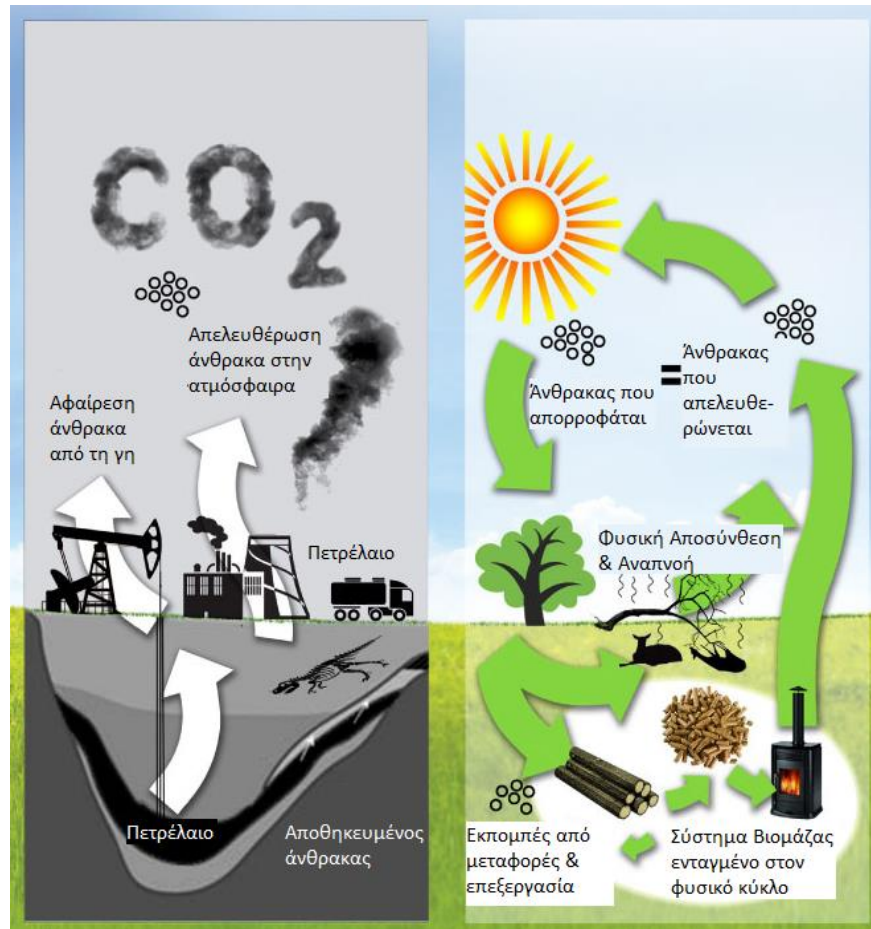


Σχήμα 2.1 Παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων 2000-2010 (Πηγή ΙΕΑ,2010)

### 2.3.1. Κύκλος ζωής βιοκαυσίμων

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1 δύο από τις κύριες κινητήρες δυνάμεις της ανάπτυξης των βιοκαυσίμων είναι οι ανησυχίες για την ασφάλεια εφοδιασμού ενέργειας και η επιθυμία να μειωθούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Εφόσον διαφορετικές πρώτες ύλες βιοκαυσίμων έχουν και διαφορετικές αποδόσεις, τότε υπάρχουν πολλές διαφοροποιήσεις όσον αφορά το ισοζύγιο ενέργειας και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μεταξύ διαφορετικών πρώτων υλών, περιοχών και τεχνολογιών μετατροπής βιοκαυσίμων. Η απόδοση των βιοκαυσίμων εξαρτάται τόσο από το ενεργειακό τους περιεχόμενο, όσο και από την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή τους, η οποία περιλαμβάνει την απαιτούμενη ενέργεια για την καλλιέργεια και το θερισμό των πρώτων υλών, τη διεργασία μετατροπής τους σε βιοκαύσιμο και τη μεταφορά των πρώτων υλών και των βιοκαυσίμων στις διαφορετικές εγκαταστάσεις κατά την παραγωγή και τη διανομή τους.

Τα βιοκαύσιμα προέρχονται από βιομάζα και θα έπρεπε θεωρητικά να έχουν ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα, αφού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με την καύση τους επιστρέφεται στην ατμόσφαιρα ο άνθρακας που είχε αφαιρεθεί από αυτήν κατά την ανάπτυξη των φυτών, αντίθετα με τα ορυκτά καύσιμα που απελευθερώνουν άνθρακα, ο οποίος ήταν αποθηκευμένος για πολλά εκατομμύρια χρόνια κάτω από την επιφάνεια της γης (σχήμα 2.2). Ωστόσο για την αξιολόγηση του ισοζυγίου των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ενός βιοκαυσίμου απαιτείται η ανάλυση εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του: από το φύτεμα και το θερισμό των καλλιεργειών, τις διεργασίες μετατροπής των πρώτων υλών σε βιοκαύσιμο, τη μεταφορά των πρώτων υλών και του τελικού καυσίμου, την αποθήκευση, τη διανομή και τη διάθεση στο εμπόριο του βιοκαυσίμου (συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων των καυσίμων των οχημάτων) και των εκπομπών που προκαλούνται από την καύση κατά τη χρήση του. Επιπλέον κάθε πιθανό υποπροϊόν που μπορεί να μειώσει τις εκπομπές πρέπει να ληφθεί υπόψη. Παράγοντες μεγάλης σημασίας που σχετίζονται με την αγροτική παραγωγή περιλαμβάνουν τη χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων, την τεχνολογία άρδευσης και την επεξεργασία του εδάφους. Ακόμη αλλαγές στη χρήση γης που σχετίζονται με την εκτεταμένη παραγωγή βιοκαυσίμων έχουν σημαντικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα μετατρέποντας δασικές εκτάσεις ή γεωργικές καλλιέργειες σε καλλιέργειες πρώτων υλών βιοκαυσίμων εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες άνθρακα, για την αντιστάθμιση των οποίων απαιτούνται πολλά χρόνια, μέσω των μειωμένων εκπομπών που επιτυγχάνονται με την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από βιοκαύσιμα.

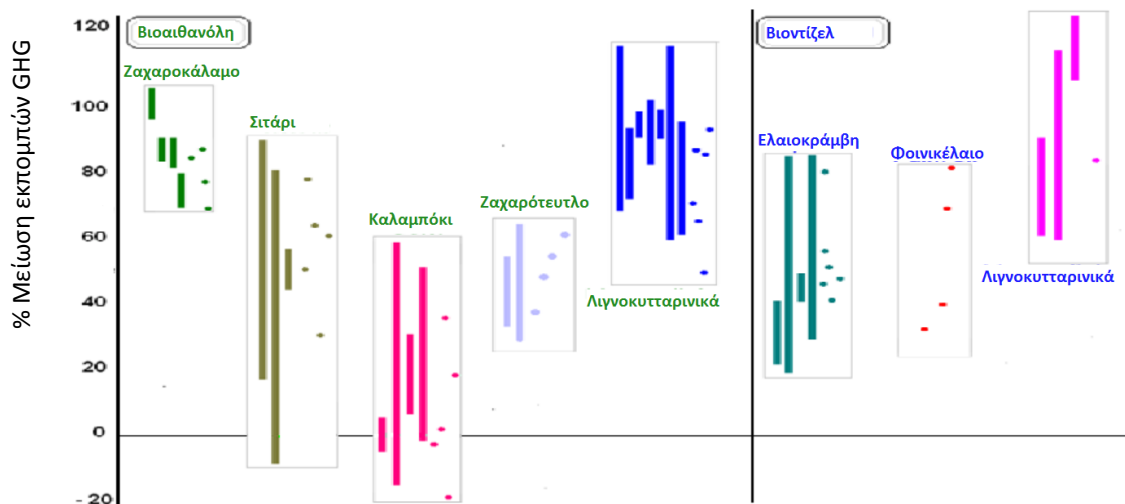


Σχήμα 2.2: Σύστημα βιομάζας

Επομένως όταν όλες οι εκπομπές ληφθούν υπόψη στην ανάλυση κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων, τα οφέλη τους για τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου ποικίλουν και δεν είναι πάντα τα αναμενόμενα. Η ανάλυση κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων συνήθως συμπεριλαμβάνει τα ορυκτά καύσιμα και τα λιπάσματα που χρειάζονται για την παραγωγή της βιομάζας, την ενέργεια που χρησιμοποιείται και τις εκπομπές από τις βιομηχανικές διεργασίες μετατροπής της, τις εκπομπές από την τελική καύση του καυσίμου, καθώς και τα αντίστοιχα όλων των συμπαραγομένων προϊόντων. Τα αέρια θερμοκηπίου από την αλλαγή χρήσης γης πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη αλλά αυτό δεν είναι πάντα εφικτό.<sup>11</sup>

Οι σχετικές εκπομπές περιλαμβάνουν υποξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ), το οποίο παράγεται κατά την παρασκευή και την εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), το οποίο παράγεται κατά τη χρήση ορυκτών καυσίμων για τη μεταφορά και τις διεργασίες των βιοκαυσίμων και όταν ο άνθρακας αποθηκεύεται στο έδαφος και η επιφανειακή βλάστηση καταστρέφεται, εξαιτίας της αλλαγής χρήσης γης. Σημαντική αβεβαιότητα υπάρχει γύρω από τα οφέλη των βιοκαυσίμων στην ανάλυση κύκλου ζωής, εν μέρει επειδή οι άμεσες και έμμεσες επιδράσεις από την αλλαγή χρήσης γης δεν συμπεριλαμβάνονται με ακρίβεια ή και καθόλου. Στο σχήμα 2.3 φαίνονται τα αποτελέσματα 60 περίπου αναλύσεις κύκλου ζωής που διενεργήθηκαν από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (ΔΟΕ – IEA) και το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Ηνωμένων Εθνών (UN Environmental Programme) το 2008 και οι οποίες επιβεβαιώνουν ότι υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις των ισοζυγίων των αερίων θερμοκηπίου για κάθε βιοκαύσιμο. Αυτές οφείλονται στις διαφοροποιήσεις ως προς την πρώτη ύλη, τις επιλογές διεργασιών, την πηγή θέρμανσης (κάρβουνο, φυσικό αέριο, υπολείμματα ζώων) και εάν χρησιμοποιούνται απλοί καυστήρες ή συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας στον τόπο παραγωγής.<sup>6,12</sup>





Σχήμα 2.3 Μεταβολή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για διαφορετικά βιοκαύσιμα πρώτης και δεύτερης γενιάς σε σχέση με τη βενζίνη και άλλα ορυκτά καύσιμα (Πηγή OECD,2008)

### 2.3.2. Πρώτες ύλες βιοκαυσίμων

Υπάρχουν πολλές πηγές βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς, διασκορπισμένοι σε μεγάλες και διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Ακόμα και σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας από βιομάζα που χρησιμοποιείται σαν καύσιμο, προέρχεται από υποπροϊόντα και παραπροϊόντα της παραγωγής τροφής, ζωοτροφής και ινών. Για παράδειγμα τα κύρια υποπροϊόντα της δασικής βιομηχανίας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καυσόξυλων και ξυλάνθρακα και η μαύρη αλισίβα (ένα υποπροϊόν της παραγωγής χαρτοπολτού) είναι η κύρια πηγή καυσίμου για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε χώρες όπως η Βραζιλία, ο Καναδάς, η Φιλανδία, η Σουηδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες. Η ανακτημένη ή ανακυκλωμένη βιομάζα ξυλείας αποτελεί μία σημαντική πηγή θερμότητας και ενέργειας, όπως επίσης και αυξημένες ποσότητες ενέργειας ανακτώνται από βιομάζα που προέρχεται από καλλιέργειες και δασικές περιοχές. Στις παραγωγούς χώρες ζάχαρης και καφέ, η βαγάσση (υπόλειμμα σακχαροκαλάμου) και τα κελύφη του καφέ χρησιμοποιούνται για άμεση καύση και για την παραγωγή θερμικής ενέργειας και ατμού.

Τα δεδομένα του πίνακα 2.1 είναι ενδεικτικά για το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από ένα τόνο ή ένα κυβικό μέτρο διαφόρων βιολογικών υλικών.<sup>9</sup>

Καύσιμο	Ενεργειακό Περιεχόμενο	
	(GJ/t)	(GJ/m <sup>3</sup> )
Ξύλο (ξηρό αέρος - 20% υγρασία)	15	10
Χαρτί (στοιβαγμένες εφημερίδες)	17	9
Κοπριά (ξηρή)	16	4
Άχυρο (δέματα)	14	1,4
Ζαχαροκάλαμο (στελέχη ξηρά αέρος)	14	10
Αστικά απορρίμματα (όπως συλλέγονται)	9	1,5
Εμπορικά απόβλητα	16	*
Γρασίδι (φρεσκοκομμένο)	4	3
Πετρέλαιο	42	34
Κάρβουνο	28	50
Φυσικό αέριο (πίεση παροχής)	55	0,04

Πίνακας 2.1 Μέσο ενεργειακό περιεχόμενο των καυσίμων

Ωστόσο όσον αφορά τη βιοενέργεια τη μεγαλύτερη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια έχει η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων για μεταφορά, χρησιμοποιώντας αγροτικές καλλιέργειες ως πρώτη ύλη. Ο μεγαλύτερος όγκος αυτών των βιοκαυσίμων προέρχεται από τη βιοαιθανόλη, η οποία έχει ως πρώτες ύλες σακχαρούχες ή αμυλούχες καλλιέργειες και το βιοντίζελ από ελαιούχες καλλιέργειες.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4 μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών καλλιεργειών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης και βιοντίζελ. Ωστόσο η μεγαλύτερη παραγωγή αιθανόλης προέρχεται από το ζαχαροκάλαμο (Βραζιλία) και το καλαμπόκι (Ηνωμένες Πολιτείες). Άλλες σημαντικές καλλιέργειες είναι η μανιόκα, το ρύζι, το ζαχαρότευτλο και το σιτάρι. Για την παραγωγή βιοντίζελ οι πιο συνηθισμένες πρώτες ύλες είναι η ελαιοκράμβη στην Ευρώπη, η σόγια στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Βραζιλία

και το έλαιο φοίνικα, καρύδας και το καστορέλαιο στις τροπικές και υποτροπικές χώρες, με κύριο ενδιαφέρον στη ζατρόφα (jatropha).<sup>11</sup>



Σχήμα 2.4 Μετατροπή αγροτικών πρώτων υλών σε υγρά βιοκαύσιμα (πηγή Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ, FAO)

Τα βιοκαύσιμα χωρίζονται σε πρώτης γενιάς ή συμβατικά βιοκαύσιμα και σε δεύτερης και τρίτης γενιάς ή προηγμένα βιοκαύσιμα. Η κύρια διαφορά τους έγκειται στην πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγής τους.

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες (σάκχαρο, σιτάρι, καλαμπόκι). Παράγονται από ένα συγκεκριμένο ποσοστό βιομάζας που προέρχεται από φυτά (συχνά εδώδιμη) με σχετικά απλή

επεξεργασία. Τα πρώτης γενιάς βιοκαύσιμα παράγονται ήδη σε σημαντικές εμπορικές ποσότητες στις διάφορες χώρες.

Τα δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμα προέρχονται από τη μη εδώδιμη λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα, από μη εδώδιμα υπολείμματα φυτικής παραγωγής τροφίμων (π.χ. μίσχοι καλαμποκιού ή φλοιοί ρυζιού) ή από μη εδώδιμη βιομάζα που προέρχεται από ολόκληρα φυτά (π.χ. χόρτα ή δέντρα που καλλιεργούνται για παραγωγή ενέργειας). Τα δεύτερης γενιάς καύσιμα δεν παράγονται ακόμη εμπορικά σε καμία χώρα.

Τα τρίτης γενιάς βιοκαύσιμα προέρχονται από μικροοργανισμούς και κυρίως από (μικρο)φύκη (μικροάλγη). Οι άλγες έχουν καλλιεργηθεί από τη δεκαετία του '50, κυρίως για τη βιομηχανία φαρμάκων, αλλά πρόσφατα κέρδισαν την προσοχή των επιστημόνων ως μια πιθανή πηγή βιομάζας. Οι άλγες έχουν υψηλή παραγωγικότητα, αναπτύσσονται πολύ γρήγορα, μετατρέπουν αποτελεσματικά την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα, έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε έλαιο και αντέχουν σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον μπορούν να καλλιεργηθούν σε μη αρόσιμη γη χρησιμοποιώντας διάφορες πηγές νερού (φρέσκο, υφάλμυρο, αλατούχο και λύματα) και να ανακυκλώνουν το CO<sub>2</sub> και άλλα ρεύματα αποβλήτων. Ωστόσο, η καλλιέργεια των αλγών και η εξαγωγή του ελαίου τους είναι ακριβή και η εμπορική παραγωγή των βιοκαυσίμων από άλγες δεν είναι ακόμα εφικτή.<sup>10,13</sup>

### **2.3.3. Διεργασίες Παραγωγής Βιοκαυσίμων**

Υπάρχουν τρεις κατηγοριοποιήσεις διεργασιών αξιοποίησης βιομάζας όπως ορίζονται στη συνέχεια.

#### *2.3.3.1. Θερμοχημικές διεργασίες, θέρμανση*

- Άμεση καύση

Η άμεση καύση χρησιμοποιείται για άμεση θέρμανση. Προτιμάται συνήθως ξηρή και ομογενής βιομάζα. Όσο περισσότερο είναι το υδρογόνο στο άτομο του καύσιμου και όσο λιγότερο το οξυγόνο, τόσο μεγαλύτερη η θερμομαντική αξία.

- Πυρόλυση

Η βιομάζα θερμαίνεται είτε απουσία αέρα, είτε με μερική καύση της με περιορισμένη παροχή αέρα ή οξυγόνου. Τα παραγόμενα προϊόντα διαφέρουν πολύ και αποτελούνται από αέρια, ατμό, υγρά, έλαια και στερεά υπολείμματα, όπως κάρβουνο. Τα προϊόντα εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, την πρώτη ύλη και τη διαδικασία επεξεργασίας. Σε μερικές διεργασίες η παρουσία του νερού είναι απαραίτητη και επομένως η βιομάζα δεν πρέπει να είναι ξηρή. Εάν το κύριο προϊόν που προκύπτει είναι εύφλεκτο αέριο η διαδικασία ονομάζεται αεριοποίηση.

- Άλλες θερμοχημικές διεργασίες

Μία μεγάλη ποικιλία διεργασιών προ-επεξεργασίας και επεξεργασίας είναι διαθέσιμες. Αυτές συνήθως απαιτούν περίπλοκους χημικούς ελέγχους και κατασκευές βιομηχανικής κλίμακας, όπως είναι η παραγωγή μεθανόλης. Ιδιαίτερη σημασία έχουν διεργασίες διάσπασης κυτταρίνης και άμυλου σε σάκχαρα, για μεταγενέστερη ζύμωση.

### 2.3.3.2. Βιοχημικές διεργασίες

- Αερόβια χώνευση

Παρουσία αέρα ο μικροβιακός, αερόβιος, μεταβολισμός της βιομάζας παράγει θερμότητα με την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, αλλά όχι μεθανίου. Αυτή η διαδικασία έχει ιδιαίτερη σημασία για τον βιολογικό κύκλο

του άνθρακα, αλλά δεν χρησιμοποιείται πολύ για εμπορική παραγωγή βιοενέργειας.

- Αναερόβια χώνευση

Απουσία οξυγόνου κάποιοι μικροοργανισμοί μπορούν να αποκτήσουν την δική τους πηγή ενέργειας αντιδρώντας με τα παράγωγα άνθρακα για να παράγουν μείγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να ονομάζεται και 'ζύμωση', αλλά συνήθως αποκαλείται 'χώνευση' λόγω της παρόμοιας διαδικασίας που συμβαίνει στο πεπτικό σύστημα των μηρυκαστικών ζώων. Το μείγμα διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και λοιπών αερίων αποτελεί το βιοαέριο ή το αέριο των χωματερών

- Αλκοολική ζύμωση

Η αιθανόλη είναι ένα πτητικό υγρό καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση παραγώγων πετρελαίου. Κατασκευάζεται με τη δράση μικροοργανισμών και επομένως με διαδικασία ζύμωσης

- Βιοφωτόλυση

Φωτόλυση είναι ο διαχωρισμός του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο με τη δράση φωτός. Ανασύνδεση συμβαίνει όταν το υδρογόνο καίγεται ή εκρήγνυται σαν καύσιμο στον αέρα. Συγκεκριμένοι βιολογικοί οργανισμοί παράγουν ή μπορεί να φτιαχτούν να παράγουν υδρογόνο στην βιοφωτόλυση. Παρόμοια αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν χημικά, χωρίς ζωντανούς οργανισμούς, κάτω από συνθήκες εργαστηρίου. Δεν έχει ακόμα γίνει εμπορική εκμετάλλευση αυτών των αποτελεσμάτων.

### 2.3.3.3. *Αγροχημικές διεργασίες*

- Εξόρυξη καυσίμων

Σε μερικές περιπτώσεις, μπορούν να παραχθούν υγρά ή αέρια καύσιμα άμεσα από ζωντανά ή φρεσκοκομμένα φυτά. Η πρώτη ύλη προέρχεται από τον τεμαχισμό μίσχων ή κορμών δέντρων ζωντανών φυτών ή από τη σύνθλιψη πρώτης ύλης από φρέσκια σοδιά. Μία γνωστή παρόμοια διαδικασία είναι η παραγωγή λάτεξ από φυσικό καουτσούκ.

- Βιοντίζελ και εστεροποίηση

Τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σαν καύσιμα σε μηχανές diesel. Ωστόσο, με την απευθείας χρήση φυτικών ελαίων μπορούν να προκύψουν δυσκολίες, εξαιτίας του υψηλού ιξώδους και των υπολειμμάτων καύσης αυτών σε σχέση με τα κοινά ορυκτά έλαια, κυρίως σε χαμηλές θερμοκρασίες (<5°C). Οι παραπάνω δυσκολίες μπορούν να ξεπεραστούν μετατρέποντας το φυτικό έλαιο σε αντίστοιχο εστέρα, ο οποίος αποτελεί ένα καύσιμο που ταιριάζει καλύτερα σε μηχανές diesel, σε σχέση με τα συμβατικά πετρελαιοπαραγωγά έλαια.<sup>8</sup>

#### **2.3.4. Ενεργειακές Καλλιέργειες**

Ο όρος «ενεργειακές καλλιέργειες» χρησιμοποιείται υπό την ευρεία έννοια για την παραγωγή καυσίμων ή ενέργειας ως κύριο ή δευτερεύον προϊόν της γεωργίας, της δασοπονίας, της υδατοκαλλιέργειας και βιομηχανικών ή κοινωνικών δραστηριοτήτων, οι οποίες παράγουν υπολείμματα οργανικών αποβλήτων. Στο πίνακα 2.2 φαίνεται η απόδοση βιοκαυσίμων από διαφορετικές πρώτες ύλες και χώρες. Ενεργειακές καλλιέργειες είναι κυρίως φυτά που καλλιεργούνται με στόχο την εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχομένου τους. Η χρήση τέτοιων τύπων καυσίμων δεν προκαλεί επιπλέον εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, γεγονός ικανοποιητικό για την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων.

Καλλιέργεια	Έθνος	Βιοκαύσιμο	Απόδοση Καλλιέργειας (Τόνοι / Εκτάριο)	Απόδοση Μετατροπής (Λίτρα/Τόνο)	Απόδοση Βιοκαυσίμων (Λίτρα/Εκτάριο)
Ζαχαρότευτλο	Διεθνώς	Αιθανόλη	46,0	110	5.060
Ζαχαροκάλαμο	Διεθνώς	Αιθανόλη	65,0	70	4.550
Μανιόκα	Διεθνώς	Αιθανόλη	12,0	180	2.070
Καλαμπόκι	Διεθνώς	Αιθανόλη	4,9	400	1.960
Ρύζι	Διεθνώς	Αιθανόλη	4,2	430	1.806
Σιτάρι	Διεθνώς	Αιθανόλη	2,8	340	952
Σόργο	Διεθνώς	Αιθανόλη	1,3	380	494
Ζαχαροκάλαμο	Βραζιλία	Αιθανόλη	73,5	74,5	5.476
Ζαχαροκάλαμο	Ινδία	Αιθανόλη	60,7	74,5	4.522
Φοινικέλαιο	Μαλαισία	Βιοντίζελ	20,6	230	4.736
Φοινικέλαιο	Ινδονησία	Βιοντίζελ	17,8	230	4.092
Καλαμπόκι	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Αιθανόλη	9,4	399	3.751
Καλαμπόκι	Κίνα	Αιθανόλη	5,0	399	1.995
Μανιόκα	Βραζιλία	Αιθανόλη	13,6	137	1.863
Μανιόκα	Νιγηρία	Αιθανόλη	10,8	137	1.480
Σόγια	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Βιοντίζελ	2,7	205	552
Σόγια	Βραζιλία	Βιοντίζελ	2,4	205	491

Πίνακας 2.2 Απόδοση Βιοκαυσίμων από διαφορετικές πρώτες ύλες και χώρες (πηγή: Rajagopal et al., 2007, Naylor et al., 2007)

Τα πλεονεκτήματα από τις ενεργειακές καλλιέργειες συνοψίζονται παρακάτω:

- Μεγάλη δυνατότητα εφοδιασμού και εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων
- Ποικιλία καλλιεργειών
- Ποικίλες χρήσεις (καύσιμα μεταφοράς και παραγωγή ενέργειας)
- Αξιοποίηση της περίσσειας αγροτικής γης, προστατεύοντας έτσι το έδαφος από διαβρωτικά φαινόμενα, καθώς και υποπροϊόντων, υπολειμμάτων και αποβλήτων
- Ενίσχυση της αειφόρου γεωργίας



- Καθιέρωση της αγροβιομηχανίας που περιλαμβάνει πολλές διεργασίες, με την ανάγκη για εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό
- Προστασία του περιβάλλοντος με τη χρήση αποβλήτων
- Ενίσχυση της αγροτικής ανάπτυξης
- Περιορισμός ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα από νιτρικά, φώσφορο και μικροοργανισμούς
- Διαφοροποιεί την οικονομία με σεβασμό στο προϊόν, στο περιβάλλον και στις αγροτικές ικανότητες
- Ενίσχυση του Τρίτου Κόσμου

Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι ο ανταγωνισμός ανάμεσα στα τρόφιμα και τα καύσιμα. Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να επεκταθούν σε τέτοιο βαθμό που να είναι εις βάρος της παραγωγής των απαραίτητων προϊόντων για τροφή. Ένας δεύτερος σημαντικός κίνδυνος είναι ότι η εντατική ενεργειακή καλλιέργεια μπορεί να οδηγήσει σε άγονο έδαφος ή σε διάβρωση αυτού. Για να αποφευχθούν τα παραπάνω θα πρέπει να καλλιεργούνται φυτά που μπορούν να παρέχουν και τρόφιμα (π.χ. σιτάρι) και ενέργεια (π.χ. άχυρο), να μειωθεί η σίτιση των ζώων από καλλιεργούμενες εκτάσεις και να χρησιμοποιούνται οι διαθέσιμοι πόροι με πιο αποδοτικό τρόπο.<sup>8</sup>

### **2.3.5. Βιοκαύσιμα Πρώτης Γενιάς**

Η ζήτηση για βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, που παράγονται από καλλιέργειες που πριν χρησιμοποιούνταν για τροφή, συνεχίζει να αυξάνεται σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Τα κύρια υγρά και αέρια βιοκαύσιμα που βρίσκονται στην αγορά σήμερα είναι:

- Η βιοαιθανόλη, η οποία παράγεται από σάκχαρα ή δημητριακά και χρησιμοποιείται σαν υποκατάστατο βενζίνης σε κινητήρες επιβαλλόμενης ανάφλεξης και παρέχει το 2% της συνολικής βενζίνης.
- Το βιοντίζελ, το οποίο παράγεται από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη, συνήθως μετά τη μετατροπή τους σε λιπαρά οξέα, παρόλο που κάποιες φορές καταναλώνονται ακατέργαστα, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα ορυκτών καυσίμων σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση, παρέχοντας περίπου το 0,2% των συνολικών καυσίμων diesel μηχανής.
- Το βιομεθάνιο, ως αέριο χωματερής ή βιοαέριο, το οποίο παράγεται από την αναερόβια ζύμωση των οργανικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και των ζωικών. Τα ακατέργαστα αέρια μπορούν να καθαριστούν για να παράγουν υψηλής ποιότητας καύσιμο πλούσιο σε μεθάνιο, παρόμοιο με το φυσικό αέριο. Στη συνέχεια αυτό συμπιέζεται και χρησιμοποιείται σε μηχανές οχημάτων χρησιμοποιώντας τεχνολογία συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG). Εξαιτίας της έλλειψης συμβατών οχημάτων και υποδομής, τα αέρια βιοκαύσιμα είναι λιγότερο δημοφιλή από τα υγρά.

Συνολικά τα βιοκαύσιμα παρέχουν πάνω από το 1,5% των συνολικών καυσίμων μεταφοράς παγκοσμίως. Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς έχουν καταλάβει σημαντική θέση στη διεθνή αγορά. Ωστόσο υπάρχουν πολλές ανησυχίες για τα πιθανά μειονεκτήματα των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς παρόλο που πολλά από τα θέματα δεν είναι καινούρια και έχουν εξεταστεί διεξοδικώς. Αυτές είναι οι εξής:

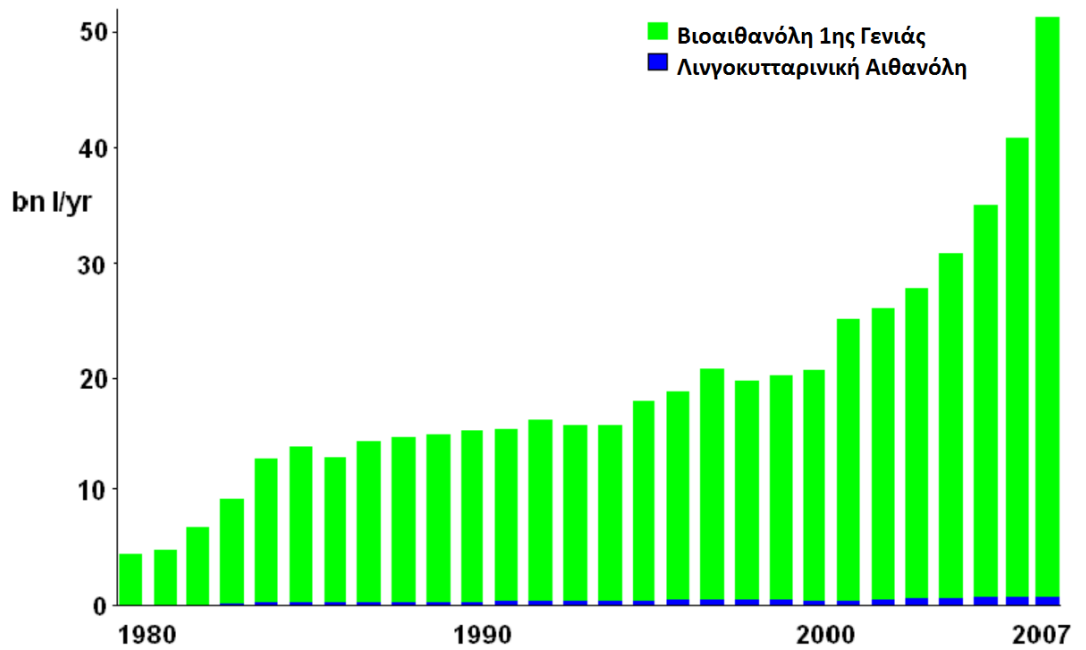
- Ανταγωνισμός τροφίμων και βιοκαυσίμων τα οποία συμβάλλουν στην έλλειψη τροφής και αύξηση της τιμής των τροφίμων.
- Περιορισμένη απόδοση από συχνά επισφαλείς επενδύσεις.

- Μέτρια οφέλη από τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου.
- Επίδραση των βιοκαυσίμων στην αλλαγή χρήσης γης, στην αποψίλωση των δασών και στην απώλεια βιοτόπων.

### **2.3.6. Βιοκαύσιμα Δεύτερης Γενιάς**

Πολλά από τα προβλήματα που σχετίζονται με τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς μπορούν να αντιμετωπιστούν με την παραγωγή βιοκαυσίμων που προέρχονται από αγροτικά και δασικά υπολείμματα και μη εδώδιμες πρώτες ύλες. Επομένως τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς αναμένεται να υπερέχουν σε σχέση με τα πρώτης γενιάς, όσον αφορά το ενεργειακό ισοζύγιο, τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, τη χρήση γης και τον ανταγωνισμό γης, τροφής και νερού. Ο κύριος λόγος για τον οποίο δεν έχουν ακόμη βγει στην αγορά είναι ότι οι απαραίτητες διεργασίες μετατροπής τους (από την πρώτη ύλη στο τελικό καύσιμο) δεν έχουν ακόμα προωθηθεί εμπορικά και το κόστος τους εκτιμάται ότι είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνων της πρώτης γενιάς. Επιπλέον απαιτείται περαιτέρω έρευνα όσον αφορά τη χρήση γης, τις επιδράσεις των συμπαραγόμενων προϊόντων και τη χρήση νερού και ενέργειας.

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς αποτελούν περίπου το 0,1% της συνολικής βιοαιθανόλης που παράγεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5



Σχήμα 2.5 Παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης πρώτης γενιάς και λιγνοκυτταρινούχας (πηγή Mabee και Saddler, 2007).

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς μπορούν να διακριθούν σε αυτά που παράγονται από βιοχημικές και από θερμοχημικές διεργασίες. Και οι δύο μέθοδοι παραγωγής χρησιμοποιούν μη εδώδιμες πρώτες ύλες, κυρίως λιγνοκυτταρινούχες που προέρχονται από καλλιέργειες, δάση, υπολείμματα διεργασιών ξύλου ή από πολυετή χόρτα και δέντρα που καλλιεργούνται για το σκοπό αυτό. Οι καλλιέργειες αυτές είναι πιθανόν πιο αποδοτικές από αυτές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, όσον αφορά το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοκαυσίμου που παράγεται ετησίως ανά εκτάριο (GJ/ha/yr). Η δυσκολία έγκειται στη μετατροπή της κυτταρίνης, της ημικυτταρίνης και των πολυμερών λιγνίνης σε αιθανόλη, συνθετικό ντίζελ ή άλλα υγρά καύσιμα.

Γενικά τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς αντιμετωπίζουν έναν μεγάλο αριθμό δυσκολιών πριν απελευθερώσουν το δυναμικό τους και μειώσουν τις εκπομπές

αερίων θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών. Αυτές περιλαμβάνουν τις ακόλουθες.

- Το υψηλό κόστος παραγωγής τους αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο για τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς. Ένα διεθνές σύστημα παροχής κινήτρων για την μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, το οποίο θα επιβάλει φόρους στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, θα βοηθήσει τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς να υπερισχύσουν των ορυκτών καυσίμων, αλλά πιθανόν δεν θα είναι αρκετό από μόνο του για να οδηγήσει στην εμπορευματοποίηση τους. Για να ξεπεραστεί το εμπόδιο αυτό θα πρέπει να γίνουν μειώσεις στο κόστος των πρώτων υλών, στην εφοδιαστική εμπορευματικών μεταφορών και στις διεργασίες μετατροπής τους.
- Θα πρέπει να ξεπεραστούν οι δυσκολίες στην αλυσίδα του λογιστικού - οργανωτικού εφοδιασμού για την οικονομικά πιο αποδοτική μεταφορά των πρώτων υλών σε μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους. Τα σημερινά συστήματα συγκομιδής, αποθήκευσης και μεταφοράς είναι μη επαρκή για την επεξεργασία και την διανομή της βιομάζας στο βαθμό που χρειάζεται για την υποστήριξη της παραγωγής των βιοκαυσίμων σε μεγάλη κλίμακα. Η έλλειψη εμπειρίας λειτουργίας μεγάλων εγκαταστάσεων επεξεργασίας, οι οποίες χρειάζονται μεγάλες ποσότητες βιομάζας, δημιουργεί την ανάγκη ακριβών επεκτάσεων υποδομής.
- Για την αποδοχή της ποιότητας των βιοκαυσίμων από τον τομέα της βιομηχανίας αλλά και από τους καταναλωτές, θα πρέπει αυτά να έχουν τις αντίστοιχες ή ακόμη καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με αυτές των ορυκτών καυσίμων. Επομένως τα διεθνή χαρακτηριστικά πρότυπα των βιοκαυσίμων

πρώτης γενιάς θα πρέπει να επεκταθούν για να ισχύουν και στα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς.

- Οι επισφαλείς επενδύσεις μπορούν να προκαλέσουν δυσκολίες στην εμπορική άνοδο των νέων τεχνολογιών. Οι κυβερνήσεις θα πρέπει να υιοθετήσουν ένα πλαίσιο πολιτικής που να εξασφαλίζει τις επενδύσεις.
- Για την παροχή πρώτων υλών από υπολείμματα και καλλιέργειες χρειάζονται αλλαγές στον αγροτικό και δασικό τομέα. Αυτές προϋποθέτουν αλλαγές στις επαγγελματικές πολιτικές και στο διεθνές εμπόριο των πρώτων υλών και των βιοκαυσίμων.
- Τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά οφέλη των βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς παρεξηγούνται, εξαιτίας του ότι η υιοθέτηση και η ανάπτυξη τους βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο. Υπάρχει επείγουσα ανάγκη για συστηματική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων των βιοκαυσίμων πρώτης και δεύτερης γενιάς, από τοπική, εθνική και διεθνή οπτική γωνία, συμπεριλαμβανομένων και της μέτρησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και τις πηγές τροφίμων.<sup>12</sup>

## 2.4. ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ανάλυση κύκλου ζωής της βιοαιθανόλης με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο, το καλαμπόκι και το σιτάρι, ως καύσιμο σε αυτοκίνητα.

### 2.4.1. Χημεία Βιοαιθανόλης

Ο χημικός τύπος της αιθανόλης είναι  $C_2H_5OH$  και πολλές φορές γράφεται  $EtOH$  ή  $C_2H_6O$ . Ο συντακτικός της τύπος είναι  $CH_3-CH_2-OH$ . Είναι επίσης γνωστή με τα ονόματα αιθυλική αλκοόλη ή υδροξυαιθάνιο και αποτελεί το είδος της

αλκοόλης που βρίσκεται στα αλκοολούχα ποτά. Η αιθανόλη είναι μάλλον ένα οργανικό μόριο που αποτελείται από μια ομάδα ατόμων άνθρακα και υδρογόνου με μία ομάδα υδροξυλίου (ένα άτομο οξυγόνου και ένα άτομο υδρογόνου). Σε σχέση με τα περισσότερα στοιχεία της βενζίνης, το μόριο της αιθανόλης είναι μικρό και ελαφρύ, με μοριακό βάρος μόλις 46 g/mol.

Η αιθανόλη έχει ιδιαίτερη ηλεκτροχημεία με το μόριο της να είναι πολωμένο στο ένα άκρο και μη πολωμένο στο άλλο. Λόγω της πολικότητας του μορίου της το ηλεκτρικό φορτίο διανέμεται σε αυτό και αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα της φυσικής και χημικής συμπεριφοράς της. Η παρουσία η υδροξυλομάδας στο μόριο της αιθανόλης επιτρέπει τη συμμετοχή της σε δεσμούς υδρογόνου με άλλα μόρια αιθανόλης ή με άλλες πολικές ουσίες. Ο δεσμός είναι σχετικά ασθενής αλλά αρκετά δυνατός για να έχει η αιθανόλη μεγαλύτερο ιξώδες και να είναι λιγότερο πτητική από άλλες παρόμοιες αλλά λιγότερο πολικές ουσίες. Το γεγονός ότι το μόριο της αιθανόλης έχει ένα πολικό και ένα μη πολικό άκρο την καθιστά διαλυτή σε πολικές και μη πολικές ουσίες. Το πολικό άκρο κάνει την αιθανόλη αναμίξιμη με το νερό (και άλλες πολικές ουσίες) ενώ το μη πολικό άκρο την κάνει αναμίξιμη με πολλές μη πολικές ουσίες, όπως τη βενζίνη και σε μικρότερο βαθμό με το καύσιμο ντίζελ.

Ο δεσμός υδρογόνου επίσης προσδίδει στην αιθανόλη χαμηλότερη πτητικότητα, για ένα μόριο με μικρό σχετικά μοριακό βάρος. Σε ατμοσφαιρικές συνθήκες η αιθανόλη είναι υγρό, παρόλο που σταδιακά εξατμίζεται εάν εκτεθεί στην ατμόσφαιρα. Είναι άχρωμο και έχει μια ξεχωριστή γεύση και οσμή και κατηγοριοποιείται ως ήπια τοξική ουσία.

Η αιθανόλη ως καύσιμο παράγεται είτε άνυδρη, δηλ. η περιεκτικότητά της σε νερό είναι λιγότερη του 1%, είτε ένυδρη, δηλ. η περιεκτικότητά της σε νερό είναι

5 με 10%. Η άνυδρη αιθανόλη επίσης αποκαλείται και καθαρή, ξηρή ή απόλυτη αιθανόλη. Αιθανόλη με καθαρότητα πάνω από 95,6% κατά μάζα (χαρακτηρίζεται ως αζεοτροπική συγκέντρωση) δεν μπορεί να παραχθεί με παραδοσιακές μεθόδους διύλισης, αλλά απαιτεί ξεχωριστό εξοπλισμό αφυδάτωσης.

Για να αποφευχθεί η βαριά φορολογία που επιβάλλεται στην κατανάλωση αλκοολούχων ποτών, απαιτείται συνήθως το καύσιμο αιθανόλης να είναι μη πόσιμο. Για να επιτευχθεί αυτό μετά τη διύλιση προστίθεται μία δόση τοξικής ουσίας ή με άσχημη γεύση (συνήθως λιγότερο από 10%) στην αιθανόλη, η οποία μετά ονομάζεται μετουσιωμένη αλκοόλη. Η ουσία που χρησιμοποιείται είναι μερικές φορές μεθανόλη, προπανόλη ή ακετόνη, αλλά όσον αφορά την αιθανόλη ως καύσιμο πολλές φορές επιλέγεται η βενζίνη.<sup>6</sup>

Στον πίνακα 2.3 συνοψίζονται οι πιο σημαντικές ιδιότητες του καυσίμων της αιθανόλης σε σχέση με τη βενζίνη.

Ιδιότητες	Αιθανόλη	Βενζίνη
Χημικός Τύπος	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>4</sub> με C <sub>12</sub>



Μοριακό Βάρος [g/mol]	46,07	100–105
Άνθρακας [% κατά μάζα]	52,2	85–88
Υδρογόνο [% κατά μάζα]	13,1	12–15
Οξυγόνο [% κατά μάζα]	34,7	0
Πυκνότητα υγρού, 20°C [kg/l]	0.792	0.72–0.78
Ιξώδες [cST]	1.52 (20°C)	0.4-0.9 (16°C)
Σημείο βρασμού, 1 atm [°C]	78.4	27-225
Τάση ατμών Reid, [kPa]	16	50-100
Όριο ευφλεκτότητας, 20°C [vol%]	3.3-19	1.0-8.0
Στοιχειομετρική αναλογία αέρα/καυσίμου	9	14.5-14.7
Θερμοκρασία σημείου ανάφλεξης, κλειστού δοχείου, ατμοσφαιρικές συνθήκες [°C]	12	-42
Θερμοκρασία αυτοανάφλεξης [°C]	423	257
Θερμότητα εξάτμισης [kJ/kg]	910	330-400
Θερμότητα καύσης (κατώτερη θερμομαντική αξία) [kJ/kg]	26900	42000-44000
Θερμότητα καύσης (κατώτερη θερμομαντική αξία) [kJ/liter]	21300	≈32000
Αριθμός οκτανίων έρευνας (RON)	108	90–100
Αριθμός οκτανίων κινητήρα (MON)	92	81–90
(RON + MON)/2	100	86–94
Αριθμός κετανίων	--	5–20
Ανοχή στο νερό, % κατ' όγκο	Πλήρως αναμίξιμο	Αμελητέα
Εκπομπές διοξειδίου του Άνθρακα [kg/kg fuel]	1.91	3.18
Ενέργεια ανά εκπομπές CO2 [MJ ενέργεια καυσίμου/kg εκπομπών CO2]	14.1	≈13.5

Πίνακας 2.3 Ιδιότητες αιθανόλης και βενζίνης (Πηγή Sinor 1993 )

#### 2.4.2. Καύσιμο αιθανόλης

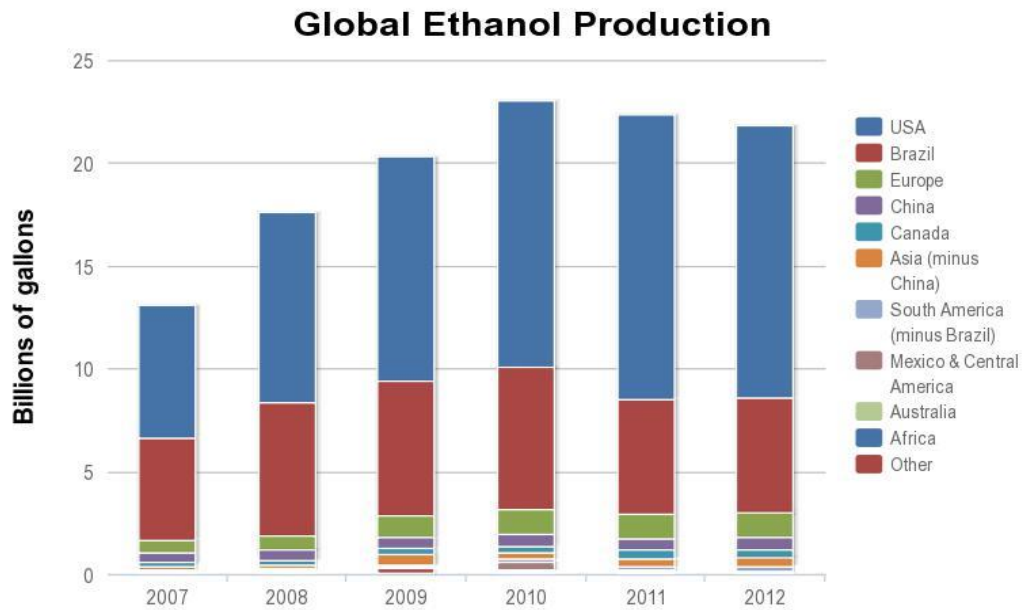
Η αιθανόλη ως καύσιμο υπάρχει σε πολλές μορφές παγκοσμίως, σε μείγματα με βενζίνη και ντίζελ περιέχοντας διαφορετικές ποσότητες νερού. Οι παραγωγοί καυσίμων καθορίζουν τις προδιαγραφές τους, οι οποίες πρέπει να συμμορφώνονται με την τοπική νομοθεσία, τα οχήματα, τις κλιματικές συνθήκες, τις καταναλωτικές συνήθειες και άλλους παράγοντες της αγοράς.

Περίπου πάνω από τη μισή ποσότητα καυσίμου αιθανόλης που καταναλώνεται παγκοσμίως , χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στη βενζίνη, που σημαίνει ότι η αιθανόλη αποτελεί το 5 με 10 % της συνολικής μάζας του μείγματος καυσίμου.

Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι για τη χρήση αιθανόλης ως πρόσθετο στη βενζίνη, εκτός από την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Πρώτον προσθέτοντας αιθανόλη στη βενζίνη αυξάνεται ο αριθμός οκτανίων του μείγματος καυσίμου και έτσι παρέχεται προστασία από την πρόωγη ανάφλεξη, η οποία μπορεί να προκαλέσει ζημιά στη μηχανή. Η αιθανόλη έτσι μπορεί να αντικαταστήσει τα ακριβά συστατικά αύξησης οκτανίων όπως είναι η αλκυλίωση. Δεύτερον επειδή η αιθανόλη περιέχει οξυγόνο, το μείγμα βενζίνης με αιθανόλη δίνει καθαρότερη καύση και έτσι μειώνονται οι βλαβερές εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα, των σωματιδίων και των συστατικών. Επιπλέον συστατικά που περιέχουν οξυγόνο μπορούν να προστεθούν για το ίδιο αποτέλεσμα.<sup>6</sup>

#### **2.4.3. Παραγωγή βιοαιθανόλης**

Σύμφωνα με τις εκθέσεις του Renewable Fuels Association (RFA) «Ethanol Industry Outlook 2008-2013», η παραγωγή βιοαιθανόλης έφθασε στην κορυφή της το 2010. Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι η πρώτη παραγωγός χώρα αιθανόλης παγκοσμίως και μαζί με τη Βραζιλία παράγουν το 87% αυτής. Η μεγαλύτερη ποσότητα βιοαιθανόλης των Ηνωμένων Πολιτειών προέρχεται από το καλαμπόκι, ενώ της Βραζιλίας από το ζαχαροκάλαμο. Στο σχήμα 2.6 φαίνεται η παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης ανά χώρα ή περιοχή από το 2007 μέχρι το 2012.



Σχήμα 2.6 Παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης (πηγή Renewable Fuels Association, Ethanol Industry Outlook 2008-2013 reports)

Στην Ευρώπη το δυναμικό παραγωγής βιοαιθανόλης προβλέπεται να αυξηθεί από 2.100 εκ. λίτρα το 2006 στα 8.500 εκ. λίτρα το 2013. Το μεγαλύτερο μέρος του δυναμικού παραγωγής έχει εγκατασταθεί στις χώρες Μπενελούξ, στη Γαλλία, τη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ισπανία και την Πολωνία. Κατά τη χρονική περίοδο 2007 με 2011 μόνο το 60% του διαθέσιμου δυναμικού χρησιμοποιήθηκε. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι στην Ευρώπη πολλές καινούριες εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης περνούν από ένα στάδιο εκκίνησης για να λειτουργήσουν πλήρως. Κατά τη διάρκεια των περιόδων 2007/2008 και 2010/2011, η χρήση των εγκαταστάσεων ήταν χαμηλή εξαιτίας των υψηλών τιμών των σιτηρών και των εισαγωγών σε ανταγωνιστικές τιμές από τη Βραζιλία (2007-2009) και από τις Ηνωμένες Πολιτείες (2010-2011). Οι κύριες χώρες που παράγουν αιθανόλη στην Ευρώπη φαίνονται στον πίνακα 2.4.<sup>14</sup>

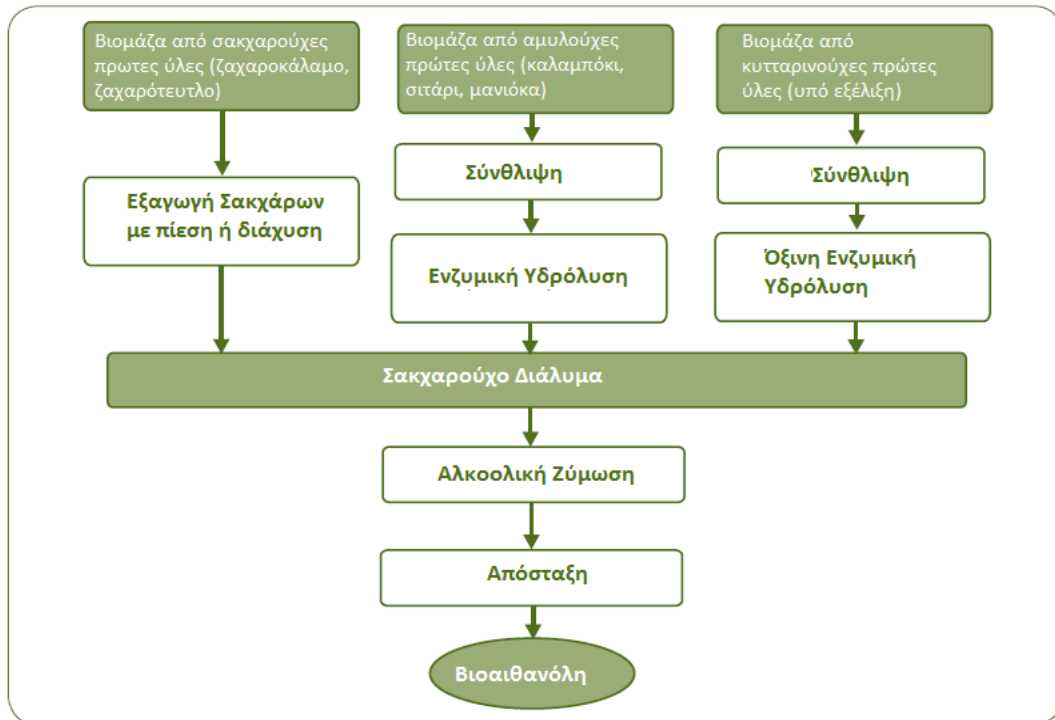
Έτος	2006	2007	2008	2009	2010	2011 (εκτίμηση)	2012 (πρόβλεψη)	2013 (πρόβλεψη)
Μπενελούξ	19	37	76	143	380	696	1.013	1.013
Γαλλία	294	539	746	906	942	949	949	949
Γερμανία	430	397	580	752	765	730	759	823
Ηνωμένο Βασίλειο	0	44	70	70	278	190	253	316
Ισπανία	405	359	346	465	471	465	465	465
Πολωνία	162	120	114	165	194	171	203	228
Άλλες	323	310	655	970	1.147	1.419	1.295	1.396
Σύνολο	1.633	1.806	2.587	3.471	4.177	4.620	4.937	5.190

Πίνακας 2.4 Κύριες χώρες που παράγουν βιοαιθανόλης στην Ευρώπη (εκ. λίτρα) (πηγή EU FAS)

### 3. ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ, ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΚΑΙ ΣΙΤΑΡΙ

Η βιοαιθανόλη μπορεί να παραχθεί από οποιοδήποτε πρώτη ύλη βιομάζας που περιέχει σημαντικά ποσοστά αμύλου ή σακχάρων. Το μεγαλύτερο ποσοστό πρώτων υλών, περίπου το 53%, προέρχεται από αμυλούχες πρώτες ύλες, όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι και άλλα δημητριακά και σιτηρά. Στη περίπτωση αυτή οι διεργασίες μετατροπής τους περιλαμβάνουν διαχωρισμό, καθάρισμα και άλεσμα των κόκκων. Το άλεσμα μπορεί να γίνει είτε πριν τη μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρο (υγρή φάση), είτε μετά τη μετατροπή του (στερεή φάση). Και στις δύο περιπτώσεις η μετατροπή σε σάκχαρο γίνεται μέσω μιας ενζυμικής διεργασίας υπό υψηλές θερμοκρασίες. Στη συνέχεια τα σάκχαρα υποβάλλονται σε ζύμωση και το αλκοολικό διάλυμα που προκύπτει υποβάλλεται σε απόσταξη. Από τις διεργασίες αυτές, εκτός από αιθανόλη, προκύπτουν και πολλά υποπροϊόντα, τα οποία διαφέρουν ανάλογα με τη πρώτη ύλη.

Η παραγωγή αιθανόλης από σακχαρούχες πρώτες ύλες, όπως ζαχαροκάλαμο και ζαχαρότευτλο, είναι μία απλή διαδικασία και απαιτεί ένα λιγότερο βήμα, αφού τα σάκχαρα ήδη υπάρχουν στη βιομάζα. Η διαδικασία περιλαμβάνει κυρίως την εξαγωγή των σακχάρων τα οποία στη συνέχεια υπόκεινται σε ζύμωση και τέλος σε απόσταξη. Στο σχήμα 3.1 συνοψίζονται διαφορετικές διεργασίες παραγωγής βιοαιθανόλης, από διαφορετικές πρώτες ύλες.<sup>15</sup>



Σχήμα 3.1 Διεργασίες παραγωγής αιθανόλης

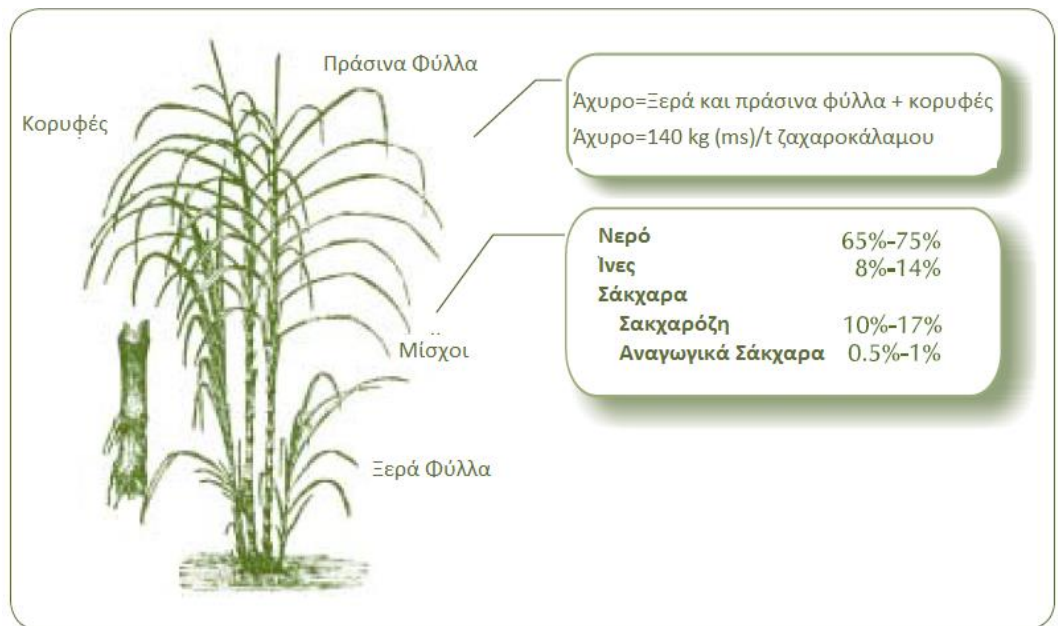
### 3.1. ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ

#### 3.1.1. Παραγωγή ζαχαροκάλαμου

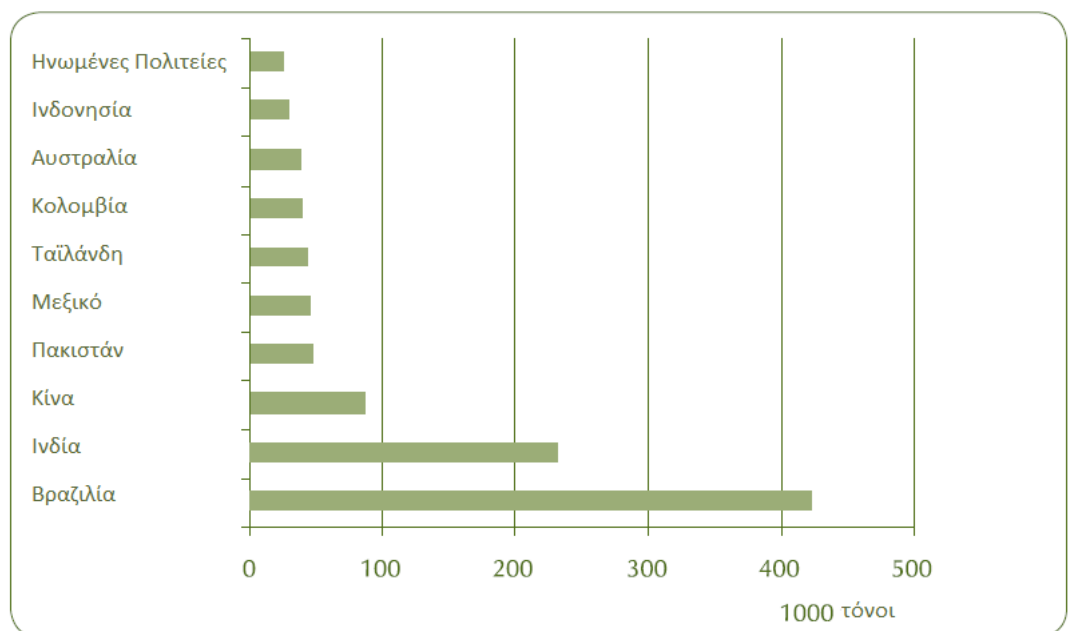
Το ζαχαροκάλαμο (*Saccharum*) είναι ένα πολυετές φυτό με μηχανισμό φωτοσύνθεσης C4, ανήκει στην οικογένεια Αγρωστωδών (*Gramineae*) και αποτελείται από πολυετή, ψηλά και ποώδη είδη. Προέρχεται από τις ζεστές και τροπικές ασιατικές ζώνες, κυρίως από την Ινδία. Το εναέριο μέρος του φυτού αποτελείται κυρίως από μίσχους που περιέχουν σακχαρόζη και από κορυφές και φύλλα, που σχηματίζουν το άχυρο του ζαχαροκάλαμου (*sugarcane straw*), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Ο μίσχος έχει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα και έτσι έχει τη μεγαλύτερη σημασία κατά τη βιομηχανική διεργασία. Όλα τα μέρη αυτά έχουν βάρος περίπου 35 τόνους ανά εκτάριο.

Η καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου έχει πολύ μεγάλη εμπορική σημασία παγκοσμίως. Καταλαμβάνει περισσότερο από 20 εκατομμύρια εκτάρια από τα οποία τα έτη 2006 με 2007 παράχθηκαν σχεδόν 1.300 εκατομμύρια τόνοι. Η Βραζιλία αποτελεί

την κύρια παραγωγό χώρα με έκταση περίπου 7 εκατομμύρια εκτάρια καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου, η οποία αντιστοιχεί σχεδόν στο 42% της συνολικής παραγωγής. Η περίοδος συγκομιδής αρχίζει το Σεπτέμβριο και τελειώνει τον Αύγουστο της επόμενης χρονιάς. Στο σχήμα 3.3 φαίνονται οι δέκα χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή ζαχαροκάλαμου το 2005.



Σχήμα 3.2 Δομή βιομάζας ζαχαροκάλαμου (πηγή Seabra 2008)



Σχήμα 3.3 Οι δέκα χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή ζαχαροκάλαμου το 2005 (πηγή FAO,2007)

Το ιδανικό κλίμα για την καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου είναι αυτό που έχει δύο διακριτές εποχές: μια ζεστή και υγρή εποχή, για να είναι δυνατή η βλάστηση, το όργωμα και η φυτική ανάπτυξη και μια κρύα και ξηρή εποχή, η οποία συμβάλλει στην ωρίμανση και επομένως στην αύξηση της περιεκτικότητας σε σακχαρόζη των στελεχών του ζαχαροκάλαμου. Το ζαχαροκάλαμο δεν ευδοκιμεί σε κλίματα που επικρατούν στην ισημερινή ζώνη, κι έτσι δεν υπάρχει λόγος το δάσος του Αμαζονίου να χρησιμοποιηθεί για εντατική παραγωγή του ζαχαροκάλαμου.

Ο κύκλος ζωής του ζαχαροκάλαμου εξαρτάται από τον καιρό, την ποικιλία και την πρακτική της καλλιέργειας. Στη Βραζιλία διαρκεί έξι χρόνια και δίνει έξι σοδειές. Η πρώτη συγκομιδή γίνεται 12 ή 18 μήνες μετά τη φύτευση (αναλόγως την ποικιλία ζαχαροκάλαμου). Οι επόμενες συγκομιδές των ζαχαροκάλαμων που έχουν αναβλαστήσει (ratoon sugarcane) γίνονται μία φορά το χρόνο, για τέσσερα συνεχόμενα χρόνια, με μία σταδιακή μείωση της αποδοτικότητας τους. Η αναφύτευση του ζαχαροκάλαμου είναι πιο αποδοτική, όπου η παλιά καλλιέργεια αντικαθιστάται από μια καινούρια και έτσι ξεκινάει ένας νέος κύκλος ζωής του ζαχαροκάλαμου. Κατά τη περίοδο αυτή η καλλιέργεια του ζαχαροκάλαμου παραμένει σε αγρανάπαυση για μερικούς μήνες και μπορεί να φυτευτούν άλλες ποικιλίες μικρού κύκλου ζωής όπως όσπρια.

Οι καλλιέργειες ζαχαροκάλαμου θα πρέπει να χωριστούν σε μεγάλες εκτάσεις ανάλογα με το στάδιο του κύκλου ζωής τους, με περίπου το ένα έκτο της συνολικής περιοχής για κάθε στάδιο, έτσι ώστε οι καλλιέργειες να έχουν αρκετά σταθερή παραγωγικότητα για αρκετές συγκομιδές και να γίνεται κατάλληλη χρήση των φυσικών πόρων και των γεωργικών πρακτικών (εξοπλισμός και εργατικό δυναμικό). Οι γεωργικές δραστηριότητες για την παραγωγή



ζαχαροκάλαμου πρέπει να ξεκινήσουν δύο με τρία χρόνια πριν την βιομηχανική παραγωγή βιοαιθανόλης, έτσι ώστε να έχει επιτευχθεί μια αρκετά σταθερή παραγωγή πρώτης ύλης μέσα στο χρονικό διάστημα αυτό. Συνεχώς αναπτύσσονται νέες τεχνικές για τη μείωση του κόστους, την διασφάλιση της γονιμότητας του εδάφους, και την αύξηση του αριθμού των σοδειών με υψηλά επίπεδα παραγωγικότητας.

Δεδομένου ότι ο κύκλος ζωής του ζαχαροκάλαμου περιλαμβάνει πέντε συγκομιδές σε διάρκεια έξι ετών, για να υπολογιστεί η μέση ετήσια αποδοτικότητα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και η περίοδος αναδιάρθρωσης (αναφύτευσης) του ζαχαροκάλαμου. Επιπλέον εφόσον μέρος της παραγωγής του ζαχαροκάλαμου (περίπου το 8%) χρησιμοποιείται για την αναφύτευση του, η ετήσια αποδοτικότητα, που μετράται σε τόνους ζαχαροκάλαμου που παράγονται ανά εκτάριο καλλιεργήσιμης γης, είναι κάτω από τη συνολική αποδοτικότητα που υπολογίζεται με βάση την ποσότητα συγκομιδής του ζαχαροκάλαμου.

Η ετήσια αποδοτικότητα επηρεάζεται από τις μεταβολές του καιρού και από τις ιδιαιτερότητες της περιοχής παραγωγής και κυμαίνεται από 50 t/ha μέχρι 100 t/ha. Η μέση αποδοτικότητα στη Βραζιλία είναι περίπου 70 t/ha, η οποία είναι ίση με αυτή των πιο παραγωγικών περιοχών άλλων χωρών. Παρόλο που υπάρχουν ρεκόρ αποδοτικότητας παραγωγής ζαχαροκάλαμου που φθάνουν τα 200t/ha, στην κεντρική και νότια περιοχή της Βραζιλίας οι αποδοτικότητα κυμαίνεται μεταξύ 78 t/ha μέχρι 80 t/ha. Στο Σάο Πάολο, την κύρια παραγωγό χώρα, κυμαίνεται από 80 t/ha 85 t/ha.

Οι περίοδοι συγκομιδής του ζαχαροκάλαμου ποικίλουν ανάλογα με τις βροχοπτώσεις, για να είναι δυνατές οι εργασίες θερισμού και μεταφοράς, ενώ το ζαχαροκάλαμο θα πρέπει να είναι στο ιδανικό σημείο ωρίμανσης, όπου θα έχει

μεγιστοποιηθεί η συγκέντρωση σακχαρόζης. Στην κεντρική και νότια Βραζιλία η συγκομιδή γίνεται από τον Απρίλη μέχρι το Δεκέμβρη, ενώ στην Βορειοανατολική γίνεται από τον Αύγουστο μέχρι τον Απρίλη. Οι παραδοσιακές τεχνικές θερισμού, οι οποίες ακόμη πραγματοποιούνται στο 70% των καλλιεργούμενων εκτάσεων στη Βραζιλία, προϋποθέτουν πρώτα το κάψιμο των καλλιεργειών και στη συνέχεια τον χειρονακτικό θερισμό των στελεχών του ζαχαροκάλαμου. Λόγω των περιβαλλοντικών μέτρων που έχουν ληφθεί ενάντια στις διαδικασίες καύσης των καλλιεργειών, οι παραπάνω τεχνικές έχουν σταδιακά αντικατασταθεί από το θερισμό των ζαχαροκάλαμων με τη βοήθεια μηχανικού εξοπλισμού, χωρίς να προηγείται καύση αυτών. Τελευταία έχουν γίνει συμφωνίες μεταξύ της κυβέρνησης και των παραγωγών για την εκμηχάνιση της συγκομιδής του ζαχαροκάλαμου μέχρι το 2020.

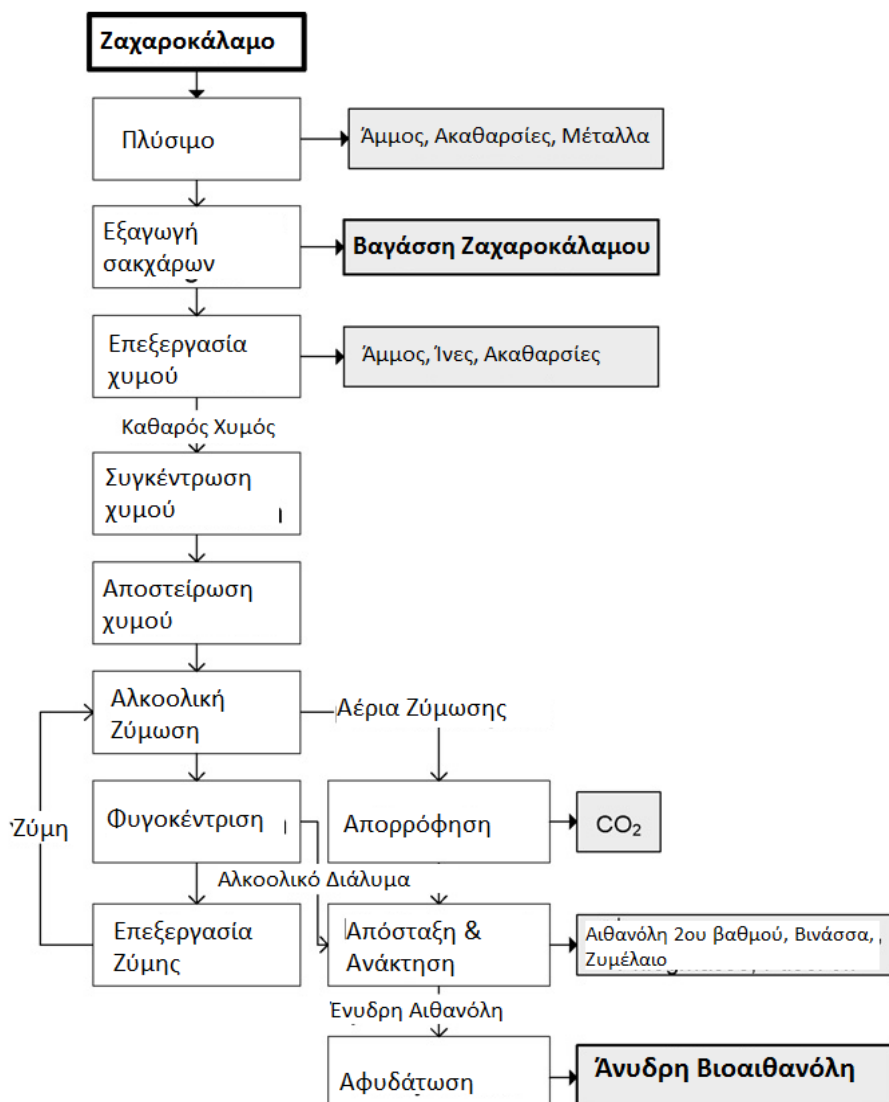
Μετά τη μηχανική συγκομιδή τα περισσότερα φύλλα και άνθη, τα οποία αποτελούν τα υπολείμματα του ζαχαροκάλαμου (sugarcane trash), χωρίζονται από τους μίσχους και παραμένουν στα χωράφια, αυξάνοντας έτσι τη προστασία του εδάφους και παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη ζιζανίων και άλλων φυτών.

Το ζαχαροκάλαμο μεταφέρεται άμεσα σε μύλους, για να αποφευχθούν οι απώλειες σακχαρόζης. Η μεταφορά του γίνεται κυρίως με φορτηγά οχήματα χωρητικότητας 15 με 60 τόνων, εκτός από λίγες εταιρείες που χρησιμοποιούν ένα είδος πλωτής μεταφοράς. Σήμερα ο τομέας της εφοδιαστικής (logistics) για την παραγωγή του ζαχαροκάλαμου έχει αναπτυχθεί σημαντικά και έχει εντάξει διεργασίες συγκομιδής και μεταφοράς οι οποίες μειώνουν το κόστος και ελαχιστοποιούν τη συμπίκνωση του εδάφους. Το ζαχαροκάλαμο δεν αποθηκεύεται περισσότερο από λίγες ημέρες και οι μύλοι λειτουργούν μόνο κατά την περίοδο συγκομιδής, ανεξάρτητα από τις εγκαταστάσεις.<sup>15</sup>

### 3.1.2. Διεργασίες μετατροπής ζαχαροκάλαμου σε βιοαιθανόλη

Το ζαχαροκάλαμο που φθάνει στο εργοστάσιο αποτελείται κυρίως από τους μίσχους και περιέχει νερό, ίνες, σάκχαρα, προσμίξεις και ακαθαρσίες. Οι ακαθαρσίες παρασύρονται μαζί με το ζαχαροκάλαμο κατά τη διάρκεια της συγκομιδής ενώ τα υπόλοιπα είναι συστατικά της δομής του ζαχαροκάλαμου.

Στη συνέχεια λαμβάνουν χώρα τα παρακάτω στάδια (σχήμα 3.4): καθαρισμός του ζαχαροκάλαμου και εξαγωγή των σακχάρων, κατεργασία του χυμού, συμπύκνωση και αποστείρωση, ζύμωση, απόσταξη και αφυδάτωση.



Σχήμα 3.4 Διάγραμμα διεργασιών παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο

Αρχικά το ζαχαροκάλαμο πλένεται (μόνο το στέλεχος), για την αφαίρεση μέρους (70%) των ακαθαρσιών που μεταφέρονται μαζί με το ζαχαροκάλαμο από τα χωράφια και ακολουθούν οι διαδικασίες προετοιμασίας και εξαγωγής των σακχάρων.

Η εξαγωγή των σακχάρων γίνεται με μηχανική πίεση σε κυλινδρικούς μύλους (roll-mills), οι οποίοι χωρίζουν το χυμό του ζαχαροκάλαμου που περιέχει τη σακχαρόζη από τα υπολείμματα του ζαχαροκάλαμου (βαγάσση, bagasse). Κατά τη διεργασία αυτή χρησιμοποιείται νερό σε ποσοστό 27% της ροής του ζαχαροκάλαμου. Η ανάκτηση σακχάρου στους μύλους εκτιμάται στο 96%. Τα υπολείμματα (50% υγρασία) καίγονται σε καυστήρες για την παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του μύλου. Ο χυμός του ζαχαροκάλαμου, που περιέχει τα σάκχαρα, υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία.

Σε μερικές σύγχρονες μονάδες, που είναι εγκατεστημένες στη Βραζιλία, η εξαγωγή μπορεί να γίνει με διάχυση, η οποία αναμένεται να έχει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά στην ενέργεια που χρησιμοποιείται. Κατά τη διεργασία αυτή η τεμαχισμένη και θρυμματισμένη μάζα του ζαχαροκάλαμου πλένεται επανειλημμένως με ζεστό νερό και η εξαγωγή των σακχάρων πραγματοποιείται μέσω μίας διαδικασίας έκπλυσης. Στη συνέχεια το προϊόν συμπιέζεται σε κυλίνδρους και παράγεται η βαγάσση η οποία χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Ο χυμός του ζαχαροκάλαμου που περιέχει τα σάκχαρα, είτε παράγεται από τους μύλους είτε μέσω της διεργασίας διάχυσης, μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ζάχαρης ή βιοαιθανόλης. Ο χυμός του ζαχαροκάλαμου, εκτός από νερό και σάκχαρα, περιέχει προσμίξεις, όπως ορυκτά, άλατα, οξέα, ακαθαρσίες και ίνες. Για να υποβληθεί ο χυμός σε

φυσικές και χημικές διεργασίες και να είναι κατάλληλος για την παραγωγή βιοαιθανόλης μέσω της ζύμωσης, αυτές οι προσμίξεις πρέπει να απομακρυνθούν. Για την αφαίρεση του μεγαλύτερου μέρους των ινών και ακαθαρσιών λαμβάνουν χώρα φυσικές διεργασίες, όπου χρησιμοποιούνται σχάρες και φυγοκεντρικοί διαχωριστές (υδροκυκλώνες).

Στην χημική διεργασία που ακολουθεί, στο χυμό του ζαχαροκάλαμου προστίθεται φωσφορικό οξύ, το οποίο αυξάνει το περιεχόμενο του σε φωσφορικά άλατα και συμβάλει στην αφαίρεση των ακαθαρσιών κατά την καθίζηση. Στη συνέχεια ο χυμός υποβάλλεται στην πρώτη θερμική επεξεργασία, όπου η θερμοκρασία του φθάνει τους 30 με 70 °C.

Στον προθερμασμένο χυμό προστίθεται άσβεστος και αναμιγνύεται με ένα ανακυκλούμενο ρεύμα που περιέχει το διήθημα που λαμβάνεται στο φίλτρο (πλακούντας διήθησης, cake filter). Κατόπιν θερμαίνεται πάλι μέχρι τους 105 °C. Αφού αφαιρεθούν οι φυσαλίδες αέρα, στο θερμασμένο χυμό προστίθεται κροκιδωτικό πολυμερές. Στη συνέχεια γίνεται καθίζηση, όπου οι προσμίξεις αφαιρούνται και λαμβάνονται δύο ρεύματα: η ιλύς, που περιέχει τις προσμίξεις και ο καθαρός χυμός. Μία από τις κύριες προσμίξεις που αφαιρείται με την ιλύ είναι το φωσφορικό ασβέστιο, το οποίο είναι ένα ίζημα που σχηματίζεται με την αντίδραση μεταξύ της ασβέστου και του φωσφορικού οξέως. Κατά τη διάρκεια της διήθησης παρασύρει πολλές άλλες προσμίξεις και έτσι βοηθάει στον καθαρισμό του χυμού.

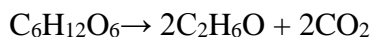
Εκτός από τις προσμίξεις, η ιλύς που λαμβάνεται κατά την καθίζηση, περιέχει σάκχαρα και έτσι χρησιμοποιείται ένα φίλτρο για την ανάκτηση τους. Στο φίλτρο προστίθεται νερό και μικρά σωματίδια της βαγιάσης για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του φιλτραρίσματος. Το διήθημα στη συνέχεια

επαναχρησιμοποιείται στη διεργασία και αναμιγνύεται με τον ασβεστούχο χυμό πριν τη δεύτερη θερμική διεργασία, ενώ ο πλακούντας διήθησης χρησιμοποιείται σαν λίπασμα στα χωράφια.

Ο καθαρός χυμός περιέχει περίπου 15% κατά βάρος διαλυμένα στερεά και επομένως, πριν τη ζύμωση πρέπει να συμπυκνωθεί προκειμένου να πετύχουμε μία ικανοποιητική περιεκτικότητα σε αιθανόλη, η οποία θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τα στάδια καθαρισμού του προϊόντος. Η συμπύκνωση διεξάγεται σε εξατμιστήρα πολλαπλών σταδίων μέχρι η περιεκτικότητα της σακχαρόζης να φθάσει το 65% κατά βάρος. Η συγκέντρωση της σακχαρόζης στο χυμό ο οποίος θα οδηγηθεί στον αντιδραστήρα ζύμωσης (fermentation reactor) εκτιμάται στο 22% κατά βάρος. Επομένως μόνο ένα κλάσμα του καθαρού χυμού συμπυκνώνεται στον εξατμιστήρα και ο συμπυκνωμένος χυμός που λαμβάνεται στο τελευταίο στάδιο αναμιγνύεται με τον υπόλοιπο καθαρό χυμό.

Ο χυμός πριν διοχετευτεί στον αντιδραστήρα ζύμωσης αποστειρώνεται για να αποφευχθεί πιθανή μόλυνση η οποία μπορεί να μειώσει την απόδοση της ζύμωσης. Κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης ο χυμός θερμαίνεται στους 130°C για περίπου 30 λεπτά και στη συνέχεια ψύχεται γρήγορα στη θερμοκρασία ζύμωσης.

Στον αντιδραστήρα ζύμωσης μαζί με τον αποστειρωμένο χυμό προστίθεται αιώρημα μαγιάς (*Saccharomyces cerevisiae*) που περιέχει περίπου 28% κύτταρα ζυμομύκητα (yeast cells). Οι ζυμομύκητες υπολογίζονται περίπου στο ένα τέταρτο της δυναμικότητας του αντιδραστήρα. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, η σακχαρόζη υδρολύεται σε φρουκτόζη και γλυκόζη, οι οποίες μετατρέπονται σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα όπως φαίνεται στην αντίδραση:



Η χρονική περίοδο της ζύμωσης κυμαίνεται από 8 μέχρι 10 ώρες, παράγοντας ένα διάλυμα αιθανόλης 7% με 10%. Η πιο συχνή διαδικασία ζύμωσης στη Βραζιλία είναι η Melle-Boinot, κατά την οποία η ζύμη ανακτάται με φυγοκέντρωση.

Επίσης παράγονται και κάποια υποπροϊόντα, ως αποτέλεσμα των παράλληλων αντιδράσεων ζύμωσης, της ανάπτυξης των κυττάρων, της ύπαρξης προσμίξεων στον χυμό του ζαχαροκάλαμο και άλλων παραγόντων. Επιπλέον περίπου το 4% της γλυκόζης δεν καταναλώνεται από τους ζυμομύκητες.

Η θερμοκρασία της ζύμωσης αποτελεί κρίσιμο σημείο στην παραγωγή αιθανόλης, εφόσον υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν την αντίδραση των ζυμομυκήτων και μειώνουν τη συγκέντρωση της αιθανόλης, αυξάνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της απόσταξης, όπως επίσης και τον όγκο του υπολειμματικού υγρού της ζύμωσης (βινάσσα). Για τα λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται βοηθητικός εξοπλισμός ψύξης, ο οποίος θα παρέχει κρύο νερό για την ψύξη του δοχείου ζύμωσης. Έτσι θα παράγεται υψηλή συγκέντρωση αιθανόλης (10% κατά βάρος) με μεγαλύτερο όμως κόστος.

Στον αντιδραστήρα ζύμωσης λαμβάνονται δύο ρεύματα: το αλκοολούχο διάλυμα (wine) και τα αέρια της ζύμωσης. Τα αέρια της ζύμωσης τροφοδοτούν μία απορροφητική στήλη (absorber column) για να ανακτηθεί η αιθανόλη που εξατμίζεται και το αλκοολούχο διάλυμα υποβάλλεται σε φυγοκέντρωση για την ανάκτηση των ζυμομυκήτων. Απαιτούνται δύο διαδικασίες φυγοκέντρωσης στη σειρά: στην πρώτη η συγκέντρωση των κυττάρων ζυμομυκήτων φθάνει στο 35% κατ' όγκο, ενώ στη δεύτερη προστίθεται νερό και η συγκέντρωση ζυμομυκήτων φθάνει το 70% κατ' όγκο. Το αλκοολούχο διάλυμα που έχει υποστεί φυγοκέντρωση αναμιγνύεται με το διάλυμα που παίρνουμε από την

απορροφητική στήλη και τροφοδοτείται με αυτό η μονάδα απόσταξης (distillation unit). Η συμπυκνωμένη ζύμη υπόκειται σε χημική επεξεργασία με την προσθήκη θειικού οξέος και νερού για την αποφυγή μόλυνσης και η συγκέντρωση ζυμομυκήτων φθάνει το 28% κατ' όγκο, η οποία προστίθεται στον αντιδραστήρα ζύμωσης.

Η διαδικασία επανάκτησης της ζύμης βελτιώνει τη γενική απόδοση και πραγματοποιεί εξοικονόμηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μειώνοντας έτσι τις δαπάνες παραγωγής. Εάν η διάρκεια ζωής των ζυμών έχει φθάσει στο τέλος της, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή λευκόματος, χρήσιμου για την παραγωγή διάφορων τύπων προϊόντων ζωοτροφών ή σχετικών με την ανθρώπινη κατανάλωση.

Η ένυδρη αιθανόλη συνήθως παράγεται με τη συμβατική απόσταξη. Ο χυμός της ζύμωσης περνάει από διάφορες στήλες απόσταξης και διύλισης που λειτουργούν υπό ατμοσφαιρική πίεση. Ο χυμός της ζύμωσης προθερμαίνεται και τροφοδοτεί τις στήλες απόσταξης, όπου το νερό και η αιθανόλη διαχωρίζονται καθώς αναρριχώνται στη στήλη. Από τη κορυφή των στηλών παίρνουμε την δευτέρου βαθμού αιθανόλη, από τον πάτο βινάσση (vinasse) και από τα πλαϊνά υγρό και αέριο ρεύμα αιθανόλης που περιέχει 40 με 50% κατά βάρος αιθανόλη (phlegms). Τα πλούσια αυτά ρεύματα αιθανόλης τροφοδοτούν τις στήλες διύλισης, όπου στην κορυφή τους παράγεται ένυδρη αιθανόλη, στον πάτο μάζα αιθανόλης υψηλής συγκέντρωσης (phlegmasse) και ζυμέλαιο (fusel oil) στα πλαϊνά.

Η κατανάλωση ενέργειας σε αυτό το στάδιο είναι κρίσιμη. Για αυτό τον λόγο, συνηθίζεται ο συνδυασμός με βήματα αλλαγής συγκέντρωσης, εναλλαγή δηλαδή ζωνών υψηλού κενού με ζώνες ατμοσφαιρικής πίεσης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συνολική τελική κατανάλωση της διαδικασίας.



Κατά την απόσταξη η βιοαιθανόλη αρχικά ανακτάται σε ένυδρη μορφή, σχεδόν 96° GL κατ' όγκο, το οποίο αντιστοιχεί σε 6% νερό κατά βάρος, παράγοντας βινάσσο σαν κατάλοιπο, γενικά σε μία αναλογία 10 με 13 λίτρα ανά ένα λίτρο ένυδρης βιοαιθανόλης. Με τη διεργασία αυτή παράγονται και άλλες δευτερογενής και ανώτερες αλκοόλες (ζυμέλαια). Η ένυδρη βιοαιθανόλη αποθηκεύεται σαν τελικό προϊόν ή μπορεί να σταλεί στη στήλη αφυδάτωσης. Εφόσον πρόκειται για αζεοτροπικό μείγμα τα συστατικά της δεν μπορούν να διαχωριστούν μόνο με την απόσταξη.

Η διαδικασία της αφυδάτωσης είναι απαραίτητη για την παραγωγή αιθανόλης καθαρότητας 99.8%, που ονομάζεται απόλυτη αιθανόλη. Η διαδικασία της αφυδάτωσης πραγματοποιείται μετά από την απόσταξη του χυμώδους προϊόντος της ζύμωσης, χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη την αζεοτροπική αιθανόλη. Η αιθανόλη, μετά από την εξάτμιση, κοσκινίζεται σε ένα «μοριακό» κόσκινο από ζεόλιθους. Αυτός ο τύπος «μοριακού» κόσκινου συγκρατεί επιλεκτικά τα μόρια νερού, αυξάνοντας το ποσοστό της αιθανόλης πέρα από το αζεοτροπικό σημείο. Μετά από τη διαδικασία της αφυδάτωσης, η αιθανόλη πρέπει να απομονωθεί χωρίς οποιαδήποτε επαφή μεταξύ αυτής και της ατμόσφαιρας. Η απόλυτη αιθανόλη είναι σε θέση να απορροφήσει την περιβαλλοντική υγρασία. Για αυτόν τον λόγο, μόλις αφυδατωθεί, η αποθήκευση και η μεταφορά πρέπει να πραγματοποιούνται σε μια ατμόσφαιρα χωρίς αέρα, συνήθως από άζωτο και CO<sub>2</sub>. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στη Βραζιλία είναι η αφυδάτωση με προσθήκη κυκλοεξανίου, σχηματίζοντας ένα αζεοτροπικό μείγμα τριών συστατικών με σημείο βρασμού χαμηλότερο από αυτό της άνυδρης βιοαιθανόλης. Στη στήλη αφυδάτωσης το κυκλοεξάνιο προστίθεται στην κορυφή και η άνυδρη βιοαιθανόλη λαμβάνεται από τη βάση με 99.7° GL ή 0,4%

περιεκτικότητα σε νερό κατά βάρος. Το τριαδικό μείγμα που λαμβάνεται από την κορυφή, συμπυκνώνεται και υπόκειται σε καθίζηση ενώ το μέρος με την υψηλή συγκέντρωση νερού αποστέλλεται στη στήλη ανάκτησης κυκλοεξανίου.

Σχεδόν το 90% του χυμού ζύμωσης θα μετατραπεί σε ένα παραπροϊόν μηδενικής περιεκτικότητας σε αλκοόλ, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Η πιο συνηθισμένη χρήση του είναι η συγκέντρωσή του και η ξήρανση για χρήση σε ζωοτροφές. Η συγκέντρωση αυτή πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τη διαδικασία απόσταξης, υπό πίεση κενού, ώστε να μειωθεί το ενεργειακό κόστος που συνδέεται με αυτή τη διαδικασία.

Η πιθανότητα χρήσης σακχάρων αποκλειστικά ή μη από ζαχαροκάλαμο για την παραγωγή βιοαιθανόλης, απαιτεί τεχνολογία που μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτή τη γεωργική βιομηχανία. Οι μύλοι ζάχαρης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, κάνοντας έτσι την παραγωγή πιο αποδοτική. Στην πραγματικότητα πολλοί μύλοι στην Βραζιλία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ζάχαρης και βιοαιθανόλης.

Τα υπολείμματα που προκύπτουν από τον κύκλο παραγωγής βιοαιθανόλης είναι η βινάσση (υπολειμματικό υγρό αλκοολικής ζύμωσης, vinasse) ( από 800 μέχρι 1000 λίτρα ανά τόνο επεξεργασμένου ζαχαροκάλαμου για βιοαιθανόλη), ο πλακούντας διήθησης (στρώμα αποτιθέμενων στερεών στο φίλτρο, filter cake) (περίπου 40 κιλά ανά τόνο επεξεργασμένου ζαχαροκάλαμου) και η τέφρα του λέβητα. Στη Βραζιλία τα υπολείμματα αυτά ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται σα λίπασμα, συνεισφέροντας στη μείωση της χρήσης ορυκτών λιπασμάτων και στην ανάγκη άρδευσης των καλλιεργειών ζαχαροκάλαμου.

Εφόσον η παραγωγή βιοαιθανόλης απαιτεί σημαντικές διεργασίες απομάκρυνσης νερού, η ζήτηση ενέργειας των οποίων είναι υψηλή, κυρίως η ζήτηση θερμικής ενέργειας. Καταναλώνονται 3 με 3,5 κιλά ατμού ανά λίτρο παραγόμενης ένυδρης

βιοαιθανόλης και 1,5 με 2 κιλά ανά λίτρο παραγόμενης άνυδρης βιοαιθανόλης. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας δεν εξαρτάται από τις διεργασίες παραγωγής και κυμαίνεται στις 12 kWh ανά τόνο επεξεργασμένου ζαχαροκάλαμου.

Στη γεωργική βιομηχανία παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο η ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί να προέρχεται από ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, εγκατεστημένο στο μύλο, που χρησιμοποιεί μόνο βαγιάση σαν πηγή ενέργειας. Στην πραγματικότητα πολλοί μύλοι ζαχαροκάλαμου παγκοσμίως παράγουν ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που καταναλώνουν. Ιδιαίτερος στη Βραζιλία, οι μύλοι αυτοτροφοδοτούνται και συχνά εξάγουν σημαντικά ποσά πλεονάσματος ηλεκτρικής ενέργειας στο δημόσιο δίκτυο.

Όσον αφορά τη βιομηχανική απόδοση, ένας τόνος ζαχαροκάλαμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζάχαρης παράγει περίπου 100 κιλά ζάχαρης και 20 λίτρα βιοαιθανόλης, προερχόμενη από τη μελάσα. Ένας τόνος ζαχαροκάλαμου μπορεί να παράγει 86 λίτρα άνυδρης βιοαιθανόλης στην παραγωγή μόνο βιοαιθανόλης ή 100 κιλά ζάχαρης μαζί με 23 λίτρα άνυδρης βιοαιθανόλης, προερχόμενης από μελάσα, στην παραγωγή ζάχαρης.<sup>15,16</sup>

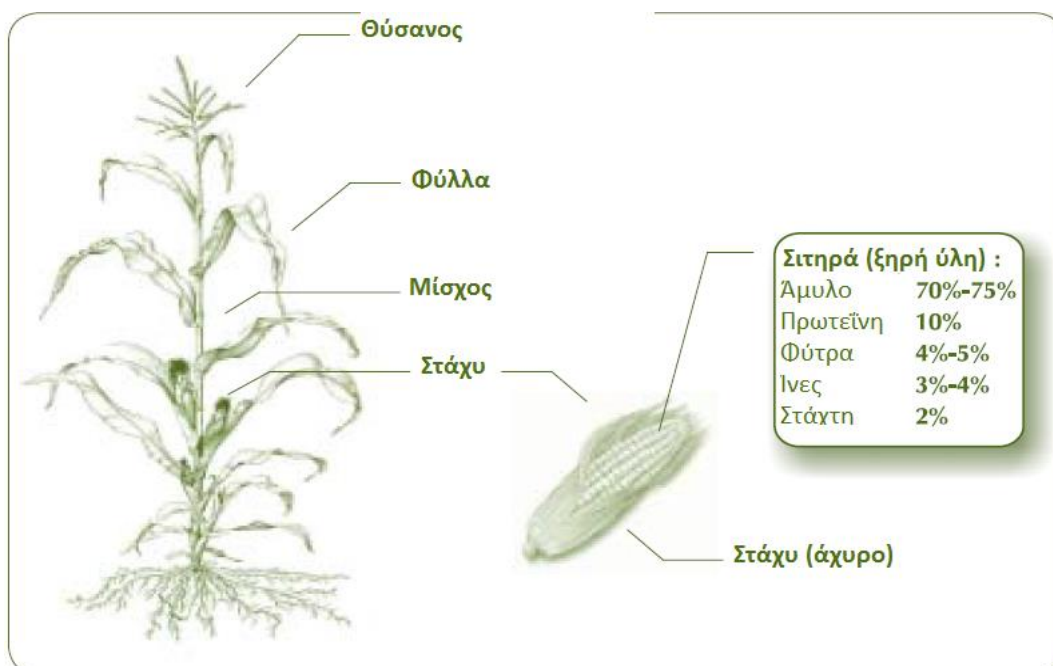
## 3.2. ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ

### 3.2.1. Παραγωγή καλαμποκιού

Όπως και το ζαχαροκάλαμο το καλαμπόκι (*Zea mays*) (σχήμα 3.5) είναι ένα φυτό με μηχανισμό φωτοσύνθεσης C4, ανήκει στην οικογένεια των Αγρωστωδών και έχει ετήσιο κύκλο παραγωγής. Προέρχεται από την Κεντρική Αμερική και σήμερα καλλιεργείται σε όλες τις ηπείρους και καταλαμβάνει περίπου 147

εκατομμύρια εκτάρια, παράγοντας περίπου 725 εκατομμύριους τόνους το 2004.

Αποτελεί σημαντική πηγή διατροφής ανθρώπων και ζώων σε πολλές χώρες.



Σχήμα 3.5 Δομή καλαμποκιού (πηγή Seabra 2008)

Το καλαμπόκι αποτελεί την κύρια πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά. Περισσότερο από το 95% της αιθανόλης που παράγεται σήμερα στις Ηνωμένες Πολιτείες προέρχεται από το καλαμπόκι, ενώ στον Καναδά το 85%.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι η κύρια παραγωγός χώρα παγκοσμίως και από αυτή προέρχεται σχεδόν η μισή παγκόσμια παραγωγή. Το 2005 παρήγαγε 280 εκατομμύρια τόνους καλαμποκιού. Το 2006 η παραγωγή καλαμποκιού στις Ηνωμένες Πολιτείες έφθασε τους 267 εκατομμύρια τόνους από μια καλλιεργούμενη έκταση 28 εκατομμυρίων εκταρίων. Περισσότερο από το 50% της παραγωγής χρησιμοποιήθηκε ως ζωοτροφή, ενώ λιγότερο από το 20% χρησιμοποιήθηκε στην βιομηχανική παραγωγή βιοαιθανόλης. Το μεγαλύτερο

ποσοστό παραγωγής προέρχεται από την επονομαζόμενη περιοχή Corn Belt, κυρίως από τις Πολιτείες των Iowa και Illinois, όπου είναι η κύρια καλλιέργεια. Η Κίνα είναι η δεύτερη παραγωγός χώρα. Το 2005 παρήγαγε 131 εκατομμύρια τόνους καλαμποκιού. Το ένα πέμπτο αυτής της ποσότητας χρησιμοποιήθηκε σε βιομηχανικές εφαρμογές, της οποίας το 40% χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή βιοαιθανόλης.

Εκτός από το άμυλο, το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή αιθανόλης, οι σπόροι του καλαμποκιού περιέχουν επίσης 10% πρωτεΐνες, 4,5 % έλαιο και 10 με 15% άλλες ύλες όπως ίνες και στάχτη. Οι πρωτεΐνες, το έλαιο και οι ίνες μπορούν να ανακτηθούν κατά την αλκοολική ζύμωση της παραγωγής αιθανόλης.

Στις εύκρατες ζώνες το καλαμπόκι φυτεύεται την Άνοιξη (Απρίλιο και Μάιο στο Βόρειο Ημισφαίριο) αφού δεν ευδοκμεί στο κρύο. Οι καλλιέργεια του καλαμποκιού τυπικά απαιτεί την εναλλαγή καλλιεργειών με ένα είδος αζωτοδεσμευτικών φυτών (κυρίως τριφύλλι, αλφάλφα ή σόγια) και μερικές φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μία τρίτη καλλιέργεια, όπως το σιτάρι. Παραδοσιακά το έδαφος οργώνεται κάθε χρόνο, αν και η τεχνική ελάχιστης καλλιέργειας του εδάφους (minimum tillage) είναι αρκετά διαδεδομένη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η εποχή της συγκομιδής ξεκινάει από το Σεπτέμβρη μέχρι το Νοέμβρη και γίνεται γενικά με μηχανικά μέσα, όπου το στάχυ (ear) του καλαμποκιού διαχωρίζεται από το μίσχο (stem), εξάγονται οι σπόροι (kernels) και το άχυρο (straw) και τα κοτσάνια (corncob) αφήνονται στο χωράφι.

Η μέση παραγωγή στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι περίπου 9 τόνοι σπόρων καλαμποκιού ανά εκτάριο. Στην πραγματικότητα οι σπόροι αποτελούν το 50% της στερεής ύλης του φυτού, η οποία επίσης περιλαμβάνει το μίσχο, τα φύλλα, το άχυρο και το κοτσάνι και ζυγίζει 15 τόνους ανά εκτάριο.

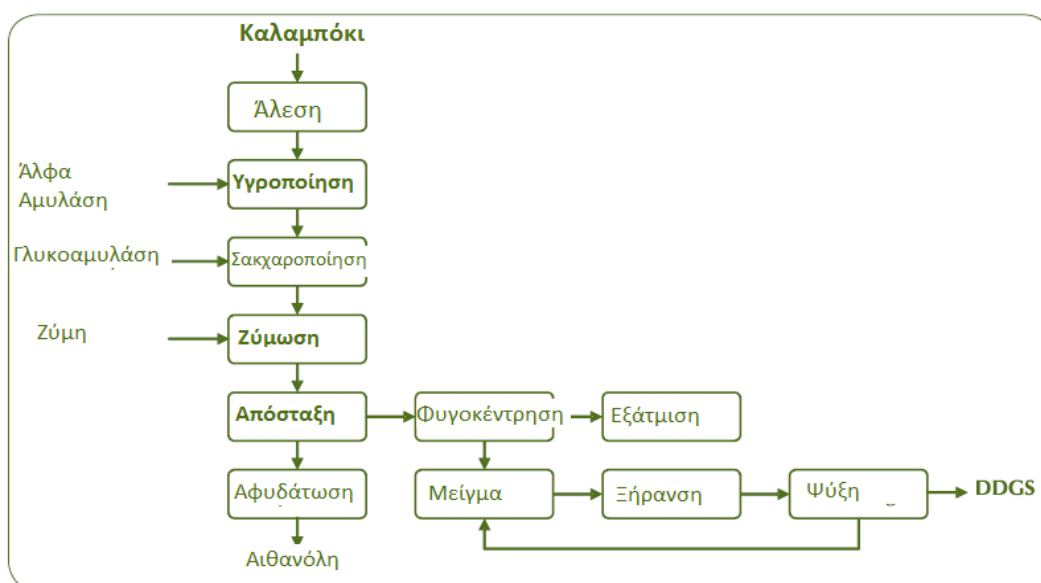
Παρόλο που η παραπάνω βιομάζα αναμένεται να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτική πηγή ενέργειας, είναι σημαντικό που το μεγαλύτερο μέρος της παραμένει στα χωράφια μετά τη συγκομιδή για να εξασφαλίσει τη γονιμότητα του εδάφους. Σε σύγκριση με το ζαχαροκάλαμο το καλαμπόκι απαιτεί σχετικά μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων. Τα αποτελέσματα έχουν μετρηθεί από αρδευόμενες και μη αρδευόμενες εκτάσεις. Όσον αφορά στην κατανάλωση νερού, η συνολική ζήτηση είναι περίπου 5,6 χιλιάδες κυβικά μέτρα ανά εκτάριο, παρόλο που λιγότερο από το 10% των καλλιεργούμενων εκτάσεων στις Ηνωμένες Πολιτείες χρειάζονται άρδευση.<sup>15</sup>

### **3.2.2. Διεργασίες μετατροπής καλαμποκιού σε βιοαιθανόλη**

Η βιοαιθανόλη από καλαμπόκι μπορεί να παραχθεί είτε με ξηρή είτε με υγρή άλεση. Η υγρή άλεση παρέχει μία μεγάλη ποικιλία προϊόντων και ήταν πιο διαδεδομένη μέχρι το 1990. Σήμερα έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις στη διεργασία ξηρής άλεσης, καθιστώντας τη την καλύτερη εναλλακτική, αφού έχει μικρότερο κόστος επένδυσης και λειτουργίας και παρέχει σημαντική εξοικονόμηση στο τελικό κόστος της βιοαιθανόλης.

Κατά τη διεργασία υγρής άλεσης οι σπόροι του καλαμποκιού χωρίζονται και λαμβάνονται πολλά υποπροϊόντα, όπως πρωτεΐνες, θρεπτικά συστατικά, διοξείδιο του άνθρακα (που χρησιμοποιείται σε εργοστάσια αναψυκτικών), άμυλο και αραβοσιτέλαιο. Ενώ το αραβοσιτέλαιο είναι το πιο πολύτιμο προϊόν, το άμυλο (και επομένως η βιοαιθανόλη) είναι αυτό που παράγεται σε μεγαλύτερες ποσότητες, με απόδοση περίπου 440 λίτρα βιοαιθανόλης ανά τόνο καλαμποκιού επί ξηρού.

Κατά την ξηρή άλεση (σχήμα 3.6) το μόνο υποπροϊόν της βιοαιθανόλης είναι ένα συμπλήρωμα πρωτεΐνης για ζωοτροφή που ονομάζεται DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles). Κατά τη διεργασία αυτή οι σπόροι του καλαμποκιού αναμιγνύονται με νερό και ένζυμα (α-αμυλάση) για να γίνει η υδρόλυση του αμύλου σε μικρότερες αλυσίδες σακχάρων. Στο επόμενο στάδιο οι αλυσίδες σακχαροποιούνται με τη προσθήκη γλυκοαμυλάσης και το διάλυμα που παράγεται υπόκειται σε ζύμωση. Σε μερικές μονάδες κατά τη διάρκεια αυτών των διεργασιών ρευστοποίησης και σακχαροποίησης ένα μέρος της βινάσσης (υπολειμματικό υγρό αλκοολικής ζύμωσης) ανακυκλώνεται (backsetting process) για να μειώσει το pH και να παρέχει θρεπτικά συστατικά για την αλκοολική ζύμωση.



Σχήμα 3.6 Διάγραμμα ροής της παραγωγής βιοαιθανόλης από καλαμπόκι με ξηρή άλεση

Παρόλο που τα αρχικά στάδια της απελευθέρωσης των σακχάρων γίνονται με ταχείς ρυθμούς, η διεργασία γρήγορα επιβραδύνεται και μπορεί να χρειαστούν ακόμη 48 με 72 ώρες στους αντιδραστήρες για τη μεγιστοποίηση της σακχαροποίησης του αμύλου. Για τη μείωση του χρόνου αυτού και των κινδύνων

μόλυνσης, σε πολλές μονάδες οι διεργασίες της σακχαροποίησης και της αλκοολικής ζύμωσης γίνονται ταυτόχρονα. Στην περίπτωση αυτή η μετατροπή σε γλυκόζη μειώνεται επίσης. Ωστόσο κατά τη διεργασία της ανακύκλωσης (backsetting) επιτρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν σάκχαρα που αρχικά δεν είχαν μετατραπεί.

Όπως και στην περίπτωση της παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο, στην διεργασία αλκοολικής ζύμωσης η γλυκόζη μετατρέπεται σε βιοαιθανόλη με τη δράση ζύμης (*Saccharomyces cerevisiae*) και το διάλυμα αιθανόλης που παράγεται προωθείται για απόσταξη. Η βινάσση που παράγεται στο στάδιο αυτό στέλνεται σε μία σειρά φυγοκεντρητών όπου διαχωρίζεται. Η βινάσση που απομένει συγκεντρώνεται σε εξαμισθήρες, παράγοντας ένα σιρόπι που έχει περίπου 50% υγρασία. Το σιρόπι αναμιγνύεται με στερεά στοιχεία που αφαιρούνται από τον φυγοκεντρητή και η υγρασία κατεβαίνει στο 10% μέχρι να παραχθεί DDGS. Τα στάδια απόσταξης είναι παρόμοια με αυτά της παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία. Η μόνη διαφορά είναι ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες η πιο διαδεδομένη διεργασία αφυδάτωσης είναι αυτή που γίνεται με τη χρήση μοριακού φίλτρου για την παραγωγή άνυδρης βιοαιθανόλης. Όσον αφορά στις αποδόσεις, συνήθως λαμβάνονται περίπου 460 λίτρα άνυδρης βιοαιθανόλης και 380 κιλά DDGS ανά τόνο καλαμποκιού επί ξηρού.<sup>15</sup>

### 3.3. ΣΙΤΑΡΙ

#### 3.3.1. Παραγωγή σίτου



Το σιτάρι (*Triticum* spp.) είναι ετήσιο φυτό και ανήκει στην οικογένεια των Αγρωστωδών (*Gramineae*). Αποτελεί άλλη μία αμυλούχα πρώτη ύλη, η οποία έχει εφαρμοστεί αποτελεσματικά τα τελευταία χρόνια για την παραγωγή βιοαιθανόλης σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Αγγλία και η Γερμανία. Η βιομηχανική διαδικασία μετατροπής του είναι παρόμοια με αυτή του καλαμποκιού. Η γεωργική και βιομηχανική του παραγωγικότητα είναι αντίστοιχα 7,5 τόνοι ανά εκτάριο και 240 λίτρα βιοαιθανόλης ανά τόνο επεξεργασμένου σιταριού, με συνολική απόδοση 1.800 λίτρα ανά εκτάριο. Επιπλέον λαμβάνονται περίπου 320 κιλά υποπροϊόντων ανά τόνο επεξεργασμένου σιταριού, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ζωοτροφές, όπως και στην περίπτωση του καλαμποκιού.<sup>15</sup>

Το σιτάρι καλλιεργείται παγκοσμίως σαν τρόφιμο, αλλά η υψηλή και σταθερή του απόδοση, η μεγάλη προσαρμοστικότητα του σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος και η δυνατότητα μακροπρόθεσμης αποθήκευσης του (μικρό ποσοστό υγρασίας), του το καθιστούν κατάλληλο και για την παραγωγή αμύλου. Η παραγωγή αιθανόλης πρέπει να είναι οικονομικά συμφέρουσα και επομένως το σιτάρι που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της θα πρέπει να έχει υψηλή παραγωγικότητα σε αιθανόλη.<sup>17</sup>

Το άμυλο σίτου χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης μόνο σε δύο εργοστάσια στις Ηνωμένες Πολιτείες. Σε άλλες περιοχές ωστόσο αποτελεί σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Στον Καναδά το 15% της παραγωγής βιοαιθανόλης προέρχεται από το σιτάρι. Στην Ευρώπη και την Αυστραλία το σιτάρι αποτελεί τη βασική πρώτη ύλη της βιομηχανίας παραγωγής βιοαιθανόλης από άμυλο. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η συνολική παραγωγή σιταριού το 2004 έφτασε τους 124 εκατομμύρια τόνους.

Σήμερα η παραγωγή αιθανόλης από σιτάρι στον Καναδά γίνεται σε μέτρια κλίμακα στα δυτικά της χώρας. Ωστόσο υπάρχουν βλέψεις για σημαντική επέκταση της στις περιοχές Saskatchewan and Manitoba, καθώς και σχέδια για την κατασκευή εργοστασίων μετατροπής σιταριού σε αιθανόλη στην Αυστραλία και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η πρωτεΐνη του σιταριού είναι καλύτερης ποιότητας για τροφή από την πρωτεΐνη του καλαμποκιού, επειδή περιέχει το απαραίτητο αμινοξύ λισίνη. Ωστόσο αφού η πρωτεΐνη του σιταριού είναι αδιάλυτη στο νερό, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην παραγωγή αιθανόλης. Έτσι μόνο η ποικιλίες σιταριού με χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είναι κατάλληλες για την παραγωγή αιθανόλης, όπως οι Canadian Prairie Spring (Red and White), Canadian Western Red Winter, and Canadian Western Soft White. Η χρήση σιταριού με χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη για την παραγωγή αιθανόλης έχει το επιπλέον πλεονέκτημα της αυξημένης περιεκτικότητας σε άμυλο. Τα υποπροϊόντα της παραγωγής αιθανόλης περιλαμβάνουν DDGS και γλουτένη, τα οποία αποτελούνται κατά 80% με 90 % από πρωτεΐνη σιταριού. Η γλουτένη αποτελεί σημαντικό πρόσθετο σε αρτοποιήματα και σε κατεργασμένα τρόφιμα από κρέας και ψάρι. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε τρόφιμα για χορτοφάγους, κυρίως στην Ανατολική και Νότια Ασία, όπου υπάρχει μεγάλος πληθυσμός βουδιστών. Το σιτάρι επίσης περιέχει και έλαιο αλλά σε χαμηλά επίπεδα (λιγότερο από 3%).<sup>18</sup>

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες στην καλλιέργεια σιταριού για την παραγωγή αιθανόλης είναι η επιλογή της κατάλληλης ποικιλίας σιταριού και εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή και οι δύο επηρεάζουν την απόδοση της παραγωγής σιταριού, την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και σε άμυλο και την απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης. Οι υπόλοιπες αγρονομικές αποφάσεις

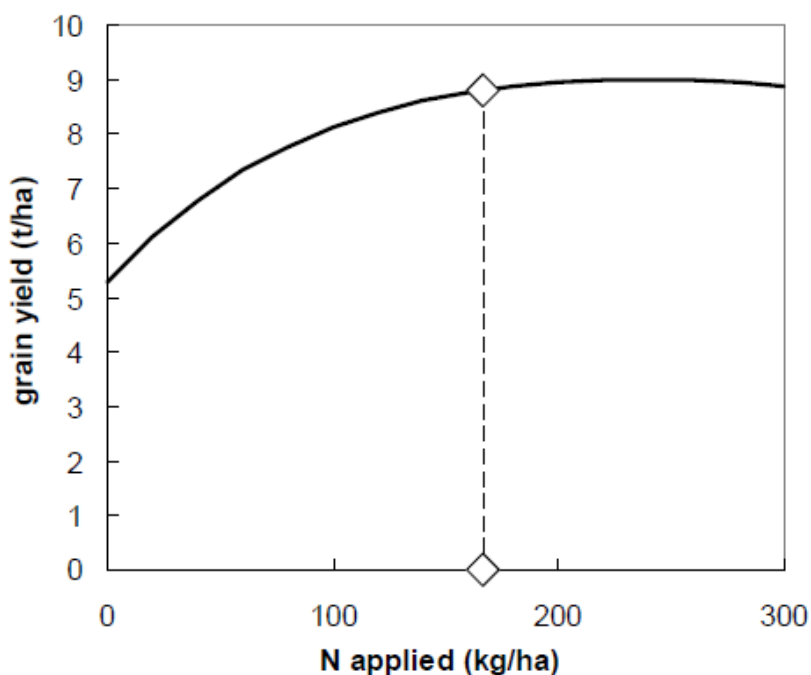
μπορεί να είναι ίδιες με αυτές της παραγωγής σιταριού για τροφή. Κυρίως τα αζωτούχα λιπάσματα και σε μικρότερο βαθμό η καλλιέργεια και η ξήρανση του σιταριού, αποτελούν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την παραγωγή σιταριού.

Τα κύρια είδη σιταριού αποτελούνται από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς από σκληρό ή μαλακό σιτάρι, κόκκινο ή άσπρο και εαρινό ή χειμερινό. Όλοι αυτοί οι τύποι ανήκουν στο γένος *Triticum aestivum*. Υπάρχουν και άλλοι τύποι όπως *Triticum durum*, *compactum* and *spelta*. Για την παραγωγή αιθανόλης χρησιμοποιείται μαλακό σιτάρι. Αν και το σιτάρι ευδοκίμει σε διάφορες περιοχές, οι κατάλληλες είναι αυτές με γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 30° με 60° Βόρεια και 27° με 40° Νότια, ενώ υψηλή απόδοση έχει κυρίως σε περιοχές με ήπιο κλίμα. Όλα τα είδη σιταριού είναι ετήσια. Το εαρινό σιτάρι φυτεύεται την άνοιξη και έχει μία σύντομη εποχή ανάπτυξης, μικρότερη από 100 ημέρες και θερίζεται το φθινόπωρο. Αντίθετα το χειμερινό σιτάρι φυτεύεται το φθινόπωρο σε περιοχές με ήπιο χειμώνα. Ακολουθεί η βλάστηση και η ανάπτυξη του εκτεταμένου ριζικού συστήματός του. Η ανάπτυξη του σταματάει το χειμώνα και συνεχίζεται την άνοιξη. Η συγκομιδή γίνεται αρχές καλοκαιριού.<sup>19</sup>

Το σιτάρι μπορεί να καλλιεργηθεί σε διαφορετικά είδη εδάφους και με διαφορετικές μεθόδους. Οι ποικιλίες των διαθέσιμων συνδυασμών καθιστά πιο περίπλοκο τον καθορισμό της μέσης παραγωγής σιταριού. Όσον αφορά την αποδοτικότητα και την ποιότητα παραγωγής βιοαιθανόλης η επιλογή της κατάλληλης ποικιλίας σιταριού είναι μεγάλης σημασίας. Η ποικιλία σιταριού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή αιθανόλης είναι αυτή με τη μεγαλύτερη απόδοση και τη μικρότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη.

Η αρχική κατανάλωση ενέργειας κατά την καλλιέργεια σιταριού προέρχεται από τα καύσιμα των αγροτικών οχημάτων που χρησιμοποιούνται για τις διάφορες αγροτικές εργασίες και για την παραγωγή λιπασμάτων. Ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας που εφαρμόζεται εκτελούνται οι εργασίες οργώματος, σποράς, χρήσης λιπασμάτων και εντομοκτόνων και συνδυαστικές εργασίες που απαιτούν τη χρήση πετρελαίου ντίζελ. Το χωράφι έχει ανάγκη από θρεπτικά συστατικά όπως ποτάσσιο και φωσφορικά άλατα. Το άζωτο αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψη καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση της καλλιέργειας και της παραγωγής αιθανόλης, τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και το ενεργειακό ισοζύγιο. Θα πρέπει να αποφεύγεται η κατάχρηση του αζώτου αφού η παραγωγή και η χρήση του προκαλούν το 70% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της καλλιέργειας σιταριού. Από την άλλη πλευρά η μείωση της χρήσης του μειώνει την απόδοση στην παραγωγή αιθανόλης.

Στο σχήμα 3.7 φαίνεται η καμπύλη των αζωτούχων λιπασμάτων που εφαρμόζονται σε σχέση με την απόδοση της καλλιέργειας. Αρχικά η αύξηση των αζωτούχων λιπασμάτων δίνει σημαντική αύξηση της απόδοσης, αλλά όσο η ποσότητα του αζώτου αυξάνεται η προσαύξηση στην απόδοση μειώνεται μέχρι να φθάσει ένα ανώτατο σημείο. Περαιτέρω αύξηση του αζώτου μπορεί να επιφέρει μειωμένη απόδοση.

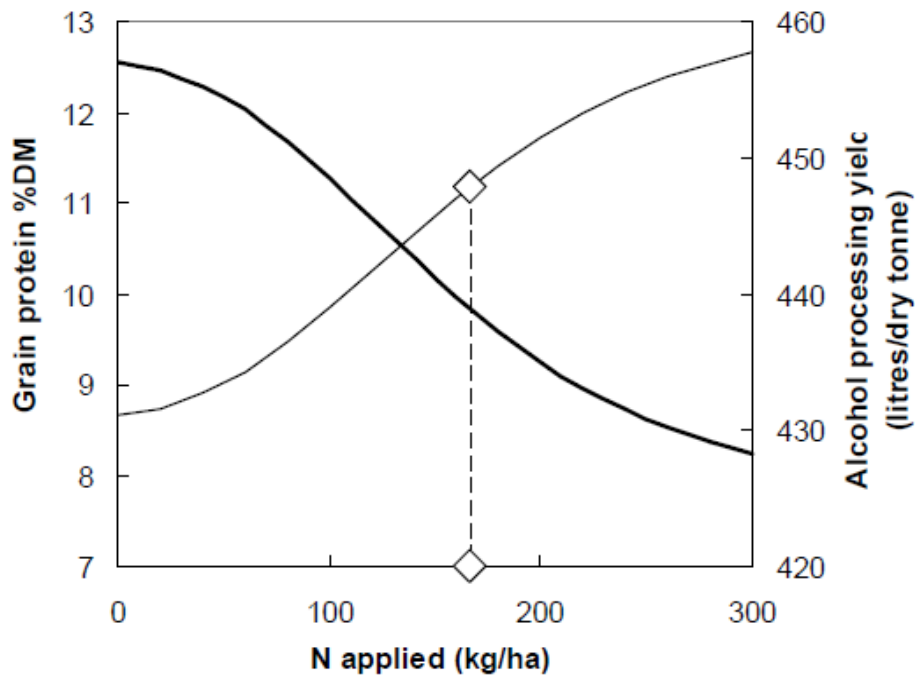


Σχήμα 3.7 Η επίδραση των αζωτούχων λιπασμάτων στην απόδοση της παραγωγής σιταριού. Η κατακόρυφη γραμμή δείχνει τη οικονομικά βέλτιστη ποσότητα αζωτούχων λιπασμάτων.

Κατά την καλλιέργεια σιταριού για την παραγωγή τροφίμων, οι γεωργοί πρέπει να εφαρμόσουν κατάλληλη ποσότητα αζωτούχων λιπασμάτων που δίνει τη μέγιστη απόδοση ανά εκτάριο, δηλ. την οικονομικά βέλτιστη ποσότητα. Κατά τη καλλιέργεια όμως σιταριού που προορίζεται για άλεση (και για την παραγωγή αιθανόλης), οι γεωργοί πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις για την ελάχιστη περιεκτικότητα του σιταριού σε πρωτεΐνη (συνήθως 13%) και γι' αυτό γενικά εφαρμόζουν μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου από τη βέλτιστη. Αυτό συμβαίνει επειδή η απόδοση της διεργασίας ζύμωσης (και της παραγωγής αιθανόλης) μειώνεται όσο η περιεκτικότητα του σιταριού σε πρωτεΐνη αυξάνεται.

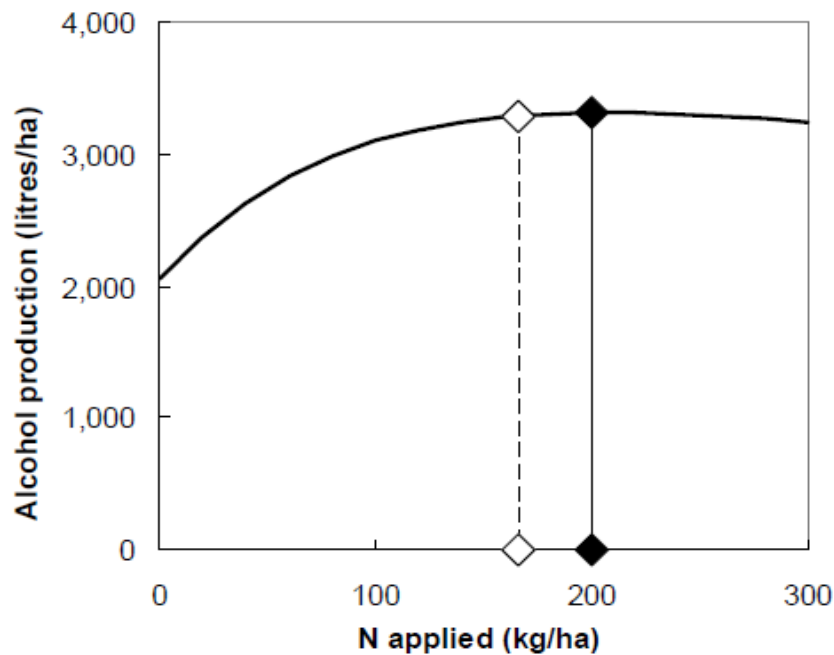
Στο σχήμα 3.8 φαίνεται η επίδραση των αζωτούχων λιπασμάτων στην περιεκτικότητα του σιταριού σε πρωτεΐνη και στην απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης. Αυξάνοντας την ποσότητα αζωτούχων λιπασμάτων από 0 στα 300kg/ha αυξάνεται η περιεκτικότητα του σιταριού σε πρωτεΐνη από 8,5% στο 12,5% και

αναμένεται να μειωθεί η απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης από 455 l/t σε λιγότερο από 430 l/t. Στην ποσότητα αζώτου που μεγιστοποιεί την απόδοση της καλλιέργειας σιταριού (165 kg/ha) η αναμενόμενη απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης είναι 449 l/t, λιγότερη από τη μέγιστη 457 l/t.



Σχήμα 3.8 Επίδραση των αζωτούχων λιπασμάτων στην περιεκτικότητα του σιταριού σε πρωτεΐνη και στην απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης.

Ο τελικός σκοπός της βιομηχανίας παραγωγής βιοαιθανόλης είναι η βέλτιστη απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης ανά εκτάριο. Η επίδραση των αζωτούχων λιπασμάτων στην παραγωγή αιθανόλης ανά εκτάριο μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την απόδοση παραγωγής σιταριού ανά εκτάριο με την απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης ανά τόνο. Έτσι προκύπτει ότι η μέγιστη απόδοση της αλκοολικής ζύμωσης ανά εκτάριο επιτυγχάνεται στα 200 kg/ha αζώτου, μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου από αυτή της βέλτιστης απόδοσης παραγωγής σιταριού (σχήμα 3.9).<sup>20</sup>



Σχήμα 3.9 Η επίδραση των αζωτούχων λιπασμάτων στην παραγωγή αιθανόλης ανά εκτάριο.

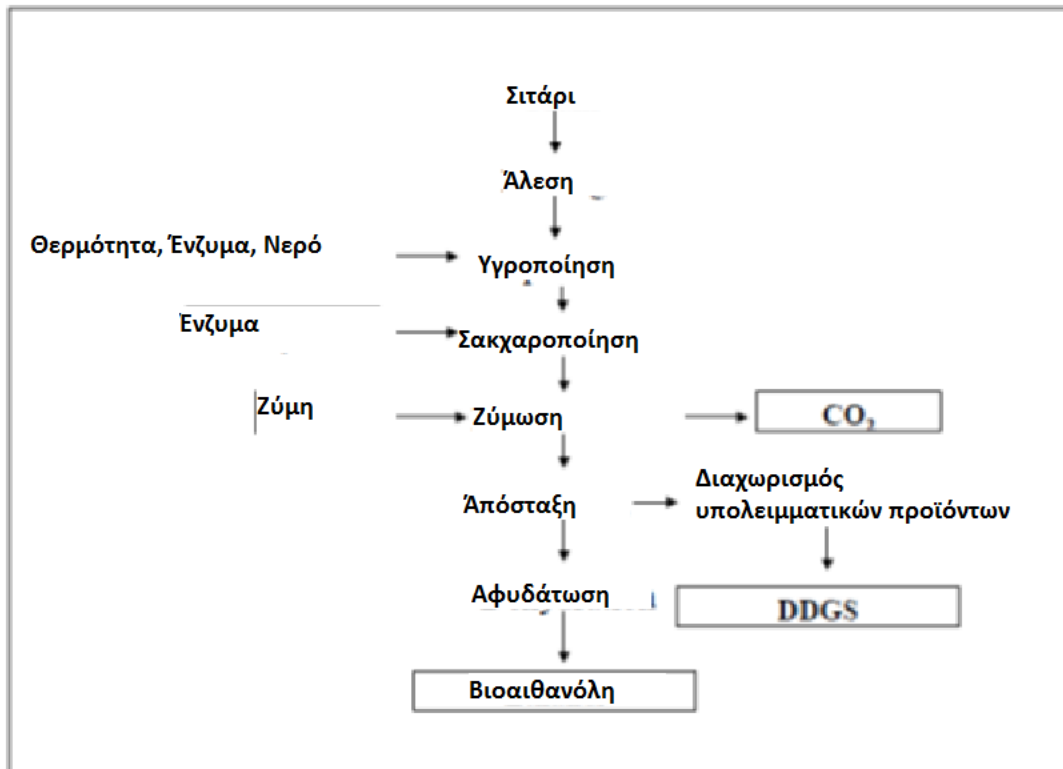
### 3.3.2. Διεργασίες μετατροπής σίτου σε βιοαιθανόλη

Η συγκομιδή πρέπει να γίνεται εγκαίρως ώστε να μειώνεται το κόστος ξήρανσης. Ενώ είναι σημαντικό το σιτάρι να μην έχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας, ώστε να αποφεύγεται πιθανή μόλυνση και προβλήματα στην αποθήκευση του, είναι πιθανό το σιτάρι που προορίζεται για την παραγωγή αιθανόλης να έχει ποσοστό υγρασίας μεγαλύτερο του 15%.

Η ξήρανση του υγρού σίτου αποτελεί σημαντικό οικονομικό κόστος και σε αυτήν μπορεί να οφείλεται σημαντικό ποσοστό ενεργειακού ισοζυγίου και εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της παραγωγής βιοαιθανόλης. Επομένως θα είναι καλύτερο να αποφευχθεί η ξήρανση του σιταριού όσο είναι δυνατό.<sup>21,22,23</sup>

Η παραγωγή αιθανόλης από σιτάρι είναι παρόμοια με την παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι. Το σιτάρι έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άμυλο και επομένως η απόδοση αιθανόλης είναι συνήθως 370 λίτρα ανά τόνο, ενώ από

καλαμπόκι είναι 400 λίτρα ανά τόνο. Αυτό αντισταθμίζεται από την αυξημένη παραγωγή αποξηραμένων σπόρων απόσταξης (distillers dried grains) σε ποσοστό 38% του σιταριού σε σχέση με 32% από το καλαμπόκι. Τα κύρια στάδια της παραγωγής αιθανόλης από σιτάρι με τη μέθοδο ξηρής άλεσης φαίνονται στο σχήμα 3.10



Σχήμα 3.10 Στάδια παραγωγής βιοαιθανόλης από σιτάρι με τη μέθοδο της ξηρής άλεσης.

Το σιτάρι αρχικά υπόκειται στη διεργασία άλεσης, η οποία αυξάνει την επιφάνεια των σιτηρών, κάνοντας πιο αποτελεσματικές τις διεργασίες της πολτοποίησης, της θερμικής κατεργασίας και της υγροποίησης καθώς και της ενζυματική διάσπασης του αμύλου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι, το άλεσμα των κόκκων μπορεί να γίνει με ξηρή ή υγρή άλεση. Ανάλογες διεργασίες μπορούν να εφαρμοστούν και για την παραγωγή αιθανόλης από σιτάρι αλλά αρκετά διαφοροποιημένες. Κατά την ξηρή άλεση το σιτάρι διέρχεται από σφυρόμυλους και μετατρέπεται σε λεπτή σκόνη, άλευρο (meal). Με



τη ξηρή άλεση όλος ο κόκκος αλέθεται χωρίς καμία διάσπαση των συστατικών του. Αυτή είναι η πιο οικονομική και διαδεδομένη διεργασία σήμερα στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαιθανόλης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή επιπλέον τεχνολογιών ξηρής άλεσης, όπως λειαντικών ή κυλινδρικών μύλων, μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας αυτής, πριν τα στάδια της υγροποίησης και της αλκοολικής ζύμωσης. Η διεργασία αυτή θα αφαιρέσει το μεγαλύτερο μέρος των ινών και των πρωτεϊνών από το σιτάρι (τα οποία δεν συμμετέχουν στη ζύμωση) και θα μειώσει την ανάγκη ξήρανσης στο τέλος της διεργασίας, για την οποία απαιτείται σημαντικό ποσό ενέργειας.

Κατά την υγρή άλεση του καλαμποκιού, αυτό διαχωρίζεται στα συστατικά του δηλ. σε άμυλο, ίνες, πρωτεΐνες και φύτρα μετά από ένα χρονικό διάστημα εμβάπτισης του σε διάλυμα θειικού οξέος, πριν από την άλεση. Η υγρή άλεση του σιταριού είναι διαφορετική, αφού το σιτάρι περιέχει ένα μοναδικό συνδυασμό πρωτεϊνών που σχηματίζουν τη γλουτένη. Τα υπάρχοντα εργοστάσια παραγωγής αμύλου από σιτάρι στο Ηνωμένο Βασίλειο χρησιμοποιούν την διεργασία της υγρής άλεσης, όπου το αλεύρι σίτου διαβρέχεται και ζυμώνεται. Η ζύμη που δημιουργείται πλένεται επανειλημμένως για να αφαιρεθούν οι κόκκοι αμύλου από την αδιάλυτη γλουτένη. Η γλουτένη και το άμυλο ανακτώνται και τα δύο ως σημαντικά προϊόντα.

Παρόλο που η διεργασία υγρής άλεσης είναι πιο ακριβή και ενεργοβόρα, μπορεί θεωρητικά να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας, αφού η συγκέντρωση του αμύλου που εισέρχεται στα στάδια της υγροποίησης και της ζύμωσης είναι μεγαλύτερη και η ποσότητα DDGS προς ξήρανση είναι μικρότερη.

Ωστόσο η οικονομία της όλης διεργασίας βασίζεται στη γλουτένη, η οποία αποτελεί ένα σημαντικό υποπροϊόν.

Το στάδιο της θερμικής κατεργασίας, υπό υψηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται συχνά για τη ζελατινοποίηση του αμύλου και για να το καταστήσει πιο εύκολα αποικοδομήσιμο από ένζυμα. Οι υψηλές θερμοκρασίες επίσης συμβάλλουν στην μείωση της μόλυνσης από μικρόβια. Το αλεσμένο σιτάρι αναμειγνύεται με νερό για να σχηματίσει ένα πολτό και θερμαίνεται στους 120 °C με 150°C. Η υψηλή θερμοκρασία και η υψηλή πίεση προκαλούν μηχανικές διατμητικές δυνάμεις στο μόριο του αμύλου. Η απελευθέρωση της πίεσης διαταράσσει ολόκληρη τη δομή του.

Η διάρκεια και η θερμοκρασία του σταδίου θερμικής κατεργασίας πρέπει να ελέγχονται προσεχτικά. Εάν το άμυλο θερμανθεί για πολλή ώρα ή σε πολύ υψηλή θερμοκρασία, μπορεί να συμβούν αντιδράσεις μη ενζυμικής αμαύρωσης (Maillard), με αποτέλεσμα να μειωθεί η απόδοση της παραγωγής αιθανόλης. Νέα μείγματα ενζύμων από α-αμυλάσες και γλυκαμυλάσες είναι σήμερα εμπορικά διαθέσιμα, τα οποία μπορούν να διασπάσουν το άμυλο *in vitro* χωρίς να μεσολαβήσει το στάδιο της υγροποίησης υπό υψηλή θερμοκρασία.

Στην παραγωγή αιθανόλης, μετά την ψύξη στους 90°C με 100°C, προστίθεται η θερμοσταθερή α-αμυλάση για τη διάσπαση του αμύλου σε μικρότερες υπομονάδες (υδρόλυση). Αυτό το στάδιο μειώνει σημαντικά το ιξώδες του πολτού και επιτρέπει την πιο αποτελεσματική υδρόλυση του αμύλου με επιπλέον ένζυμα. Ο πολτός στη συνέχεια ψύχεται στους 80°C με 90°C και προστίθεται γλυκοαμυλάση. Η γλυκοαμυλάση αφαιρεί διαδοχικά υπολείμματα γλυκόζης από τα μόρια του αμύλου.

Σε αναερόβιες συνθήκες (με έλλειψη οξυγόνου), οι ζύμες παράγουν αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα από τα σάκχαρα, με τη διεργασία της αλκοολικής ζύμωσης. Ο πολτός από τη σακχαροποίηση ψύχεται και προστίθεται η ζύμη. Η αλκοολική ζύμωση συνήθως λαμβάνει χώρα για χρονικό διάστημα 48 με 72 ωρών σε θερμοκρασίες 30°C με 35°C και έχει σαν αποτέλεσμα ένα αλκοολικό διάλυμα περιεκτικότητας 8% με 12% ανάλογα το αρχικό υπόστρωμα, την ποσότητα τη ζύμης που προστίθεται (δόση ζύμης) και το βαθμό της μόλυνσης από βακτήρια. Για την μεγιστοποίηση της απόδοσης και την ελαχιστοποίηση του κόστους υπάρχει μια μέγιστη αναλογία σίτου προς νερό. Επιπλέον οι συνθήκες καλλιέργειας της ζύμης είναι μεγάλης σημασίας για την μεγιστοποίηση της απόδοσης της ζύμωσης.

Η απόσταξη επιτρέπει την αύξηση της συγκέντρωσης της αλκοόλης, διαχωρίζοντας την αιθανόλη από το νερό και τις άλλες προσμίξεις. Στο επίπεδο της θάλασσας, το σημείο βρασμού της αιθανόλης είναι στους 78°C και του νερού στους 100°C. Επομένως ζεσταίνοντας το υγρό η αιθανόλη και το νερό μπορούν να διαχωριστούν και να πάρουμε διάλυμα με περιεκτικότητα 95% σε αζεοτροπική αιθανόλη και 5% σε νερό. Στη συνέχεια απαιτείται επιπλέον αφυδάτωση. Για την απορρόφηση του νερού χρησιμοποιούνται μοριακά κόσκινα, έτσι ώστε να παραχθεί η καθαρή και άνυδρη αιθανόλη.

Μετά τη ζύμωση και την απόσταξη, ο υπολειμματικός πολτός που ονομάζεται βινάσσα (whole stillage), διαχωρίζεται με φυγοκέντρηση ή με συμπίεση και εξώθηση σε υγρούς κόκκους που περιέχουν βαριά σωματίδια και σε λεπτή μάζα (thin stillage ) που περιέχει νερό και μικρά σωματίδια. Η λεπτή μάζα ξηραίνεται και δημιουργείται ένα σιρόπι το οποίο αναμιγνύεται στη συνέχεια με τους υγρούς κόκκους και αποξηραίνονται περαιτέρω για να δημιουργήσουν το DDGS.<sup>20</sup>



#### 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ, ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ, ΣΙΤΑΡΙ

##### 4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Στον 21ο αιώνα, ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής και η ενεργειακή ασφάλεια αποτελούν σημαντικές πλευρές της ενεργειακής πολιτικής. Η δυνατότητα να μειωθούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αντικαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα με καύσιμα που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές βιομάζας, αποτελεί τη σημαντική κινητήρια δύναμη για την προώθηση της βιοενέργειας. Το ισοζύγιο των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG balance) των συστημάτων βιοενέργειας θα έπρεπε να συγκριθεί με αυτό των ορυκτών καυσίμων και των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως της αιολικής και της ηλιακής για να ενισχυθούν οι αποφάσεις της ενεργειακής πολιτικής, της χρήσης γης και τη χρήση των πηγών βιομάζας.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων και υπηρεσιών. Περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες από «την κούνια στον τάφο» (from cradle-to-grave) της αλυσίδας εφοδιασμού του προϊόντος. Όταν αναλύονται ενεργειακά συστήματα λαμβάνονται υπόψη πρωτίστως οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (κυρίως των CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O). Χρησιμοποιώντας την ανάλυση κύκλου ζωής για να προσδιορίσουμε τα οφέλη της βιοενέργειας στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι εκπομπές του κύκλου ζωής του συστήματος της βιοενέργειας συγκρίνονται με τις εκπομπές ενός ενεργειακού συστήματος αναφοράς (π.χ. τη βενζίνη). Η επιλογή του ενεργειακού συστήματος αναφοράς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το αποτέλεσμα.

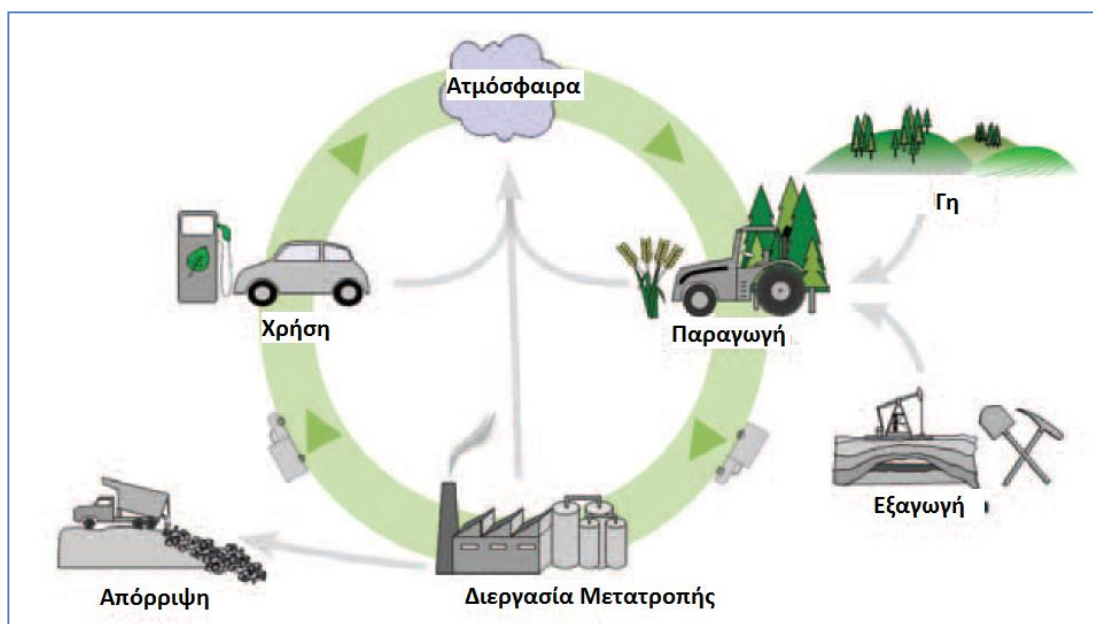
Κάνοντας ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, βρίσκει κανείς μεγάλες αποκλίσεις των ανά μονάδα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από μελέτες AKZ παρόμοιων συστημάτων βιοενέργειας. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε διαφορετικούς παράγοντες, όπως είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται, τα όρια του συστήματος και το σύστημα αναφοράς. Μερικές μελέτες μπορεί να είναι ατελείς όσον αφορά τις επιλογές που παρέχει το κάθε σύστημα βιοενέργειας και το κάθε σύστημα αναφοράς. Άλλες μπορεί να παραλείπουν μερικές πηγές εκπομπών (π.χ. της αλλαγής χρήσης γης).

Η ανάλυση κύκλου ζωής, που περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες, από την κατασκευή μέχρι την απόρριψη, χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων και διεργασιών. Πολλές μελέτες έλαβαν χώρα παγκοσμίως, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ανάλυσης κύκλου ζωής για να αναλύσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και το ενεργειακό ισοζύγιο πολλών συστημάτων βιοενέργειας, υποκινούμενες ίσως από την μεγάλη ποικιλία των διεργασιών για τη μετατροπή των πηγών βιομάζας σε βιοενέργεια για θέρμανση, ηλεκτρισμό ή μεταφορές και από την έντονη συζήτηση γύρω από το καθαρό όφελος της βιοενέργειας. Μελέτες AKZ έχουν επίσης δημοσιευτεί και για άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως την αιολική και την ηλιακή και για τα ορυκτά καύσιμα.

Το ισοζύγιο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και άλλα ενεργειακά συστήματα εξαρτώνται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, στοιχείων και υποθέσεων. Υπάρχουν πολυάριθμες πηγές βιομάζας, με διαφορετικές αποδόσεις και πρακτικές παραγωγής. Επίσης η ίδια βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές τεχνολογίες μετατροπής, διεργασίες μεταφοράς και διανομής και τεχνολογίες δεύτερης μεταποίησης. Για τους παραπάνω λόγους είναι πολύ σημαντικό οι συγκρίσεις AKZ να περιγράφουν ξεκάθαρα και το σύστημα που μελετάται (study system) και το

σύστημα με το οποίο αυτό συγκρίνεται (reference system). Και τα δύο συστήματα πρέπει να παρέχουν το ίδιο επίπεδο πληροφοριών και η ανάλυση πρέπει να συμπεριλαμβάνει όλες τις σχετικές πηγές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και καταναλώσεις ενέργειας. Διαφορετικά η ΑΚΖ μπορεί να συγκρίνει ανομοιογενή πράγματα καταλήγοντας σε παραπλανητικά αποτελέσματα.

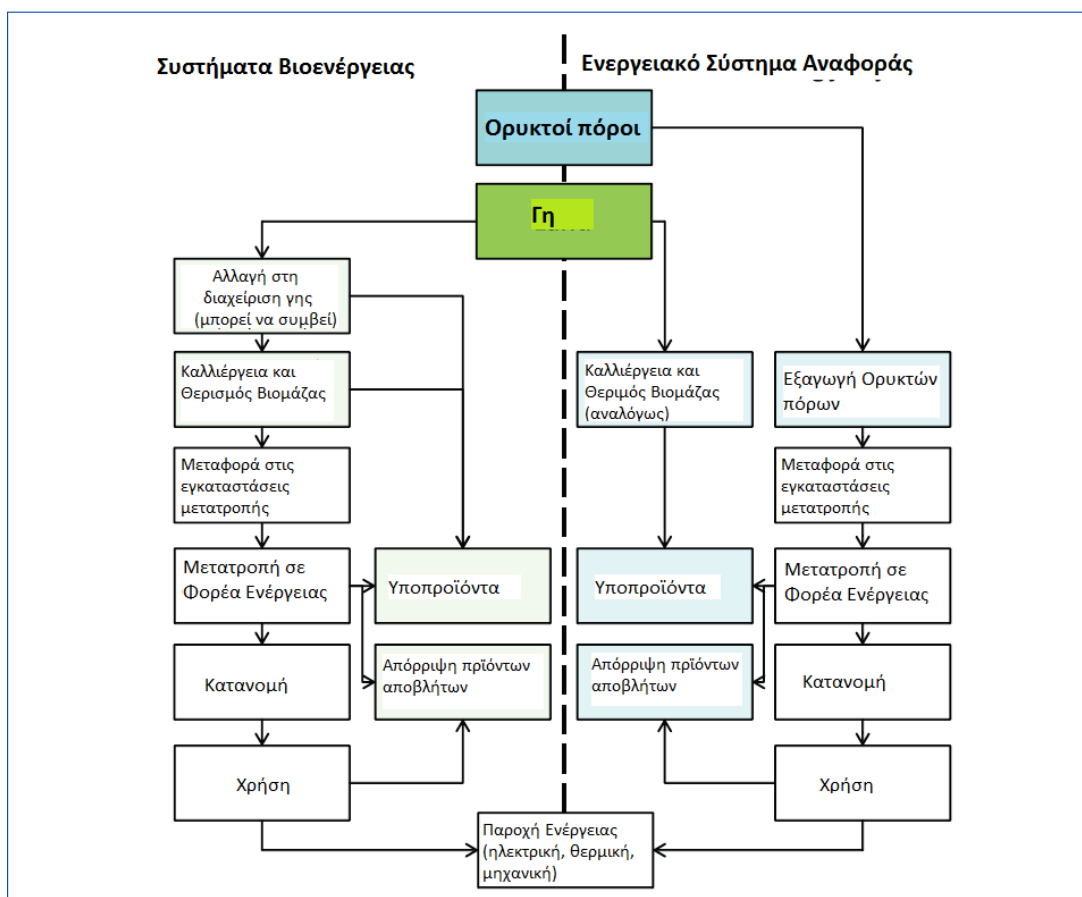
Η ΑΚΖ περιλαμβάνει την διερεύνηση και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός δεδομένου προϊόντος ή υπηρεσίας, σύμφωνα με την εισερχόμενη ενέργεια και ύλη και των εκπομπών που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Στην ΑΚΖ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις υπολογίζονται για όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Στο σχήμα 4.1 φαίνονται τα κύρια στάδια του κύκλου ζωής ενός βιοκαυσίμου από την εξαγωγή, τη διεργασία και τη μεταφορά του μέχρι τη χρήση και την απόρριψη του.



Σχήμα 4.1 Απλοποιημένη απεικόνιση των κύριων σταδίων του κύκλου ζωής ενός συστήματος βιοενέργειας. Ο πράσινος κύκλος αναπαριστά το κύκλο άνθρακα, τα γκρι βέλη τις εισροές και εκροές του συστήματος. Το απλοποιημένο διάγραμμα δεν επιχειρεί να δείξει όλες τις ροές άνθρακα.

Ένα πιο λεπτομερές διάγραμμα των σταδίων του κύκλου ζωής φαίνεται στο σχήμα 4.2. Σε αυτό το διάγραμμα, η εξαγωγή πρώτων υλών περιλαμβάνει δύο στάδια: την

αλλαγή της χρήσης γης ή την κατασκευή εγκαταστάσεων και την καλλιέργεια ή τη συλλογή των πρώτων υλών. Επιπλέον περιλαμβάνονται οι διεργασίες μεταφοράς της ακατέργαστης βιομάζας ή των ορυκτών πόρων στις εγκαταστάσεις μετατροπής και διανομής του επεξεργασμένου φορέα ενέργειας στον τελικό χρήστη. Το διάγραμμα είναι ακόμα πιο περίπλοκο επειδή συμπεριλαμβάνει και τα υποπροϊόντα. Τα υποπροϊόντα είναι αγαθά ή υπηρεσίες που παρέχονται από το σύστημα μαζί με το κύριο προϊόν ή υπηρεσία. Για παράδειγμα το DDGS είναι ένα υποπροϊόν της παραγωγής αιθανόλης, που χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Η απόρριψη των αποβλήτων από την διεργασία μετατροπής επίσης περιλαμβάνεται στην ΑΚΖ. Μερικά απόβλητα χρησιμοποιούνται και υποκαθιστούν άλλα προϊόντα, αποτυπώνοντας ότι «τα σκουπίδια ενός ανθρώπου είναι ο θησαυρός ενός άλλου».



Σχήμα 4.2 Στάδια κύκλου ζωής ενός τυπικού ενεργειακού συστήματος. Η κατασκευή και η αποξήλωση όλων των εγκαταστάσεων δεν συμπεριλαμβάνονται. Ωστόσο οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου πρέπει να συμπεριληφθούν.



Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO) έχει δημοσιεύσει μία σειρά από πρότυπα για την ΑΚΖ (ISO 14040, 14044). Όπως ορίζεται στο ISO 14040 μία τυπική μελέτη ΑΚΖ έχει την ακόλουθη δομή.

*1. Ορισμός σκοπού και πεδίου εφαρμογής (Goal and scope definition)*

Αυτό το στάδιο χρησιμοποιείται για να ορίσει και να περιγράψει το αντικείμενο της ανάλυσης, να καθορίσει το πλαίσιο στο οποίο αναπτύσσεται η αξιολόγηση, να εξετάσει την αξιοπιστία των υποθέσεων και των δεδομένων και να αναγνωρίσει τα όρια του συστήματος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πρέπει να αξιολογηθούν. Παρόλο που η ΑΚΖ αγαθών και υπηρεσιών εκτιμά μία σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι σύνηθες για τις μελέτες ΑΚΖ των ενεργειακών προϊόντων να εκτιμούν μόνο την υπερθέρμανση του πλανήτη και το ενεργειακό ισοζύγιο.

*2. Απογραφή στοιχείων κύκλου ζωής (Life cycle inventory, LCI)*

Το στάδιο αυτό συμπεριλαμβάνει τη συγκέντρωση όλων των στοιχείων που αφορούν σε ενέργεια, ροή ύλης και εκπομπές στο περιβάλλον σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. Το αποτέλεσμα της LCI είναι η απογραφή όλων των εισροών και εκροών από και προς το περιβάλλον, κατά τη διάρκεια όλων των διεργασιών που συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη, για παράδειγμα εισροές από λιπάσματα, εντομοκτόνα, ορυκτών καυσίμων και εκροές προϊόντων, αποβλήτων και εκπομπών στο περιβάλλον όπως σωματίδια και αέρια εκπομπών θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O).

### 3. Αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (*Life cycle impact assessment, LCIA*)

Στο στάδιο αυτό οι επιπτώσεις που συνδέονται με το υπό μελέτη σύστημα, αξιολογούνται ανάλογα με την κατηγορία των επιπτώσεων στην οποία ανήκουν. Για παράδειγμα οι επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη καθορίζονται αθροίζοντας όλες τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου, κάθε μία εκφρασμένη σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>-eq), το οποίο υπολογίζεται από τα σχετικά δυναμικά θέρμανσης του πλανήτη (global warming potentials, GWP). Περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων μπορούν να συνδυαστούν σταθμίζοντας τις για να πάρουμε μία συνολική αξιολόγηση επιπτώσεων.

### 4. Ερμηνεία (*Interpretation*)

Το τελευταίο στάδιο είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των προηγούμενων σταδίων σε σχέση με τους σκοπούς της μελέτης.<sup>24,25</sup>

#### 4.2. MONTELO GEMIS

Για την ανάλυση του κύκλου ζωής της βιοαιθανόλης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Gemis (Global Emission Model for Integrated Systems).

Το μοντέλο αυτό μπορεί να εκτελέσει ολοκληρωμένους υπολογισμούς ανάλυσης κύκλου ζωής για ποικίλες εκπομπές και μπορεί να προσδιορίσει την χρήση των ενεργειακών πόρων (CER, CEC, CMR, χρήση γης). Επιπλέον το μοντέλο αναλύει το κόστος, αφού τα αντίστοιχα δεδομένα καυσίμων όπως και τα κόστη από τις διεργασίες ενέργειας και μεταφοράς συμπεριλαμβάνονται στη βάση δεδομένων του.

Το GEMIS επιτρέπει επίσης την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της περιβαλλοντικής ανάλυσης και της ανάλυσης κόστους με τη συνάθροιση των εκπομπών σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub> equivalents), διοξειδίου του

θείου (SO<sub>2</sub> equivalents) και σε τροποσφαιρική πρόδρομη ουσία του όζοντος (tropospheric ozone precursor potential, TOPP), όπως επίσης και με τον υπολογισμό του εξωτερικού κόστους.

Στο GEMIS συμπεριλαμβάνονται τα πρότυπα εκπομπών, έτσι ώστε να γίνεται εύκολα ο έλεγχος συμμόρφωσης των διεργασιών καύσης με τα εθνικά και διεθνή πρότυπα εκπομπών και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα φίλτρα στη βάση δεδομένων. Επίσης η βάση δεδομένων του GEMIS προσφέρει πληροφορίες για φορείς ενέργειας (αλυσίδες διεργασιών και δεδομένα καυσίμων), όπως και για διαφορετικές τεχνολογίες θέρμανσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από τα ορυκτά καύσιμα (λιθάνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), καλύπτονται και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα οικιακά απορρίμματα, το ουράνιο, η βιομάζα και το υδρογόνο. Ακόμη στη βάση δεδομένων του μοντέλου περιλαμβάνονται δεδομένα για διάφορες αλυσίδες διεργασιών υλικών (κυρίως οικοδομικών υλικών) και για διεργασίες μεταφοράς, όπως για αυτοκίνητα (βενζίνη, πετρέλαιο ντίζελ, ηλεκτρικό ρεύμα, βιοκαύσιμα), μέσα μαζικής μεταφοράς (λεωφορεία και τρένα) και αεροπλάνα, καθώς επίσης και για μεταφορές εμπορευμάτων (φορτηγά, LDVs, τρένα, πλοία, μεταφορά με αγωγό).

Πρόσφατα προστέθηκαν διεργασίες για την επεξεργασία αποβλήτων και νομισματικές διεργασίες. Τα δεδομένα αφορούν σε πολλές διαφορετικές χώρες, καθώς και σε αναπτυσσόμενες χώρες (generic data).

Οι χρήστες μπορούν να προσαρμόζουν κάθε δεδομένο στις ανάγκες τους ή να χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων που καλύπτει περισσότερες από 8000 διεργασίες σε 20 χώρες.

Το GEMIS αποτελείται από πέντε κύρια παράθυρα, τα οποία επιτρέπουν την εύκολη πρόσβαση στη βάση δεδομένων του μοντέλου, τα οποία είναι τα Προϊόντα

(Products), οι Διεργασίες (Processes), τα Σενάρια (Scenarios), οι Αναφορές (References) και τα Πρότυπα (Standards).

- *Προϊόντα (Products)*

Τα Προϊόντα στο GEMIS αντιπροσωπεύουν τις εισροές και τις εκροές των διεργασιών. Σημαντικά προϊόντα είναι οι φορείς ενέργειας και τα υλικά που χρησιμεύουν στη σύνδεση των διεργασιών. Μία σημαντική υποκατηγορία των φορέων ενέργειας είναι τα καύσιμα (π.χ. άνθρακας, πετρέλαιο, βιοαέριο). Τα προϊόντα έχουν δεδομένα που χρειάζονται για τον υπολογισμό του κόστους και των εκπομπών. Οι φορείς ενέργειας και τα υλικά έχουν συγκεκριμένο κόστος (π.χ. τιμές), ενώ τα καύσιμα έχουν ένα κατάλογο βλαβερών ουσιών (τελική ανάλυση).

- *Διεργασίες (Processes)*

Μία διεργασία στο GEMIS αποτελεί μία συγκεκριμένη δραστηριότητα που μετατρέπει μία εισροή ενέργειας ή υλικού σε μία άλλη μορφή ενέργειας ή υλικού ως εκροή ή μία διεργασία μεταφοράς. Παραδείγματα διεργασιών είναι τα εξής:

- Εργοστάσια που μετατρέπουν καύσιμα (εισροή) σε ηλεκτρική ενέργεια (εκροή)
- Δωλίστήρια που μετατρέπουν ένα καύσιμο σε ένα άλλο
- Χαλυβουργεία που μετατρέπουν το χυτοσίδηρο (εισροή) σε χάλυβα (εκροή)
- Αυτοκίνητα που παρέχουν υπηρεσίες μεταφοράς ανθρώπων.

Μία διεργασία μπορεί να έχει δευτερογενείς εκροές όπως εκπομπές, υπολείμματα κ.λ.π. Ακόμη μπορεί να είναι απαραίτητες επιπλέον εισροές (βοηθητικές ενέργειες και υλικά), όπως επίσης και υλικά για τη δημιουργία της ίδιας της διεργασίας. Στο GEMIS πολλές διεργασίες μπορούν να συνδεθούν με έναν

«μείκτη» (mixer), όπως ονομάζεται, για να δημιουργήσουν από κοινού μια εκροή (προϊόν) (ο μείκτης υπολογίζει τα αντίστοιχα ποσοστά).

- *Σενάρια (Scenarios)*

Ένα σενάριο στο GEMIS είναι μία επιλογή διεργασιών (τουλάχιστον μίας), οι οποίες δημιουργούν μια συγκεκριμένη ανάγκη για ενέργεια, υλικά όπως επίσης και για υπηρεσίες μεταφορών (ανθρώπων, εμπορευμάτων) και εάν χρειάζεται για επεξεργασία αποβλήτων. Κάθε δυνατός συνδυασμός διεργασιών αποτελεί μια επιλογή σεναρίου. Εάν ένα σενάριο υλοποιηθεί, το GEMIS θα υπολογίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το κόστος των διαφορετικών επιλογών σεναρίων, θα εμφανίσει τα αποτελέσματα σε πίνακες και διαγράμματα, θα τα συγκρίνει και θα τα διαχωρίσει.

Σε περίπτωση καθαρά ενεργειακών σεναρίων η ζήτηση μπορεί να περιλαμβάνει επίσης την ανάγκη σε ισχύ (ηλεκτρική και θερμική) και μπορούν να προστεθούν οι διεργασίες παροχής ενέργειας, ο χρόνος λειτουργίας των οποίων μπορεί να καθοριστεί ανεξάρτητα. Επιπλέον στα ενεργειακά σενάρια μπορούν να συμπεριληφθούν και τα συστήματα διανομής (ηλεκτρικής ισχύος ή δίκτυο τηλεθέρμανσης). Η ζήτηση αυξάνεται αυτόματα με τις απώλειες μεταφοράς εάν δίνεται το μήκος μεταφοράς.

- *Αναφορές (References)*

Αναφορά στο GEMIS είναι μία εγγραφή δεδομένων που περιέχει πληροφορίες για τις πηγές δεδομένων (εκθέσεις, μελέτες, μετρήσεις, προσωπικές επικοινωνίες κ.λ.π.). Μία αναφορά αποτελείται από ένα όνομα (π.χ. συγγραφέας και έτος) και ένα κείμενο που περιγράφει την αναφορά με λεπτομέρειες, π.χ. ολόκληρος ο τίτλος (παραπομπή σε βιβλιογραφία) ή λεπτομέρειες των εκθέσεων κ.λ.π. Οι αναφορές μπορούν να συνδεθούν με όλες τις εγγραφές δεδομένων στο GEMIS

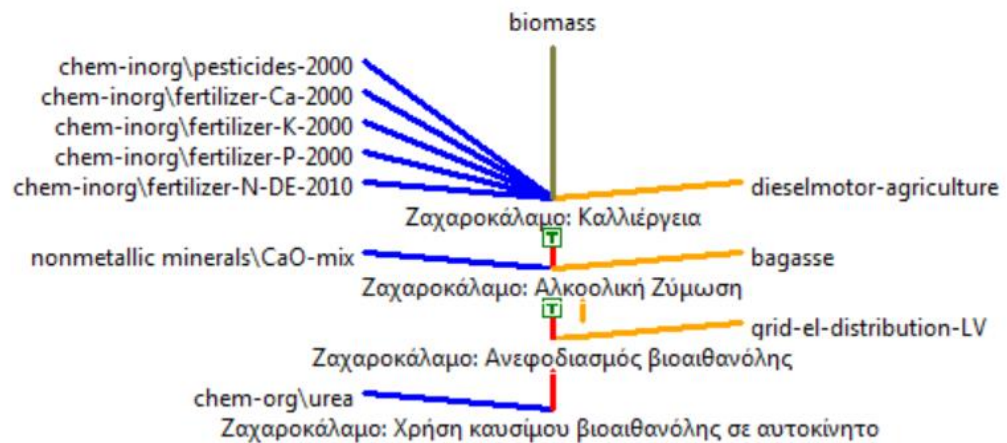
(προϊόντα, διεργασίες, σενάρια, πρότυπα, κόστος, δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη, εξωτερικό κόστος).

- *Πρότυπα (Standards)*

Τα πρότυπα στο GEMIS είναι κανόνες για τα νόμιμα όρια εκπομπών σύμφωνα με τα οποία το πρόγραμμα μπορεί να ελέγξει εάν οι διεργασίες καύσεις συμμορφώνονται.<sup>26,27</sup>

#### 4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ

Στο σχήμα 4.3. φαίνεται το διάγραμμα διεργασιών ανάλυσης κύκλου ζωής της βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο.



Σχήμα 4.3. Διάγραμμα Διεργασιών AKZ βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο

##### 4.3.1. Διεργασία Καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου

Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου είναι τα εξής:

Περιοχή	10.000	m <sup>2</sup>
Απόδοση (ενέργεια)	168.315	kWh/y
Απόδοση (μάζα)	68.700	kg/y
Απόδοση (επί ξηρού)	41.220	kg/y
Χρόνος ζωής	20	y

Πίνακας 4.3.1 Χαρακτηριστικά διεργασίας καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου

Τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται κατά τη καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου φαίνονται στον πίνακα 4.3.2.

Βοηθητικά υλικά	Ποσότητα [kg/kWh]
Λίπασμα N	4,46E-04
Λίπασμα P	3,42E-04
Λίπασμα K	7,13E-04
Λίπασμα Ca	1,31E-02
Φυτοφάρμακα	0
Σύνολο	1,46E-02

Πίνακας 4.3.2 Βοηθητικά υλικά διεργασίας καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου είναι 6,63921 E-3 kWh/kWh. Η βοηθητική αυτή ενέργεια καταναλώνεται σε διάφορες αγροτικές εργασίες όπως σπορά, συγκομιδή, χρήση λιπασμάτων κατά τις οποίες χρησιμοποιείται καύσιμο ντίζελ.

Το κόστος της διεργασίας της καλλιέργειας φαίνεται στον πίνακα 4.3.3.

Κόστος Επένδυσης	7.709,63	€	401,25	€/kW
Κόστος Κεφαλαίου	785,24	€/γ	4,67E-03	€/kWh
Σταθερό Κόστος	102,8	€/γ	6,11E-08	€/kWh
Μεταβλητό Κόστος	324,17	€/γ	1,93E-03	€/kWh
Άθροισμα	1.212,21	€/γ	7,20E-03	€/kWh

Πίνακας 4.3.3 Κόστος διεργασίας καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου  
Οι άμεσες εκπομπές της διεργασίας καλλιέργειας φαίνονται στον πίνακα 4.3.4.

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	10,958*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	199,15*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh
Ισοδύναμο TOPP	416,98*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh
NO <sub>x</sub>	84,559*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh
Σωματίδια	128,21*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh
CO	2,8423*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
NH <sub>3</sub>	74,585*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh
CH <sub>4</sub>	83,415*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh
N <sub>2</sub> O	29,774*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh

Πίνακας 4.3.4. Άμεσες εκπομπές της διεργασίας καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου

Οι συνολικές εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων και των προηγούμενων σταδίων της διεργασίας καλλιέργειας (upstream processes) φαίνονται στον πίνακα 4.3.5 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.3.6.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	254,30*10 <sup>-6</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	480,92*10 <sup>-6</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	16,940*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	130,90*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	290,00*10 <sup>-9</sup>	kg
HF	9,1688*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	146,18*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	2,8905*10 <sup>-3</sup>	kg
NM VOC	1,9477*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	30,93*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	77,600*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	32,13*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	21,69*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	29,91*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	24,87*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	468,3*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	1,478*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	132,6*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	1,125*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.3.5 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	21,978*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	8,6326*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	93,455*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	36,941*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	40,66*10 <sup>-12</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	5,112*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.3.6 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου

Η διεργασία καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου έχει ως προϊόν το ζαχαροκάλαμο, του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 4.3.7



Ειδικό Βάρος	408,16*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	402,003*10 <sup>3</sup>	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής SO <sub>2</sub>	48,929793	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής HCl	302,23283	g/MWh
Κατώτερη θερμαντική αξία (LHV)	8,82	MJ/kg
Υψηλή θερμαντική αξία (HHV)	10,54225	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	26,88	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	3,21	%
Περιεκτικότητα σε άζωτο	228,00*10 <sup>-3</sup>	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	23,73	%
Περιεκτικότητα σε θείο	6,0000*10 <sup>-3</sup>	%
Περιεκτικότητα σε χλώριο	72,000*10 <sup>-3</sup>	%
Περιεκτικότητα σε νερό	40	%
Περιεκτικότητα τέφρα	5,874	%

Πίνακας 4.3.7 Χαρακτηριστικά ζαχαροκάλαμου

Θεωρούμε ότι το ζαχαροκάλαμο δεν αποθηκεύεται, για να αποφευχθούν οι απώλειες σακχαρόζης και μεταφέρεται άμεσα στις εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης.

#### 4.3.2. Διεργασία μεταφοράς ζαχαροκάλαμου

Το ζαχαροκάλαμο μεταφέρεται από τις εκτάσεις όπου καλλιεργείται στις εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης με αγροτικό φορτηγό σε απόσταση 50 χλμ., το οποίο χρησιμοποιεί καύσιμο ντίζελ. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 4.3.8:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντίζελ	12,154612	MJ/km
	33,916849	l/100 km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	40.000	km/y
Χρόνος ζωής	30	y
Βάρος	5,6	t

Πίνακας 4.3.8 Χαρακτηριστικά φορτηγού μεταφοράς ζαχαροκάλαμου

Οι άμεσες εκπομπές από τη μεταφορά του ζαχαροκάλαμου φαίνονται στον πίνακα

4.3.9.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	7,4716*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	908,67*10 <sup>-3</sup>	kg/km
SO <sub>2</sub>	2,2769*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NO <sub>x</sub>	7,4610*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Σωματίδια	1,9110*10 <sup>-3</sup>	kg/km
CO	3,0250*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NM VOC	1,5120*10 <sup>-3</sup>	kg/km
CO <sub>2</sub>	898,80*10 <sup>-3</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	37,000*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	30,000*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.3.9 Άμεσες εκπομπές διεργασίας μεταφοράς ζαχαροκάλαμου

#### 4.3.3. Διεργασία Αλκοολικής ζύμωσης ζαχαροκάλαμου

Στο στάδιο αυτό έχουν συνυπολογιστεί όλα τα στάδια επεξεργασίας του ζαχαροκάλαμου για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Τα χαρακτηριστικά της μονάδας επεξεργασίας του ζαχαροκάλαμου είναι τα εξής:

Ισχύς	150	MW
Χρόνος λειτουργίας	8.300	h/y
Χρόνος ζωής	15	y
Απόδοση	21,9	%

Πίνακας 4.3.10 Χαρακτηριστικά διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης ζαχαροκάλαμου

Η βοηθητική ενέργεια που καταναλώνεται κατά την αλκοολική ζύμωση του ζαχαροκάλαμου είναι 6 E-2 kWh/kWh και προέρχεται από ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας που χρησιμοποιεί μόνο υπολείμματα ζαχαροκάλαμου (bagasse) σαν πηγή ενέργειας. Επομένως η διεργασία αυτοτροφοδοτείται.

Κατά τη χημική επεξεργασία του ζαχαροκάλαμου χρησιμοποιείται ως βοηθητικό υλικό άσβεστος (CaO) σε ποσότητα 1,88 E -8 kg/kWh

Το κόστος της διεργασίας της αλκοολικής ζύμωσης φαίνεται στον πίνακα 4.3.11.

Κόστος Επένδυσης	50,5575*10 <sup>6</sup>	€	337,05	€/kWh
Κόστος Κεφαλαίου	5,90661*10 <sup>6</sup>	€/γ	4,7443*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Σταθερό Κόστος	1,26394*10 <sup>6</sup>	€/γ	1,0152*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Κόστος Μεταφοράς	1,41457*10 <sup>6</sup>	€/γ	1,1362*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Κόστος Καυσίμου	40,9432*10 <sup>6</sup>	€/γ	32,886*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Άθροισμα	49,5283*10 <sup>6</sup>	€/γ	39,782*10 <sup>-3</sup>	€/kWh

Πίνακας 4.3.11 Κόστος διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης ζαχαροκάλαμου  
Οι συνολικές εκπομπές φαίνονται στον πίνακα 4.3.12 και των αερίων  
θερμοκηπίου στον πίνακα 4.3.13

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	1,5517*10 <sup>-3</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	2,6638*10 <sup>-3</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	218,73*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	1,0043*10 <sup>-3</sup>	kg
HCl	1,6628*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	81,293*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	753,01*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	12,597*10 <sup>-3</sup>	kg
NMVOOC	46,949*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	44,825*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	336,06*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	146,1*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	98,18*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	162,4*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	118,0*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	2,0625*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	6,424*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	780,0*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	5,198*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.3.12 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης  
ζαχαροκάλαμου

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	114,25*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	55,490*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	424,08*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	161,59*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	196,4*10 <sup>-12</sup>	kg

Υπερφθοροαιθάνιο	24,71*10 <sup>-12</sup>	kg
------------------	-------------------------	----

Πίνακας 4.3.13 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης ζαχαροκάλαμου

Η διεργασία αλκοολικής ζύμωσης ζαχαροκάλαμου έχει ως κύριο προϊόν τη βιοαιθανόλη, της οποίας τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 4.3.14

Ειδικό Βάρος	134,33*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	256,678*10 <sup>3</sup>	g/MWh
Κατώτερη θερμοαντική αξία (LHV)	26,8	MJ/kg
Υψηλή θερμοαντική αξία (HHV)	29,74875	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	52,15	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	13,1	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	34,7	%
Περιεκτικότητα σε νερό	0,05	%

Πίνακας 4.3.14 Χαρακτηριστικά βιοαιθανόλης

Υποπροϊόν της διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης του ζαχαροκάλαμου είναι ένα ποσό πλεονάσματος ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, το οποίο τροφοδοτείται από τη βαγιάση που παράγεται από την ίδια διεργασία. Το ποσό αυτό είναι 5,44 E-2 kWh/kWh.

#### 4.3.4. Διεργασία μεταφοράς βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη μεταφέρεται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής της στο σταθμό ανεφοδιασμού με φορτηγό σε απόσταση 100 χλμ. Το φορτηγό χρησιμοποιεί καύσιμο ντίζελ και τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 4.3.15:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντιζελ	10,576103	MJ/km
	29,675912	l/100 km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	60,1453*10 <sup>3</sup>	km/y

Χρόνος ζωής	7,9	y
Βάρος	9,8018	t

Πίνακας 4.3.15 Χαρακτηριστικά φορτηγού μεταφοράς βιοαιθανόλης

Οι άμεσες εκπομπές από τη μεταφορά της βιοαιθανόλης φαίνονται στον πίνακα

4.3.16.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	3,5799*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	725,09*10 <sup>-3</sup>	kg/km
SO <sub>2</sub>	19,827*10 <sup>-6</sup>	kg/km
NO <sub>x</sub>	5,1133*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Σωματίδια	85,745*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO	1,1820*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NM <sub>VOC</sub>	383,00*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO <sub>2</sub>	722,74*10 <sup>-3</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	9,4181*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	7,0930*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.3.16 Άμεσες εκπομπές διεργασίας μεταφοράς βιοαιθανόλης

#### 4.3.5. Διεργασία Ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Τα χαρακτηριστικά του σταθμού ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης είναι τα εξής:

Ισχύς	1	MW
Χρόνος λειτουργίας	5.000	h/y
Χρόνος ζωής	20	y
Απόδοση	21,9	%

Πίνακας 4.3.17 Χαρακτηριστικά διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Το κόστος της διεργασίας φαίνεται στον πίνακα 4.3.18

Κόστος Μεταφοράς	4,41308*10 <sup>3</sup>	€/y	882,62*10 <sup>-6</sup>	€/kWh
Κόστος Καυσίμου	198,909*10 <sup>3</sup>	€/y	39,782*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Άθροισμα	203,322*10 <sup>3</sup>	€/y	40,664*10 <sup>-3</sup>	€/kWh

Πίνακας 4.3.18 Κόστος διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Οι άμεσες εκπομπές από τη διεργασία φαίνονται στον πίνακα 4.3.19

Ισοδύναμο TOPP	$478,80 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh
NMVOG	$478,80 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh

Πίνακας 4.3.19 Άμεσες εκπομπές διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Οι συνολικές εκπομπές φαίνονται στον πίνακα 4.3.20 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.3.21

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	$1,5584 \cdot 10^{-3}$	kg
Ισοδύναμο TOPP	$3,1531 \cdot 10^{-3}$	kg
SO <sub>2</sub>	$219,50 \cdot 10^{-6}$	kg
NO <sub>x</sub>	$1,0120 \cdot 10^{-3}$	kg
HCl	$1,6777 \cdot 10^{-6}$	kg
HF	$85,512 \cdot 10^{-9}$	kg
Σωματίδια	$753,37 \cdot 10^{-6}$	kg
CO	$12,600 \cdot 10^{-3}$	kg
NMVOG	$526,48 \cdot 10^{-6}$	kg
H <sub>2</sub> S	$44,829 \cdot 10^{-9}$	kg
NH <sub>3</sub>	$336,32 \cdot 10^{-6}$	kg
As (air)	$156,3 \cdot 10^{-12}$	kg
Cd (air)	$118,6 \cdot 10^{-12}$	kg
Cr (air)	$181,1 \cdot 10^{-12}$	kg
Hg (air)	$122,9 \cdot 10^{-12}$	kg
Ni (air)	$2,4577 \cdot 10^{-9}$	kg
PAH (air)	$6,457 \cdot 10^{-12}$	kg
Pb (air)	$867,5 \cdot 10^{-12}$	kg
PCDD/F (air)	$5,316 \cdot 10^{-15}$	kg

Πίνακας: 4.3.20 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	$115,61 \cdot 10^{-3}$	kg
CO <sub>2</sub>	$56,786 \cdot 10^{-3}$	kg
CH <sub>4</sub>	$425,03 \cdot 10^{-6}$	kg

N <sub>2</sub> O	161,69*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	1,7290*10 <sup>-9</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	218,4*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.3.21 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Η βοηθητική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διεργασία ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης είναι 1 E-4 kWh/kWh.

#### 4.3.6. Διεργασία Χρήσης βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Το αυτοκίνητο που καταναλώνει βιοαιθανόλη ως καύσιμο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντιζελ	1	MJ/km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	11,2911*10 <sup>3</sup>	km/y
Χρόνος ζωής	14,72	y
Χωρητικότητα	1	άνθρωπος

Πίνακας 4.3.22 Χαρακτηριστικά αυτοκινήτου

Το κόστος της διεργασίας φαίνεται στον πίνακα 4.23

Κόστος Καυσίμου	127,54054	€/y	11,296*10 <sup>-3</sup>	€/ km
Άθροισμα	127,54054	€/y	11,296*10 <sup>-3</sup>	€/ km

Πίνακας 4.3.23 Κόστος χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Οι άμεσες εκπομπές από τη χρήση της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο φαίνονται στον πίνακα 4.3.24

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	26,697*10 <sup>-6</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	489,53*10 <sup>-6</sup>	kg/km

NO <sub>x</sub>	38,345*10 <sup>-6</sup>	kg/km
Σωματίδια	100,0*10 <sup>-12</sup>	kg/km
CO	1,1685*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NMVOOC	68,640*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	4,1718*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	1,2927*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.3.24 Άμεσες εκπομπές χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο.

Οι συνολικές εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων και των προηγούμενων σταδίων, της χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο φαίνονται στον πίνακα 4.3.25 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.3.26.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	459,57*10 <sup>-6</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	1,1199*10 <sup>-3</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	60,967*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	319,46*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	465,92*10 <sup>-9</sup>	kg
HF	23,741*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	209,27*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	4,6684*10 <sup>-3</sup>	kg
NMVOOC	214,89*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	12,453*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	93,422*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	43,42*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	32,95*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	50,32*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	34,15*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	682,7*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	1,794*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	241,0*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	1,477*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.3.25 Συνολικές εκπομπές χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	32,603*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	15,773*10 <sup>-3</sup>	kg

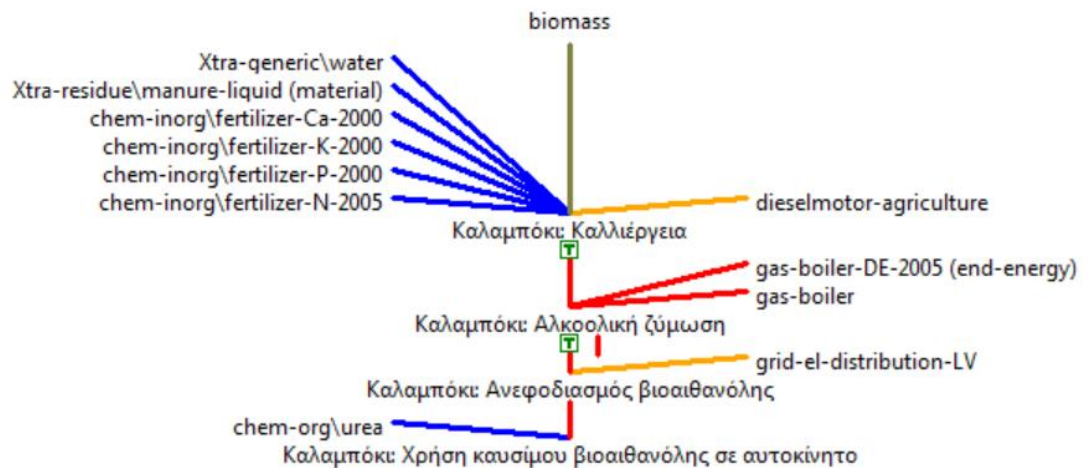


CH <sub>4</sub>	122,23*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	46,208*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	480,3*10 <sup>-12</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	60,65*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.3.26 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

#### 4.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ

Στο σχήμα 4.4 φαίνεται το διάγραμμα διεργασιών ανάλυσης κύκλου ζωής της βιοαιθανόλης από καλαμπόκι.



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα Διεργασιών ΑΚΖ βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο

##### 4.4.1. Διεργασία Καλλιέργειας καλαμποκιού

Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας καλαμποκιού είναι τα εξής:

Περιοχή	10.000	m <sup>2</sup>
Απόδοση (ενέργεια)	43.500	kWh/y
Απόδοση (μάζα)	9.000	kg/y
Απόδοση (επί ξηρού)	7.500	kg/y
Χρόνος ζωής	1	y

Πίνακας 4.4.1 Χαρακτηριστικά διεργασίας καλλιέργειας καλαμποκιού

Τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται κατά τη καλλιέργεια καλαμποκιού φαίνονται στον πίνακα 4.4.2.

Βοηθητικά υλικά	Ποσότητα [kg/kWh]
Λίπασμα N	3,17E-03
Λίπασμα P	1,28E-03
Λίπασμα K	9,93E-04
Λίπασμα Ca	7,49E-03
Υγρή κοπριά	4,94E-03
Νερό	1,33E-05
Σύνολο	1,79E-02

Πίνακας 4.4.2 Βοηθητικά υλικά διεργασίας καλλιέργειας καλαμποκιού

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την καλλιέργεια καλαμποκιού είναι 3,12093 E-3 kWh/kWh. Η βοηθητική αυτή ενέργεια καταναλώνεται σε διάφορες αγροτικές εργασίες όπως σπορά, συγκομιδή, χρήση λιπασμάτων κατά τις οποίες χρησιμοποιείται καύσιμο ντίζελ.

Το κόστος της διεργασίας της καλλιέργειας είναι  $27,526 \cdot 10^{-3}$  €/kWh

Οι άμεσες εκπομπές της διεργασίας καλλιέργειας φαίνονται στον πίνακα 4.4.3.

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	$63,451 \cdot 10^{-3}$	kg/kWh
Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	$3,0755 \cdot 10^{-3}$	kg/kWh
Ισοδύναμο TOPP	$148,38 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh
NO <sub>x</sub>	$121,62 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh
NH <sub>3</sub>	$1,5902 \cdot 10^{-3}$	kg/kWh
N <sub>2</sub> O	$212,92 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh

Πίνακας 4.4.3. Άμεσες εκπομπές της διεργασίας καλλιέργειας καλαμποκιού

Οι συνολικές εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων και των προηγούμενων σταδίων της διεργασίας καλλιέργειας (upstream processes) φαίνονται στον πίνακα 4.4.4 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.4.5.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	3,2057*10 <sup>-3</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	256,46*10 <sup>-6</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	32,733*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	203,61*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	447,64*10 <sup>-9</sup>	kg
HF	8,5204*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	19,647*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	39,053*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOC	3,3664*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	114,0*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	1,6114*10 <sup>-3</sup>	kg
As (air)	58,66*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	68,02*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	66,35*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	36,37*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	1,4016*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	3,758*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	289,7*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	4,591*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.4.4 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας καλλιέργειας καλαμποκιού

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	93,723*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	15,180*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	28,036*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	261,21*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	79,34*10 <sup>-12</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	9,971*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.4.5 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας καλλιέργειας καλαμποκιού

Η διεργασία καλλιέργειας καλαμποκιού έχει ως προϊόν το καλαμπόκι, του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 4.4.6

Ειδικό Βάρος	206,90*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	347,371*10 <sup>3</sup>	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής SO <sub>2</sub>	330,69791	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής HCl	17,022309	g/MWh
Κατώτερη θερμαντική αξία (LHV)	17,4	MJ/kg
Υψηλή θερμαντική αξία (HHV)	18,94175	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	45,822	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	5	%
Περιεκτικότητα σε άζωτο	2,5	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	27,42	%
Περιεκτικότητα σε θείο	0,08	%
Περιεκτικότητα σε χλώριο	0,008	%
Περιεκτικότητα σε νερό	16,67	%
Περιεκτικότητα τέφρα	2,5	%

Πίνακας 4.4.6 Χαρακτηριστικά καλαμποκιού

Θεωρούμε ότι το καλαμπόκι δεν αποθηκεύεται και μεταφέρεται άμεσα στις εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης.

#### 4.4.2. Διεργασία μεταφοράς καλαμποκιού

Το καλαμπόκι μεταφέρεται από τις εκτάσεις όπου καλλιεργείται στις εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης με φορτηγό σε απόσταση 100 χλμ., το οποίο χρησιμοποιεί καύσιμο ντίζελ. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 4.4.7:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντίζελ	10,409059	MJ/km
	29,088584	l/100 km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	48,1307*10 <sup>3</sup>	km/y
Χρόνος ζωής	7,9	y
Βάρος	9,3729	t

Πίνακας 4.4.7 Χαρακτηριστικά φορτηγού μεταφοράς καλαμποκιού

Οι άμεσες εκπομπές από τη μεταφορά του καλαμποκιού φαίνονται στον πίνακα

#### 4.4.8

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	6,3267*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	777,22*10 <sup>-3</sup>	kg/km
SO <sub>2</sub>	805,52*10 <sup>-6</sup>	kg/km
NO <sub>x</sub>	7,9299*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Σωματίδια	166,22*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO	1,4260*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NMVOOC	376,55*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO <sub>2</sub>	774,39*10 <sup>-3</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	9,2595*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	8,7147*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.4.8 Άμεσες εκπομπές διεργασίας μεταφοράς καλαμποκιού

#### 4.4.3. Διεργασία Αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού

Στο στάδιο αυτό έχουν συνυπολογιστεί όλα τα στάδια επεξεργασίας του καλαμποκιού για την παραγωγή βιοαιθανόλης (διεργασία ξηρής άλεσης).

Τα χαρακτηριστικά της μονάδας επεξεργασίας του καλαμποκιού είναι τα εξής:

Ισχύς	96,26	MW
Χρόνος λειτουργίας	8.300	h/y
Χρόνος ζωής	15	γ
Απασχόληση	20	Άτομα
Απόδοση	58	%

Πίνακας 4.4.9 Χαρακτηριστικά διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού

Η βοηθητική (θερμική) ενέργεια που καταναλώνεται κατά την αλκοολική ζύμωση του καλαμποκιού είναι 5,67 E-1 kWh/kWh.

Το κόστος της διεργασίας της αλκοολικής ζύμωσης φαίνεται στον πίνακα 4.4.10.

Κόστος Επένδυσης	82,7333*10 <sup>6</sup>	€	859,4775	€/kW
------------------	-------------------------	---	----------	------

Κόστος Κεφαλαίου	9,66569*10 <sup>6</sup>	€/γ	12,098*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Σταθερό Κόστος	2,05481*10 <sup>6</sup>	€/γ	2,5719*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Κόστος Μεταφοράς	1,92457*10 <sup>6</sup>	€/γ	2,4088*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Μεταβλητό Κόστος	2,42360*10 <sup>6</sup>	€/γ	3,0335*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Κόστος καυσίμου	37,9171*10 <sup>6</sup>	€/γ	47,458*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Άθροισμα	53,9858*10 <sup>6</sup>	€/γ	67,570*10 <sup>-3</sup>	€/kWh

Πίνακας 4.4.10 Κόστος διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού

Οι συνολικές εκπομπές φαίνονται στον πίνακα 4.4.11 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.4.12

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	3,1520*10 <sup>-3</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	395,81*10 <sup>-6</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	36,136*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	305,04*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	515,09*10 <sup>-9</sup>	kg
HF	20,661*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	20,872*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	92,469*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOC	10,443*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	981,2*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	1,5435*10 <sup>-3</sup>	kg
As (air)	91,72*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	108,6*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	176,1*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	70,20*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	2,0713*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	3,650*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	932,7*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	5,398*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.4.11 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	166,01*10 <sup>-3</sup>	kg
---------------------------	-------------------------	----

CO <sub>2</sub>	85,572*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	217,26*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	251,61*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	2,9773*10 <sup>-9</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	374,2*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.4.12 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού

Η διεργασία αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού έχει ως κύριο προϊόν τη βιοαιθανόλη, της οποίας τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 4.4.13.

Ειδικό Βάρος	134,33*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	256,678*10 <sup>3</sup>	g/MWh
Κατώτερη θερμοαντική αξία (LHV)	26,8	MJ/kg
Υψηλή θερμοαντική αξία (HHV)	29,74875	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	52,15	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	13,1	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	34,7	%
Περιεκτικότητα σε νερό	0,05	%

Πίνακας 4.4.13 Χαρακτηριστικά βιοαιθανόλης

Υποπροϊόν της διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης του καλαμποκιού το DDGS σε ποσότητα 8 E-1 kWh/kWh, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον πίνακα 4.4.14.

Ειδικό Βάρος	164,84*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	317,930*10 <sup>3</sup>	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής SO <sub>2</sub>	296,40163	g/MWh
Κατώτερη θερμαντική αξία (LHV)	21,84	MJ/kg
Υψηλή θερμαντική αξία (HHV)	23,569	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	52,64	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	6,24	%
Περιεκτικότητα σε άζωτο	3,43	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	20,7	%
Περιεκτικότητα σε θείο	0,09	%
Περιεκτικότητα σε νερό	13	%
Περιεκτικότητα τέφρα	3,9	%

Πίνακας 4.4.14 Χαρακτηριστικά DDGS

#### 4.4.4. Διεργασία μεταφοράς βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη μεταφέρεται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής της στο σταθμό ανεφοδιασμού με φορτηγό σε απόσταση 100 χλμ. Το φορτηγό χρησιμοποιεί καύσιμο ντίζελ και τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 4.4.15:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντίζελ	10,409059	MJ/km
	29,088584	l/100 km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	48,1307*10 <sup>3</sup>	km/y
Χρόνος ζωής	7,9	y
Βάρος	9,3729	t

Πίνακας 4.4.15 Χαρακτηριστικά φορτηγού μεταφοράς βιοαιθανόλης

Οι άμεσες εκπομπές από τη μεταφορά της βιοαιθανόλης φαίνονται στον πίνακα 4.4.16



Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	6,3267*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	777,22*10 <sup>-3</sup>	kg/km
SO <sub>2</sub>	805,52*10 <sup>-6</sup>	kg/km
NO <sub>x</sub>	7,9299*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Σωματίδια	166,22*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO	1,4260*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NM <sub>VO</sub> C	376,55*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO <sub>2</sub>	774,39*10 <sup>-3</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	9,2595*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	8,7147*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.4.16 Άμεσες εκπομπές διεργασίας μεταφοράς βιοαιθανόλης

#### 4.4.5. Διεργασία Ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Τα χαρακτηριστικά του σταθμού ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης είναι τα εξής:

Ισχύς	1	MW
Χρόνος λειτουργίας	5.000	h/γ
Χρόνος ζωής	20	γ
Απόδοση	100	%

Πίνακας 4.4.17 Χαρακτηριστικά διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Το κόστος της διεργασίας φαίνεται στον πίνακα 4.4.18

Κόστος Μεταφοράς	4,53547*10 <sup>3</sup>	€/γ	907,09*10 <sup>-6</sup>	€/kWh
Κόστος Καυσίμου	337,851*10 <sup>3</sup>	€/γ	67,570*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Άθροισμα	342,387*10 <sup>3</sup>	€/γ	68,477*10 <sup>-3</sup>	€/kWh

Πίνακας 4.4.18 Κόστος διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Οι άμεσες εκπομπές από τη διεργασία φαίνονται στον πίνακα 4.4.19

Ισοδύναμο TOPP	478,80*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh
NM <sub>VO</sub> C	478,80*10 <sup>-6</sup>	kg/kWh

Πίνακας 4.4.19 Άμεσες εκπομπές διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Οι συνολικές εκπομπές φαίνονται στον πίνακα 4.4.20 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.4.21.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	3,1627*10 <sup>-3</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	890,67*10 <sup>-6</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	38,303*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	317,14*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	531,66*10 <sup>-9</sup>	kg
HF	25,867*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	21,378*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	96,060*10 <sup>-6</sup>	kg
NM VOC	490,14*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	983,2*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	1,5435*10 <sup>-3</sup>	kg
As (air)	103,5*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	131,3*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	197,8*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	75,83*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	2,5121*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	3,684*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	1,0372*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	5,537*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.4.20 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	167,50*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	87,014*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	218,13*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	251,63*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	4,9419*10 <sup>-9</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	621,1*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.4.21 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Η βοηθητική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διεργασία ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης είναι 1 E-4 kWh/kWh.

#### 4.4.6. Διεργασία Χρήσης βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Το αυτοκίνητο που καταναλώνει βιοαιθανόλη ως καύσιμο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντιζελ	1	MJ/km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	11,2911*10 <sup>3</sup>	km/y
Χρόνος ζωής	14,72	y
Χωρητικότητα	1	άνθρωπος

Πίνακας 4.4.22 Χαρακτηριστικά αυτοκινήτου

Το κόστος της διεργασίας φαίνεται στον πίνακα 4.4.23

Κόστος Καυσίμου	214,7737	€/y	19,021*10 <sup>-3</sup>	€/ km
Άθροισμα	214,7737	€/y	19,021*10 <sup>-3</sup>	€/ km

Πίνακας 4.4.23 Κόστος χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Οι άμεσες εκπομπές από τη χρήση της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο φαίνονται στον πίνακα 4.4.24

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	26,697*10 <sup>-6</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	489,53*10 <sup>-6</sup>	kg/km
NO <sub>x</sub>	38,345*10 <sup>-6</sup>	kg/km
Σωματίδια	100,0*10 <sup>-12</sup>	kg/km
CO	1,1685*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NM <sub>VOC</sub>	68,640*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	4,1718*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	1,2927*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.4.24 Άμεσες εκπομπές χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο.

Οι συνολικές εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων και των προηγούμενων σταδίων, της χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο φαίνονται στον πίνακα 4.4.25 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.4.26.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	905,21*10 <sup>-6</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	491,41*10 <sup>-6</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	10,636*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	126,44*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	147,62*10 <sup>-9</sup>	kg
HF	7,1801*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	5,9381*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	1,1951*10 <sup>-3</sup>	kg
NMVOC	204,79*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	273,1*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	428,75*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	28,74*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	36,46*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	54,94*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	21,06*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	697,7*10 <sup>-12</sup>	kg
PAH (air)	1,023*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	288,1*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	1,538*10 <sup>-15</sup>	kg

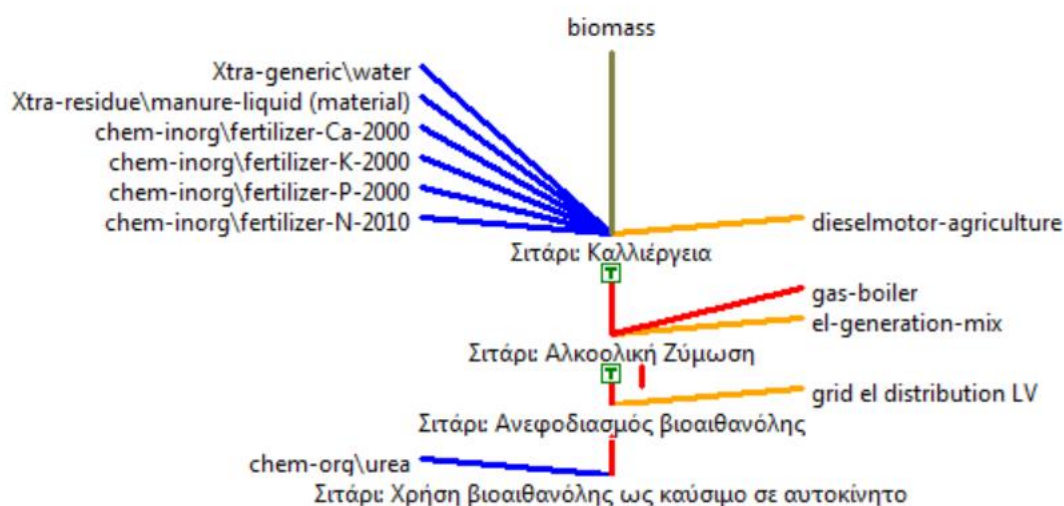
Πίνακας:4.4.25 Συνολικές εκπομπές χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	47,015*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	24,169*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	64,754*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	71,190*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	1,3728*10 <sup>-9</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	172,5*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.4.26 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

#### 4.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΣΙΤΑΡΙ

Στο σχήμα 4.5 φαίνεται το διάγραμμα διεργασιών ανάλυσης κύκλου ζωής της βιοαιθανόλης από σιτάρι.



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα Διεργασιών ΑΚΖ βιοαιθανόλης από σιτάρι

#### 4.5.1. Διεργασία Καλλιέργειας Σίτου

Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας σίτου είναι τα εξής:

Περιοχή	10.000	m <sup>2</sup>
Απόδοση (ενέργεια)	30.423	kWh/y
Απόδοση (μάζα)	8.204	kg/y
Απόδοση (επί ξηρού)	6.809	kg/y
Χρόνος ζωής	1	y

Πίνακας 4.5.1 Χαρακτηριστικά διεργασίας καλλιέργειας σίτου

Τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται κατά τη καλλιέργεια σίτου φαίνονται στον πίνακα 4.5.2.

Βοηθητικά υλικά	Ποσότητα [kg/kWh]
Λίπασμα N	$4,9171 \cdot 10^{-3}$
Λίπασμα P	$1,8731 \cdot 10^{-3}$
Λίπασμα K	$2,0065 \cdot 10^{-3}$
Λίπασμα Ca	$11,408 \cdot 10^{-3}$
Νερό	$22,023 \cdot 10^{-6}$
Σύνολο	$20,227 \cdot 10^{-3}$

Πίνακας 4.5.2 Βοηθητικά υλικά διεργασίας καλλιέργειας σίτου

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την καλλιέργεια σίτου είναι  $4,4510 \cdot 10^{-3}$  kWh/kWh. Η βοηθητική αυτή ενέργεια καταναλώνεται σε διάφορες αγροτικές εργασίες όπως σπορά, συγκομιδή, χρήση λιπασμάτων κατά τις οποίες χρησιμοποιείται καύσιμο ντίζελ.

Το κόστος της διεργασίας της καλλιέργειας είναι  $38,311 \cdot 10^{-3}$  €/kWh

Οι άμεσες εκπομπές της διεργασίας καλλιέργειας φαίνονται στον πίνακα 4.5.3.

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	$57,609 \cdot 10^{-3}$	kg/kWh
Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	$2,1108 \cdot 10^{-3}$	kg/kWh
Ισοδύναμο TOPP	$139,30 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh
NO <sub>x</sub>	$114,18 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh
NH <sub>3</sub>	$1,0800 \cdot 10^{-3}$	kg/kWh
N <sub>2</sub> O	$193,32 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh

Πίνακας 4.5.3. Άμεσες εκπομπές της διεργασίας καλλιέργειας σίτου

Οι συνολικές εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων και των προηγούμενων σταδίων της διεργασίας καλλιέργειας (upstream processes) φαίνονται στον πίνακα 4.5.4 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.5.5.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	$2,3064 \cdot 10^{-3}$	kg
Ισοδύναμο TOPP	$300,85 \cdot 10^{-6}$	kg
SO <sub>2</sub>	$47,243 \cdot 10^{-6}$	kg
NO <sub>x</sub>	$236,93 \cdot 10^{-6}$	kg
HCl	$697,97 \cdot 10^{-9}$	kg
HF	$13,100 \cdot 10^{-9}$	kg
Σωματίδια	$30,368 \cdot 10^{-6}$	kg
CO	$59,157 \cdot 10^{-6}$	kg
NMVOC	$4,7742 \cdot 10^{-6}$	kg
H <sub>2</sub> S	$237,3 \cdot 10^{-12}$	kg
NH <sub>3</sub>	$1,1131 \cdot 10^{-3}$	kg
As (air)	$87,42 \cdot 10^{-12}$	kg
Cd (air)	$105,6 \cdot 10^{-12}$	kg

Cr (air)	$106,5 \cdot 10^{-12}$	kg
Hg (air)	$59,02 \cdot 10^{-12}$	kg
Ni (air)	$2,0875 \cdot 10^{-9}$	kg
PAH (air)	$5,795 \cdot 10^{-12}$	kg
Pb (air)	$450,5 \cdot 10^{-12}$	kg
PCDD/F (air)	$7,208 \cdot 10^{-15}$	kg

Πίνακας:4.5.4 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας καλλιέργειας σίτου

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	$104,49 \cdot 10^{-3}$	kg
CO <sub>2</sub>	$23,643 \cdot 10^{-3}$	kg
CH <sub>4</sub>	$36,555 \cdot 10^{-6}$	kg
N <sub>2</sub> O	$268,21 \cdot 10^{-6}$	kg
Υπερφθορομεθάνιο	$136,5 \cdot 10^{-12}$	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	$17,18 \cdot 10^{-12}$	kg

Πίνακας 4.5.5 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας καλλιέργειας σίτου

Η διεργασία καλλιέργειας καλαμποκιού έχει ως προϊόν το σιτάρι, του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 4.5.6

Ειδικό Βάρος	$269,66 \cdot 10^{-3}$	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	$357,632 \cdot 10^3$	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής SO <sub>2</sub>	538,7775	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής HCl	97,065413	g/MWh
Κατώτερη θερμαντική αξία (LHV)	13,35	MJ/kg
Υψηλή θερμαντική αξία (HHV)	14,99225	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	36,195	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	5,41	%
Περιεκτικότητα σε άζωτο	1,89	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	37,26	%
Περιεκτικότητα σε θείο	0,1	%
Περιεκτικότητα σε χλώριο	0,035	%
Περιεκτικότητα σε νερό	17	%
Περιεκτικότητα τέφρα	2,11	%

Πίνακας 4.5.6 Χαρακτηριστικά σίτου

Θεωρούμε ότι το σιτάρι δεν αποθηκεύεται και μεταφέρεται άμεσα στις εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης.

#### 4.5.2. Διεργασία μεταφοράς σίτου

Το σιτάρι μεταφέρεται από τις εκτάσεις όπου καλλιεργείται στις εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης με φορτηγό σε απόσταση 100 χλμ., το οποίο χρησιμοποιεί καύσιμο ντίζελ.

#### 4.5.3. Διεργασία Αλκοολικής ζύμωσης καλαμποκιού

Στο στάδιο αυτό έχουν συνυπολογιστεί όλα τα στάδια επεξεργασίας του σίτου για την παραγωγή βιοαιθανόλης (διεργασία ξηρής άλεσης).

Τα χαρακτηριστικά της μονάδας επεξεργασίας του σίτου είναι τα εξής:

Ισχύς	96,26	MW
Χρόνος λειτουργίας	8.300	h/y
Χρόνος ζωής	15	y
Απόδοση	58	%

Πίνακας 4.5.7 Χαρακτηριστικά διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης σίτου

Η βοηθητική (θερμική και ηλεκτρική) ενέργεια που καταναλώνεται κατά την αλκοολική ζύμωση του σίτου είναι  $3,75744 \cdot 10^{-1}$  kWh/kWh.

Το κόστος της διεργασίας της αλκοολικής ζύμωσης φαίνεται στον πίνακα 4.5.8.

Κόστος Επένδυσης	$82,7836 \cdot 10^6$	€	860	€/kW
Κόστος Κεφαλαίου	$9,67157 \cdot 10^6$	€/y	$12,105 \cdot 10^{-3}$	€/kWh
Σταθερό Κόστος	$1,92520 \cdot 10^6$	€/y	$2,4096 \cdot 10^{-3}$	€/kWh
Κόστος Μεταφοράς	$3,13869 \cdot 10^6$	€/y	$3,9285 \cdot 10^{-3}$	€/kWh
Μεταβλητό Κόστος	$2,87625 \cdot 10^6$	€/y	$3,6000 \cdot 10^{-3}$	€/kWh
Κόστος καυσίμου	$52,6776 \cdot 10^6$	€/y	$65,933 \cdot 10^{-3}$	€/kWh
Άθροισμα	$70,2893 \cdot 10^6$	€/y	$87,976 \cdot 10^{-3}$	€/kWh

Πίνακας 4.5..8 Κόστος διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης σίτου  
Οι συνολικές εκπομπές φαίνονται στον πίνακα 4.5.9 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.5.10.



Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	2,4429*10 <sup>-3</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	438,54*10 <sup>-6</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	62,811*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	338,13*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	1,1850*10 <sup>-6</sup>	kg
HF	62,977*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	33,970*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	111,19*10 <sup>-6</sup>	kg
NMVOOC	11,586*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	2,1541*10 <sup>-9</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	1,1397*10 <sup>-3</sup>	kg
As (air)	368,5*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	277,1*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	514,5*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	409,5*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	4,6099*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	6,128*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	1,9547*10 <sup>-9</sup>	kg
PCDD/F (air)	8,813*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.5.9 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης σίτου

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	178,52*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	92,238*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	157,09*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	276,26*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	3,8228*10 <sup>-9</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	482,9*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.5.10 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης σίτου

Η διεργασία αλκοολικής ζύμωσης σίτου έχει ως κύριο προϊόν τη βιοαιθανόλη, της οποίας τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 4.5.11.

Ειδικό Βάρος	134,33*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	256,678*10 <sup>3</sup>	g/MWh
Κατώτερη θερμαντική αξία (LHV)	26,8	MJ/kg
Υψηλή θερμαντική αξία (HHV)	29,74875	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	52,15	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	13,1	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	34,7	%
Περιεκτικότητα σε νερό	0,05	%

Πίνακας 4.5.11 Χαρακτηριστικά βιοαιθανόλης

Υποπροϊόν της διεργασίας αλκοολικής ζύμωσης του σίτου το DDGS σε ποσότητα 6,83374 E-1 kWh/kWh, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον πίνακα 4.5.12.

Ειδικό Βάρος	164,84*10 <sup>-3</sup>	kg/kWh
Συντελεστής Εκπομπής CO <sub>2</sub>	317,930*10 <sup>3</sup>	g/MWh
Συντελεστής Εκπομπής SO <sub>2</sub>	296,40163	g/MWh
Κατώτερη θερμαντική αξία (LHV)	21,84	MJ/kg
Υψηλή θερμαντική αξία (HHV)	23,569	MJ/kg
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	52,64	%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	6,24	%
Περιεκτικότητα σε άζωτο	3,43	%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	20,7	%
Περιεκτικότητα σε θείο	0,09	%
Περιεκτικότητα σε νερό	13	%
Περιεκτικότητα τέφρα	3,9	%

Πίνακας 4.5.12 Χαρακτηριστικά DDGS

#### 4.5.4. Διεργασία μεταφοράς βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη μεταφέρεται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής της στο σταθμό ανεφοδιασμού με φορτηγό σε απόσταση 100 χλμ. Το φορτηγό χρησιμοποιεί καύσιμο ντίζελ και τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 4.5.13:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντίζελ	10,576103	MJ/km
	29,675912	l/100 km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	60,1453*10 <sup>3</sup>	km/y
Χρόνος ζωής	7,9	y
Βάρος	9,8018	t

Πίνακας 4.5.13 Χαρακτηριστικά φορτηγού μεταφοράς βιοαιθανόλης

Οι άμεσες εκπομπές από τη μεταφορά της βιοαιθανόλης φαίνονται στον πίνακα

#### 4.5.14

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	3,5799*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	725,09*10 <sup>-3</sup>	kg/km
SO <sub>2</sub>	19,827*10 <sup>-6</sup>	kg/km
NO <sub>x</sub>	5,1133*10 <sup>-3</sup>	kg/km
Σωματίδια	85,745*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO	1,1820*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NM VOC	383,00*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CO <sub>2</sub>	722,74*10 <sup>-3</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	9,4181*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	7,0930*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.4.14 Άμεσες εκπομπές διεργασίας μεταφοράς βιοαιθανόλης

#### 4.5.5. Διεργασία Ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Τα χαρακτηριστικά του σταθμού ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης είναι τα εξής:

Ισχύς	1	MW
Χρόνος λειτουργίας	5.000	h/y
Χρόνος ζωής	20	y
Απόδοση	100	%

Πίνακας 4.5.15 Χαρακτηριστικά διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Το κόστος της διεργασίας φαίνεται στον πίνακα 4.5.16

Κόστος Μεταφοράς	4,41308*10 <sup>3</sup>	€/y	882,62*10 <sup>-6</sup>	€/kWh
Κόστος Καυσίμου	439,881*10 <sup>3</sup>	€/y	87,976*10 <sup>-3</sup>	€/kWh
Άθροισμα	444,294*10 <sup>3</sup>	€/y	88,859*10 <sup>-3</sup>	€/kWh

Πίνακας 4.5.16 Κόστος διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Οι άμεσες εκπομπές από τη διεργασία φαίνονται στον πίνακα 4.5.17

Ισοδύναμο TOPP	$478,80 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh
NMVOC	$478,80 \cdot 10^{-6}$	kg/kWh

Πίνακας 4.5.17 Άμεσες εκπομπές διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Οι συνολικές εκπομπές φαίνονται στον πίνακα 4.5.18 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.5.19

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	$2,4496 \cdot 10^{-3}$	kg
Ισοδύναμο TOPP	$927,87 \cdot 10^{-6}$	kg
SO <sub>2</sub>	$63,586 \cdot 10^{-6}$	kg
NO <sub>x</sub>	$345,89 \cdot 10^{-6}$	kg
HCl	$1,2000 \cdot 10^{-6}$	kg
HF	$67,211 \cdot 10^{-9}$	kg
Σωματίδια	$34,330 \cdot 10^{-6}$	kg
CO	$114,08 \cdot 10^{-6}$	kg
NMVOC	$491,12 \cdot 10^{-6}$	kg
H <sub>2</sub> S	$2,1586 \cdot 10^{-9}$	kg
NH <sub>3</sub>	$1,1399 \cdot 10^{-3}$	kg
As (air)	$378,7 \cdot 10^{-12}$	kg
Cd (air)	$297,5 \cdot 10^{-12}$	kg
Cr (air)	$533,2 \cdot 10^{-12}$	kg
Hg (air)	$414,4 \cdot 10^{-12}$	kg
Ni (air)	$5,0052 \cdot 10^{-9}$	kg
PAH (air)	$6,161 \cdot 10^{-12}$	kg
Pb (air)	$2,0422 \cdot 10^{-9}$	kg
PCDD/F (air)	$8,931 \cdot 10^{-15}$	kg

Πίνακας:4.5.18 Συνολικές εκπομπές αερίων διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	$179,89 \cdot 10^{-3}$	kg
CO <sub>2</sub>	$93,535 \cdot 10^{-3}$	kg
CH <sub>4</sub>	$158,03 \cdot 10^{-6}$	kg
N <sub>2</sub> O	$276,37 \cdot 10^{-6}$	kg
Υπερφθορομεθάνιο	$5,3554 \cdot 10^{-9}$	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	$676,5 \cdot 10^{-12}$	kg

Πίνακας 4.5.19 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διεργασίας ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης

Η βοηθητική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διεργασία ανεφοδιασμού βιοαιθανόλης είναι 1 E-4 kWh/kWh.

#### 4.5.6. Διεργασία Χρήσης βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Το αυτοκίνητο που καταναλώνει βιοαιθανόλη ως καύσιμο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ντιζελ	1	MJ/km
Διανυθέντα χιλιόμετρα	11,2911*10 <sup>3</sup>	km/y
Χρόνος ζωής	14,72	y
Χωρητικότητα	1	άνθρωπος

Πίνακας 4.5.20 Χαρακτηριστικά αυτοκινήτου

Το κόστος της διεργασίας φαίνεται στον πίνακα 4.5.21

Κόστος Καυσίμου	278,6986	€/y	24,683*10 <sup>-3</sup>	€/ km
Άθροισμα	278,6986	€/y	24,683*10 <sup>-3</sup>	€/ km

Πίνακας 4.5.21 Κόστος χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο  
Οι άμεσες εκπομπές από τη χρήση της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο φαίνονται στον πίνακα 4.5.22

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	26,697*10 <sup>-6</sup>	kg/km
Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	489,53*10 <sup>-6</sup>	kg/km
NO <sub>x</sub>	38,345*10 <sup>-6</sup>	kg/km
Σωματίδια	100,0*10 <sup>-12</sup>	kg/km
CO	1,1685*10 <sup>-3</sup>	kg/km
NM <sub>VOC</sub>	68,640*10 <sup>-6</sup>	kg/km
CH <sub>4</sub>	4,1718*10 <sup>-6</sup>	kg/km
N <sub>2</sub> O	1,2927*10 <sup>-6</sup>	kg/km

Πίνακας 4.5.22 Άμεσες εκπομπές χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο.

Οι συνολικές εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων και των προηγούμενων σταδίων, της χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο φαίνονται στον πίνακα 4.5.23 και των αερίων θερμοκηπίου στον πίνακα 4.5.24.

Ισοδύναμο SO <sub>2</sub>	707,11*10 <sup>-6</sup>	kg
Ισοδύναμο TOPP	501,74*10 <sup>-6</sup>	kg
SO <sub>2</sub>	17,646*10 <sup>-6</sup>	kg
NO <sub>x</sub>	134,42*10 <sup>-6</sup>	kg
HCl	333,22*10 <sup>-9</sup>	kg
HF	18,660*10 <sup>-9</sup>	kg
Σωματίδια	9,5349*10 <sup>-6</sup>	kg
CO	1,2001*10 <sup>-3</sup>	kg
NMVOOC	205,06*10 <sup>-6</sup>	kg
H <sub>2</sub> S	599,6*10 <sup>-12</sup>	kg
NH <sub>3</sub>	316,65*10 <sup>-6</sup>	kg
As (air)	105,2*10 <sup>-12</sup>	kg
Cd (air)	82,64*10 <sup>-12</sup>	kg
Cr (air)	148,1*10 <sup>-12</sup>	kg
Hg (air)	115,1*10 <sup>-12</sup>	kg
Ni (air)	1,3903*10 <sup>-9</sup>	kg
PAH (air)	1,711*10 <sup>-12</sup>	kg
Pb (air)	567,2*10 <sup>-12</sup>	kg
PCDD/F (air)	2,481*10 <sup>-15</sup>	kg

Πίνακας:4.5.23 Συνολικές εκπομπές χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

Ισοδύναμο CO <sub>2</sub>	50,456*10 <sup>-3</sup>	kg
CO <sub>2</sub>	25,979*10 <sup>-3</sup>	kg
CH <sub>4</sub>	48,062*10 <sup>-6</sup>	kg
N <sub>2</sub> O	78,061*10 <sup>-6</sup>	kg
Υπερφθορομεθάνιο	1,4876*10 <sup>-9</sup>	kg
Υπερφθοροαιθάνιο	187,9*10 <sup>-12</sup>	kg

Πίνακας 4.5.24 Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο

## 5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

### ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης κύκλου ζωής της χρήσης βιοαιθανόλης με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο, το καλαμπόκι και το σιτάρι, ως καύσιμο σε αυτοκίνητα, προχωράμε στη συγκριτική ανάλυση αυτής. Για το σκοπό αυτό δημιουργούμε με τη βοήθεια του προγράμματος GEMIS σχετικό σενάριο με το οποίο συγκρίνουμε τη χρήση βιοαιθανόλης από τις παραπάνω πρώτες ύλες με τη χρήση βενζίνης ως καύσιμα σε αυτοκίνητο. Η σύγκριση γίνεται για ένα χιλιόμετρο διανυόμενης απόστασης και αφορά σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους περιγράφηκαν.

Τα κριτήρια που θα μελετηθούν αφορούν στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ατμοσφαιρικών ρύπων, τη χρήση ενεργειακών πόρων, τη χρήση γης και το κόστος. Τέλος για την καλύτερη σύγκριση των παραπάνω παραμέτρων και την εύρεση της καλύτερης εναλλακτικής καυσίμων, συγκρίνουμε τα κυριότερα κριτήρια μεταξύ τους έχοντας ως σημείο αναφοράς τη χρήση βενζίνης.

#### 5.1. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Τα κύρια αέρια θερμοκηπίου στα ενεργειακά συστήματα είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Το  $\text{CO}_2$  είναι το κύριο προϊόν τη καύσης των ορυκτών καυσίμων και της βιομάζας. Η ποσότητα  $\text{CO}_2$  που εκπέμπεται ανά μονάδα ενέργειας εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το περιεχόμενο σε άνθρακα και τη θερμοαντική αξία του καυσίμου. Στη βίοςφαιρα, το  $\text{CO}_2$  μεταφέρεται από την ατμόσφαιρα με την ανάπτυξη των φυτών μέσω του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης και σύνθεση ενώσεων άνθρακα, οι οποίες συσσωρεύονται στη φυτική βιομάζα. Το  $\text{CO}_2$  παράγεται επίσης και με την αερόβια αποσύνθεση της βιομάζας. Οι αλλαγές των αποθεμάτων άνθρακα που οφείλονται

εξαιτίας της αλλαγής χρήσης γης μετατρέπονται σε CO<sub>2</sub> πολλαπλασιάζοντας την αναλογία του μοριακού βάρους του CO<sub>2</sub> σε άνθρακα.

Το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) είναι μία εύφλεκτη ένωση υδρογονάνθρακα, η οποία είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, αλλά αποτελεί επίσης προϊόν της διεργασίας ατελούς καύσης. Το μεθάνιο επίσης εκπέμπεται κατά την εξόρυξη άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στη βιόσφαιρα, η αναερόβια αποσύνθεση της βιομάζας παράγει μεθάνιο. Η εκπομπές αυτές μεθανίου προκύπτουν κυρίως από τη διαχείριση των ανθρωπογενών και ζωικών αποβλήτων, την υγειονομική ταφή των οργανικών αποβλήτων και τη παραγωγή ρυζιού.

Το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) σχηματίζεται κατά τις διεργασίες καύσης κάτω από ορισμένες συνθήκες. Η ποσότητα του N<sub>2</sub>O που εκπέμπεται εξαρτάται από το περιεχόμενο σε άζωτο του καυσίμου και τη θερμοκρασία καύσης. Το N<sub>2</sub>O επίσης εκπέμπεται ως αποτέλεσμα των διεργασιών νιτροποίησης και απονίτρωσης που ελέγχουν τον κύκλο ζωής του αζώτου, το οποίο εφαρμόζεται ως χημικό λίπασμα, κοπριά ή μέσω της δέσμευσης του από καλλιέργειες με όσπρια.

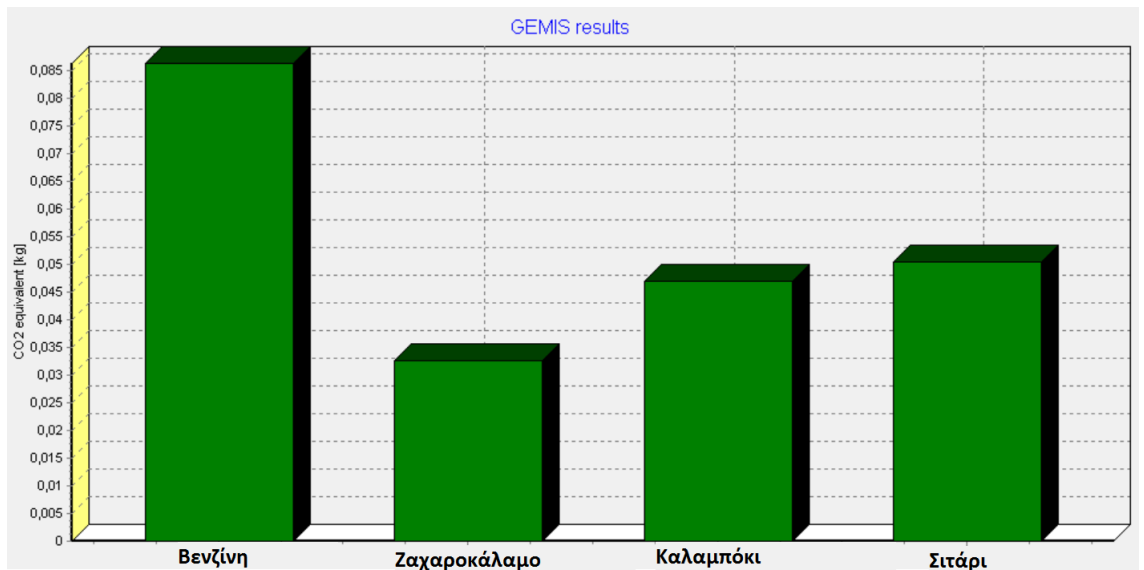
Τα υπόλοιπα αέρια θερμοκηπίου δεν είναι τόσο σημαντικά στα ενεργειακά συστήματα.

Το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential, GWP) χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη συνεισφορά των διαφορετικών GHGs στη θέρμανση του πλανήτη. Οι επιδράσεις των GHGs εκτός του CO<sub>2</sub> εκφράζονται με τον όρο του ισοδύναμου CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-eq). Οι συντελεστές ισοδυναμίας των διαφορετικών αερίων εξαρτώνται από την χρονική περίοδο κατά την οποία η ισοδυναμία υπολογίζεται, εφόσον διαφορετικά αέρια έχουν διαφορετικό χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα. Συνήθως χρησιμοποιούνται συντελεστές GWP για χρονική περίοδο 100 χρόνων. Για παράδειγμα ένα γραμμάριο CH<sub>4</sub> έχει την ισοδύναμη επίδραση στη

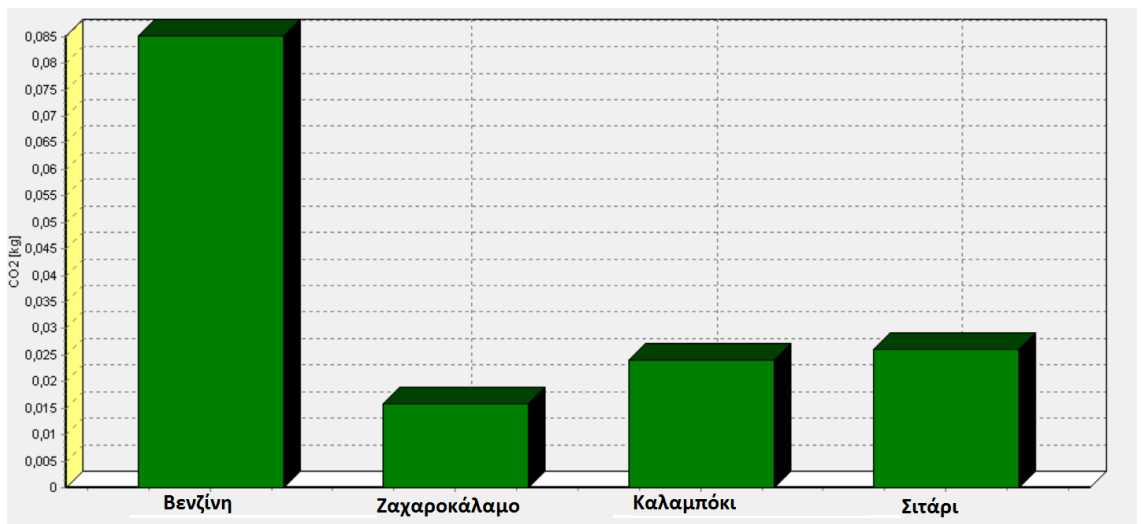


θέρμανση του πλανήτη 25 γραμμαρίων CO<sub>2</sub>, όταν χρησιμοποιείται χρονικός ορίζοντας 100 ετών. Με τον ίδιο χρονικό ορίζοντα ένα γραμμάριο N<sub>2</sub>O έχει την ισοδύναμη επίδραση στη θέρμανση του πλανήτη 298 γραμμαρίων CO<sub>2</sub>.

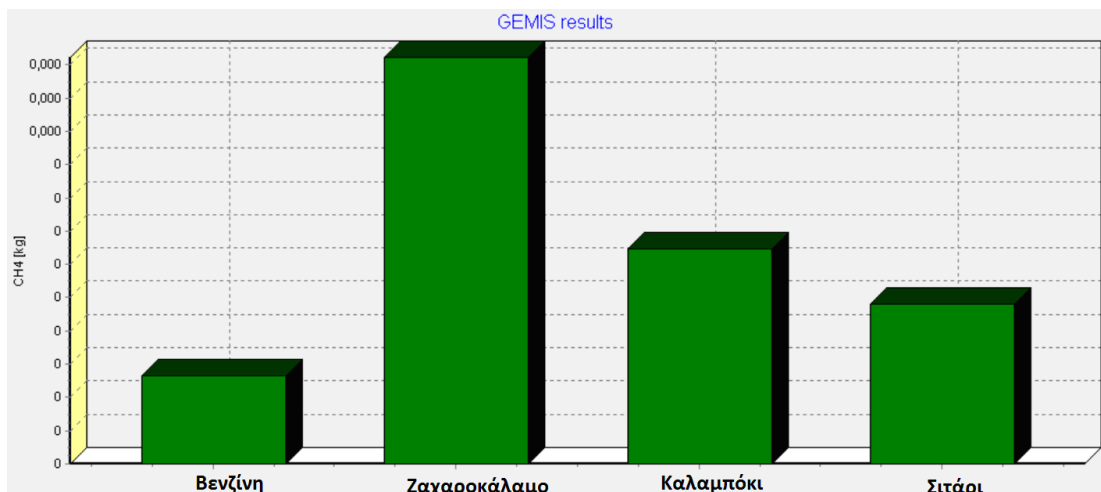
Στη συνέχεια παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.



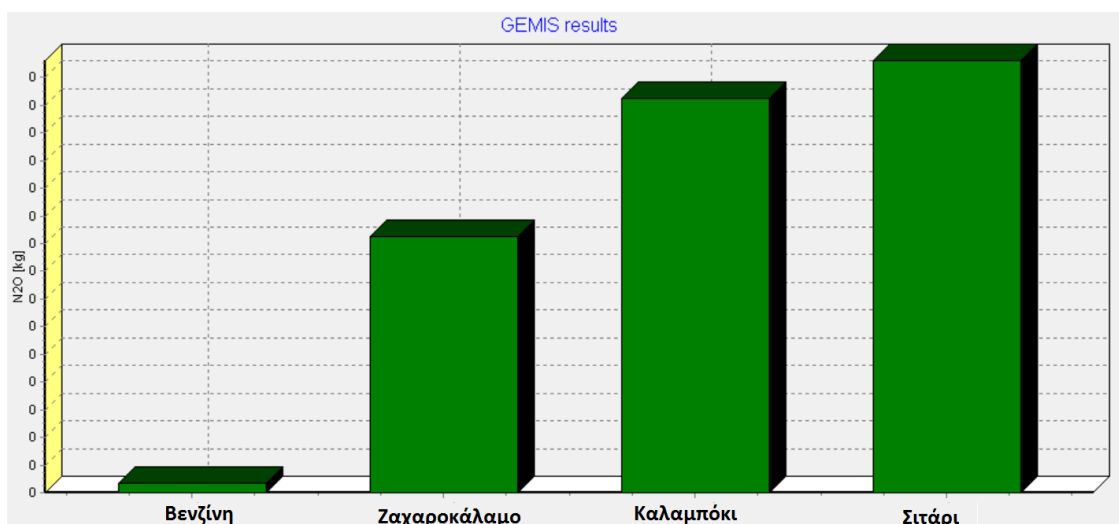
Σχήμα 5.1 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου CO<sub>2</sub>



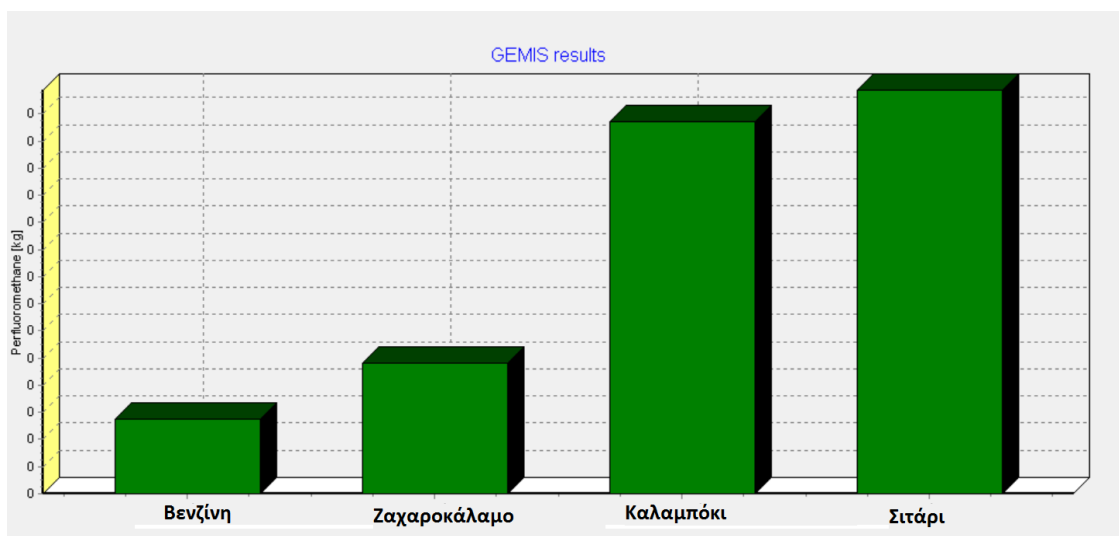
Σχήμα 5.2 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO<sub>2</sub>



Σχήμα 5.3 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CH<sub>4</sub>



Σχήμα 5.4 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών N<sub>2</sub>O



Σχήμα 5.5 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών υπερφθορομεθανίου



## 5.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Οι κύριοι ατμοσφαιρικοί ρύποι σύμφωνα με τον Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) είναι η σωματιδιακή ύλη (particulate matter, PM), το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και το όζον. Επιπλέον οι πτητικές οργανικές ουσίες αποτελούν σημαντικές πρόδρομες ουσίες του όζοντος.

Η ατμοσφαιρική σωματιδιακή ύλη, γνωστή ως αερολύματα, είναι ένα μίγμα πολύ μικρών στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Το PM αποτελείται από εισπνεύσιμα σωματίδια (inhalable Particles) με διάμετρο μικρότερη από 10 μm (PM10) και από λεπτά σωματίδια (fine particles) με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (PM2.5). Ενώ τα PM10 είναι πρωτογενή (εκπέμπονται άμεσα σε σωματιδιακή μορφή) τα PM2.5 μπορεί να είναι είτε πρωτογενή είτε δευτερογενή (μπορούν να σχηματιστούν μέσω χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα). Το μικρότερο μέγεθος των PM2.5 σημαίνει ότι μπορούν να μεταφερθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις και θέτουν σε μεγαλύτερο κίνδυνο την υγεία εισχωρώντας βαθύτερα στους πνεύμονες. Τα λεπτά σωματίδια προέρχονται κυρίως από την καύση, είτε με την άμεση απελευθέρωση καπνού είτε μέσω χημικών αντιδράσεων αέριων εκπομπών καύσης (κυρίως NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> και VOCs). Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο που προέρχεται από την ατελή καύση ανθρακούχων υλικών (π.χ. ορυκτά καύσιμα, βιοκαύσιμα, ακατέργαστη βιομάζα). Μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων οι εκπομπές CO μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία όζοντος. Ωστόσο το CO δεν είναι πολύ δραστικό και μπορεί να μεταφερθεί μακριά από την πηγή προτού αντιδράσει στην ατμόσφαιρα, επεκτείνοντας τη παραγωγή όζοντος.

Τα οξείδια του αζώτου (NO και NO<sub>2</sub>, γνωστά ως NO<sub>x</sub>) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως πρόδρομες ουσίες για το σχηματισμό στην ατμόσφαιρα του τροποσφαιρικού

όζοντος, της PM και της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή προκύπτει από το σχηματισμό του νιτρικού οξέος στην ατμόσφαιρα. Οι ανθρωπογενείς πηγές των NO<sub>x</sub> περιλαμβάνουν όλες τις διεργασίες καύσης (ορυκτά καύσιμα, βιοκαύσιμα και γεωργικά απόβλητα) και σε μικρότερο βαθμό τη χρήση λιπασμάτων και την μεταγενέστερη βιογενή δραστηριότητα του εδάφους. Παρόλο που οι επιπτώσεις των εκπομπών NO<sub>x</sub> είναι τοπικές, τα παράγωγα τους μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις.

Οι πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs) περιλαμβάνουν πολλούς υδρογονάνθρακες πλην του μεθανίου. Προέρχονται από ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές και συνεισφέρουν στο σχηματισμό του όζοντος και των PM<sub>2.5</sub>. Οι ανθρωπογενείς VOCs προέρχονται από ποικίλες πηγές συμπεριλαμβανομένων της καύσης των ορυκτών καυσίμων και της εξάτμισης της βενζίνης. Οι VOCs αποτελούν πρόδρομες ουσίες στο σχηματισμό αερολυμάτων και όζοντος, παρόλο που σε μερικές περιπτώσεις αντιδρούν με το όζον και μειώνουν τη συγκέντρωσή του. Πιο συγκεκριμένα, οι εκπομπές των οχημάτων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο αιθανόλη μπορούν να αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από μερικές μορφές VOCs, με επιπτώσεις στην υγεία.

Το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>) δεν προέρχεται άμεσα από πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αλλά σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα μέσω των χημικών αντιδράσεων των NO<sub>x</sub>, CO, and VOCs παρουσία ηλιακού φωτός. Η σχέση της φωτοχημείας του όζοντος και των εκπομπών των πρόδρομων ουσιών του όζοντος είναι μη γραμμική με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η εκτίμηση του σχηματισμού του, η οποία εξαρτάται και από το περιβάλλον των εκπομπών. Συνήθως για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του όζοντος απαιτούνται μαθηματικά μοντέλα για την εκτίμηση της σημασίας των διαφόρων χημικών και μετεωρολογικών διεργασιών, που οδηγούν στο σχηματισμό

του όζοντος και για τον υπολογισμό των αναμενόμενων αλλαγών στις συγκεντρώσεις των ρύπων που σχετίζονται με τις αλλαγές των εκπομπών. Το όζον αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και είναι συνδεδεμένο με τη γεωργική και δασική υποβάθμιση με σημαντικές επιπτώσεις στον εφοδιασμό τροφίμων.

Το θείο βρίσκεται σε διαφορετικές ποσότητες στο γαιάνθρακα και στο αργό πετρέλαιο και απελευθερώνεται με τη μορφή SO<sub>2</sub> με την καύση ή τη διύλιση. Ωστόσο το θείο δεν είναι υπάρχει γενικά σε μεγάλες ποσότητες στα βιοκαύσιμα. Όπως και τα NO<sub>x</sub>, τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) συνεισφέρουν στα PM και στην όξινη βροχή, αλλά δε συνεισφέρει άμεσα στο σχηματισμό ή τη καταστροφή του όζοντος.

Για να περιγράψουμε τις επιπτώσεις των ουσιών στην οξίνιση των φυσικών αποδεκτών, υπολογίζουμε το δυναμικό οξίνισης τους (acid formation potential), δηλ. την ικανότητα να σχηματίζουν H<sup>+</sup>, το οποίο συγκρίνεται με το δυναμικό του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), που αποτελεί ουσία αναφοράς. Το δυναμικό οξίνισης ή ισοδύναμο SO<sub>2</sub>, εκφρασμένο σε ισοδύναμα kg SO<sub>2</sub> ανά μονάδα αναφοράς, αποτελεί ένα τρόπο υπολογισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εκπομπών αερίων που προκαλούν οξίνιση.

Στον πίνακα 5.3 φαίνονται οι συντελεστές ισοδύναμου SO<sub>2</sub> των αερίων οξίνισης.

Ποσότητα Αερίου	Συντελεστής Ισοδύναμου SO <sub>2</sub>
1 kg HCl	0.88 kg eq SO <sub>2</sub>
1 kg HF	1.60 kg eq SO <sub>2</sub>
1 kg NO <sub>2</sub>	0.70 kg eq SO <sub>2</sub>
1 kg SO <sub>2</sub>	1.00 kg eq SO <sub>2</sub>
1 kg H <sub>2</sub> S	1.88 kg eq SO <sub>2</sub>
1 kg NH <sub>4</sub>	0.89 kg eq SO <sub>2</sub>

1 kg NH <sub>3</sub>	0.93 kg eq SO <sub>2</sub>
----------------------	----------------------------

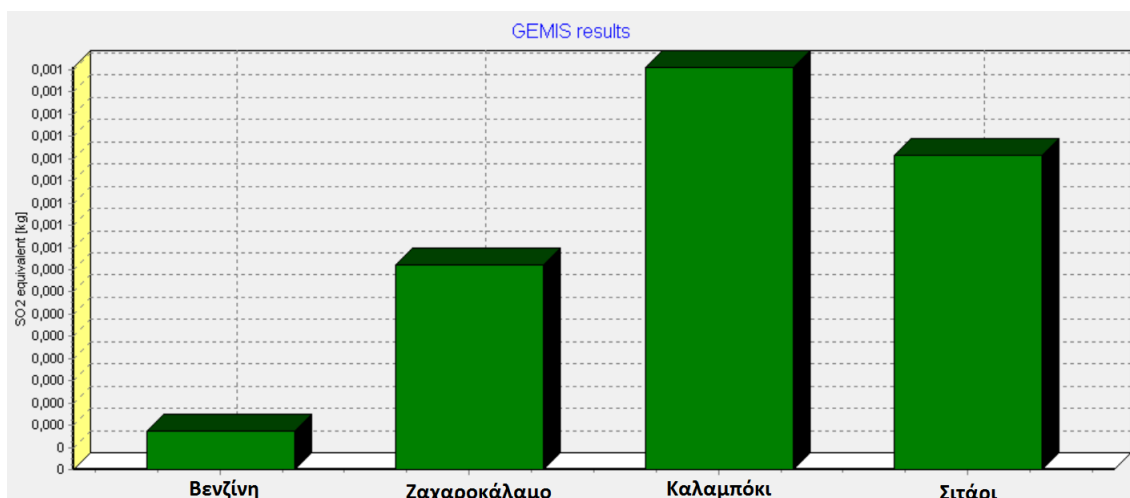
Πίνακας 5.3 Συντελεστές ισοδύναμου SO<sub>2</sub>

Στο πρόγραμμα GEMIS υπολογίζονται οι εκπομπές των αερίων NO<sub>x</sub>, HCl, HF, NH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S.

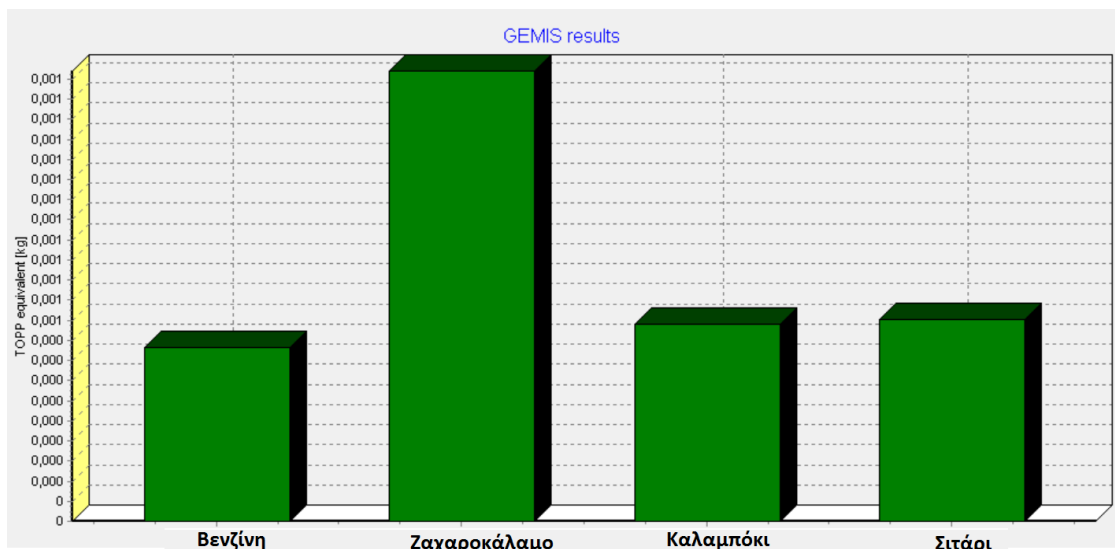
Ο συντελεστής τροποσφαιρικής πρόδρομης ουσίας του όζοντος (tropospheric ozone precursor potential, TOPP) αποτελεί το ισοδύναμο μάζας του σχηματισμού όζοντος από ουσίες που μετρώνται σε ισοδύναμο πρόδρομης ουσίας του όζοντος. Ο TOPP εκφράζει την δυνατότητα σχηματισμού τροποσφαιρικού όζοντος (κοντά στο έδαφος), το οποίο μπορεί να προκαλέσει αιθαλομίχλη.

Στο πρόγραμμα GEMIS υπολογίζονται τα ισοδύναμα πρόδρομης ουσίας του όζοντος από το σχηματισμό όζοντος από τις εκπομπές αερίων CO, NMVOC (Πτητικές οργανικές ενώσεις πλην μεθανίου, non-methane volatile organic compounds), NO<sub>x</sub> και του αερίου θερμοκηπίου CH<sub>4</sub>. Όσο μεγαλύτεροι είναι οι συντελεστές πρόδρομης ουσίας του όζοντος τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα σχηματισμού αιθαλομίχλης.

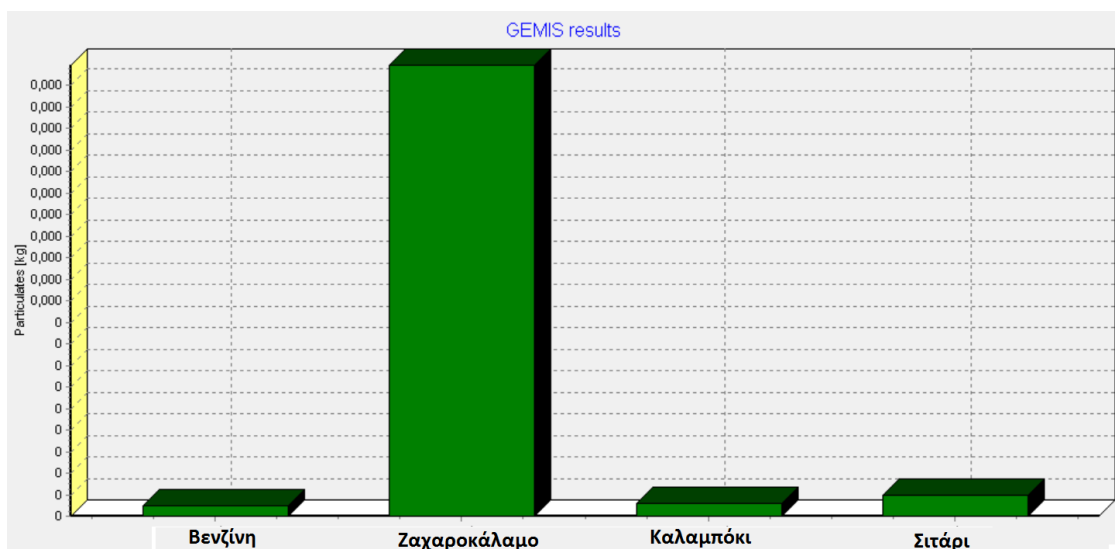
Στη συνέχεια παρατίθενται τα αντίστοιχα συγκριτικά διαγράμματα από το πρόγραμμα GEMIS.



Σχήμα 5.7 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών ισοδύναμου SO<sub>2</sub>



Σχήμα 5.8 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών ισοδύναμου TOPP



Σχήμα 5.9 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών PM

Εναλλακτικές [kg]	Ισοδύναμο TOPP	Ισοδύναμο SO2	SO2	NOx	HCl	HF
Βενζίνη	4,32E-04	8,75E-05	3,74E-05	7,10E-05	5,14E-07	4,27E-08
Ζαχαροκάλαμο	1,12E-03	4,60E-04	6,10E-05	3,19E-04	4,66E-07	2,38E-08
Καλαμπόκι	4,91E-04	9,05E-04	1,06E-05	1,26E-04	1,48E-07	7,20E-09
Σιτάρι	5,02E-04	7,07E-04	1,77E-05	1,34E-04	3,33E-07	1,87E-08
Εναλλακτικές [kg]	Particulates	CO	NMVOC	H2S	NH3	



Βενζίνη	4,99E-06	1,18E-03	2,15E-04	2,43E-11	5,82E-08
Ζαχαροκάλαμο	2,09E-04	4,67E-03	2,15E-04	1,25E-08	9,34E-05
Καλαμπόκι	5,94E-06	1,20E-03	2,05E-04	2,73E-10	4,29E-04
Σιτάρι	9,54E-06	1,20E-03	2,05E-04	6,00E-10	3,17E-04

Πίνακας 5.4 Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων

Στο πρόγραμμα GEMIS το ισοδύναμο SO<sub>2</sub> υπολογίζεται με τη συνάθροιση των αερίων οξίνισης, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.5 για τον υπολογισμό του ισοδύναμου SO<sub>2</sub> για τη χρήση βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο ως καύσιμο σε αυτοκίνητο.

Αέριο οξίνισης	Ποσότητα (kg)	Συντελεστής	Ισοδύναμο	Μερίδιο	
NO <sub>x</sub>	319,46*10 <sup>-6</sup>	696,25*10 <sup>-3</sup>	222,43*10 <sup>-6</sup>	48,397376	%
NH <sub>3</sub>	93,422*10 <sup>-6</sup>	1,8808134	175,71*10 <sup>-6</sup>	38,232196	%
SO <sub>2</sub>	60,978*10 <sup>-6</sup>	1	60,978*10 <sup>-6</sup>	13,267954	%
HCl	466,13*10 <sup>-9</sup>	878,51*10 <sup>-3</sup>	409,50*10 <sup>-9</sup>	89,102*10 <sup>-3</sup>	%
HF	23,762*10 <sup>-9</sup>	1,6010601	38,045*10 <sup>-9</sup>	8,2781*10 <sup>-3</sup>	%
H <sub>2</sub> S	12,453*10 <sup>-9</sup>	1,8797803	23,408*10 <sup>-9</sup>	5,0933*10 <sup>-3</sup>	%
<b>Άθροισμα</b>			459,59*10 <sup>-6</sup>	100	%

Πίνακας 5.5 Υπολογισμός ισοδύναμου SO<sub>2</sub> χρήσης βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο στο GEMIS

Στο πρόγραμμα GEMIS το ισοδύναμο TOPP υπολογίζεται όπως φαίνεται στον πίνακα 5.6 για τον υπολογισμό του ισοδύναμου TOPP για τη χρήση βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο ως καύσιμο σε αυτοκίνητο.

Αέριο	Ποσότητα (kg)	Συντελεστής	Ισοδύναμο	Μερίδιο	
CO	4,6684*10 <sup>-3</sup>	110,00*10 <sup>-3</sup>	513,53*10 <sup>-6</sup>	45,86	%
NO <sub>x</sub>	319,46*10 <sup>-6</sup>	1,22	389,75*10 <sup>-6</sup>	34,80	%
NM <sub>VO</sub> C	214,89*10 <sup>-6</sup>	1	214,89*10 <sup>-6</sup>	19,19	%
CH <sub>4</sub>	122,23*10 <sup>-6</sup>	14,000*10 <sup>-3</sup>	1,7113*10 <sup>-6</sup>	152,81*10 <sup>-3</sup>	%
<b>Άθροισμα</b>	60,65*10 <sup>-12</sup>	12.200	1,1199*10 <sup>-3</sup>	100,00	%

Πίνακας 5.6 Υπολογισμός ισοδύναμου TOPP χρήσης βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο στο GEMIS

### 5.3. ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Το είδος και η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα της ΑΚΖ των βιοκαυσίμων. Η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ο γαιάνθρακας ή ο λιγνίτης μπορούν να αντισταθμίσουν τη μείωση των εκπομπών GHG σε σχέση με τη βενζίνη, ενώ η χρήση βιομάζας ή άλλων ανανεώσιμων πηγών βελτιώνει την περιβαλλοντική επίδοση των βιοκαυσίμων

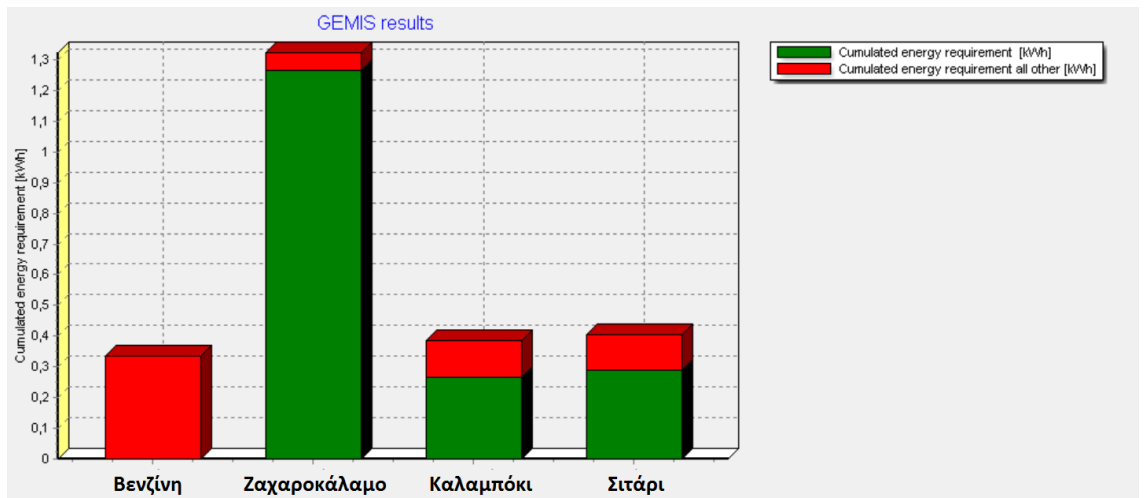
Στο GEMIS υπολογίζονται οι παρακάτω δείκτες για την συνολική ενεργειακή επίδοση του κύκλου ζωής.

Το CER (Cumulated Energy Requirement) αποτελεί ένα μέτρο για τη συνολική ποσότητα των πηγών ενέργειας (πρωτογενούς ενέργειας) που χρειάζεται για την παραγωγή ενός προϊόντος ή υπηρεσίας.

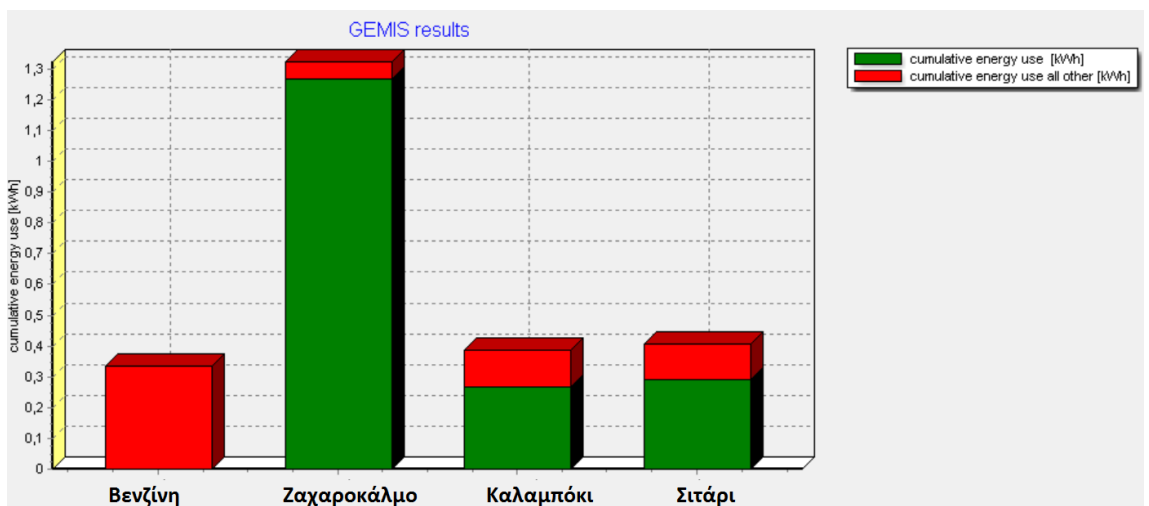
Το CEC (Cumulated Energy Consumption) είναι παρόμοιο με το CER και αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης για τη συνολική κατανάλωση των πηγών ενέργειας (πρωτογενούς ενέργειας) για την παροχή ενός προϊόντος ή υπηρεσίας. Το CEC μπορεί να χωριστεί στο ποσοστό των ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το CEC διαφέρει από το CER στο ότι τα ποσοστά ενέργειας, όπως η θερμότητα, που προκύπτουν από την υλική χρήση των πηγών ενέργειας δεν υπολογίζονται, εφόσον αυτά είναι ακόμη διαθέσιμα για ενεργειακή χρήση. Επομένως το CEC καλύπτει την απαραίτητη ενεργειακή δαπάνη για την παροχή των απαραίτητων υλικών χωρίς να συμπεριλαμβάνει την θερμοαντιδραστική τους αξία.

Το CMR (Cumulated Material Requirement) αποτελεί ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας των πρώτων υλών που χρειάζονται για την παραγωγή ενός προϊόντος ή υπηρεσίας.

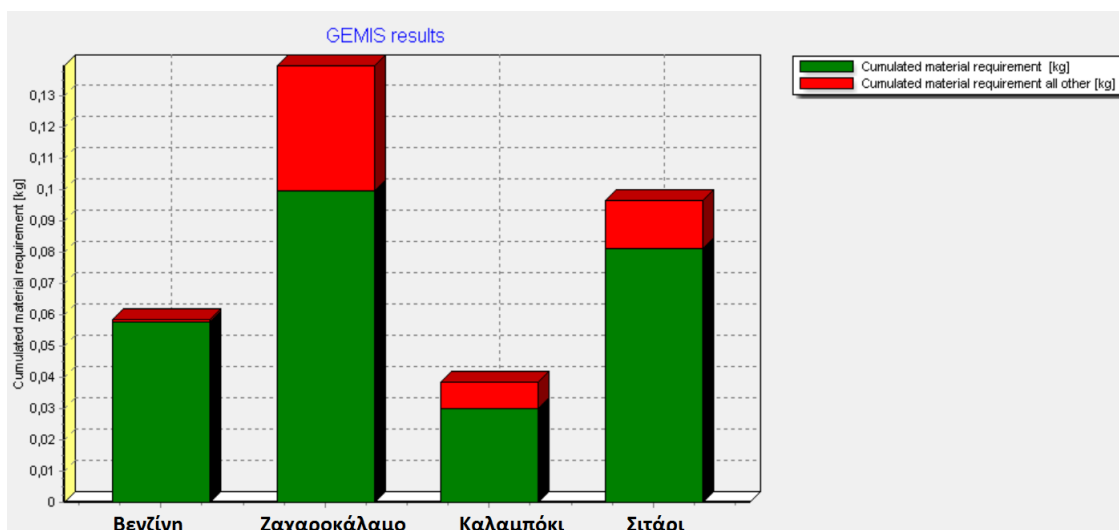
Στη συνέχεια παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα από το πρόγραμμα GEMIS για τα παραπάνω μέτρα χρήσης ενεργειακών πόρων.



Σχήμα 5.10 Συγκριτικό διάγραμμα CER



Σχήμα 5.11 Συγκριτικό διάγραμμα CEC



Σχήμα 5.12 Συγκριτικό διάγραμμα CMR

Εναλλακτικές [kg]	Άθροισμα	Μη Ανανεώσιμες	Ανανεώσιμες	Άλλες
Βενζίνη	3,35E-01	3,34E-01	6,07E-04	2,66E-04
Ζαχαροκάλαμο	1,323077392	5,61E-02	1,266794712	1,95E-04
Καλαμπόκι	3,85E-01	1,18E-01	2,66E-01	1,55E-04
Σιτάρι	4,05E-01	1,16E-01	2,88E-01	1,40E-03

Πίνακας 5.7 Ποσότητες CER από τη χρήση βιοαιθανόλης σε αυτοκίνητα

Εναλλακτικές [kg]	Άθροισμα	Μη Ανανεώσιμες	Ανανεώσιμες	Άλλες
Βενζίνη	3,35E-01	3,34E-01	6,07E-04	2,66E-04
Ζαχαροκάλαμο	1,323036812	5,60E-02	1,266794712	1,95E-04
Καλαμπόκι	3,85E-01	1,18E-01	2,66E-01	1,55E-04
Σιτάρι	4,05E-01	1,16E-01	2,88E-01	1,40E-03

Πίνακας 5.8 Ποσότητες CEC από τη χρήση βιοαιθανόλης σε αυτοκίνητα

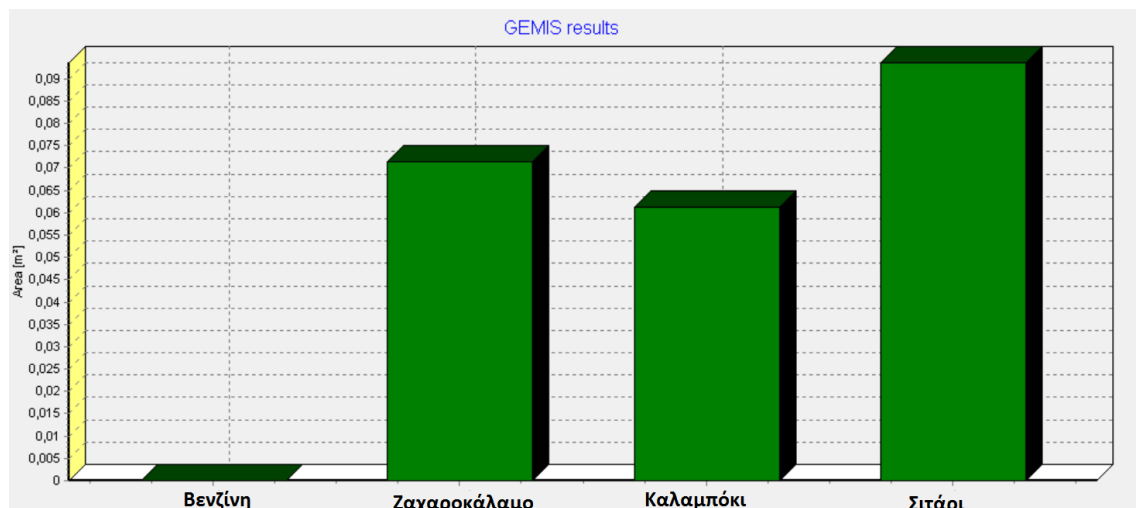
Εναλλακτικές [kg]	Άθροισμα	Μη Ανανεώσιμες	Ανανεώσιμες	Άλλες
Βενζίνη	5,86E-02	7,13E-04	5,78E-02	1,03E-04
Ζαχαροκάλαμο	0,13976132	4,02E-02	0,099567767	2,08E-05
Καλαμπόκι	3,86E-02	8,69E-03	2,99E-02	4,11E-05
Σιτάρι	9,68E-02	1,55E-02	8,13E-02	4,39E-05

Πίνακας 5.9 Ποσότητες CMR από τη χρήση βιοαιθανόλης σε αυτοκίνητα

Στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται ο λιθάνθρακας, ο λιγνίτης, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και η πυρηνική ενέργεια. Στις ανανεώσιμες πηγές περιλαμβάνονται η βιομάζα, τα υπολείμματα βιομάζας, η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική και γεωθερμική ενέργεια. Στις άλλες πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται τα απόβλητα, η δευτεροβάθμια πρώτη ύλη και τα θερμικά απόβλητα.

#### 5.4. ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ

Στο σχήμα 5.13 φαίνεται το συγκριτικό διάγραμμα από το πρόγραμμα GEMIS για τη χρήση γης.



Σχήμα 5.13 Συγκριτικό διάγραμμα χρήσης γης

Στον πίνακα 5.10 φαίνονται οι εκτάσεις χρήσης γης

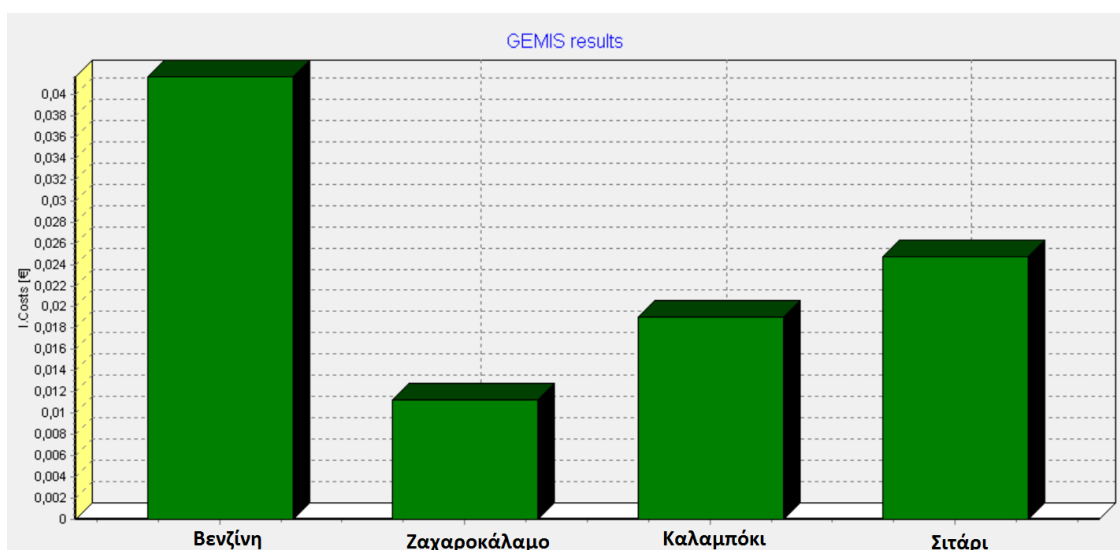
Εναλλακτικές [m <sup>2</sup> ]	Σύνολο
Βενζίνη	4,11E-05
Ζαχαροκάλαμο	7,16E-02
Καλαμπόκι	6,12E-02
Σιτάρι	9,36E-02

Πίνακας 5.10 Εκτάσεις χρήσης γης

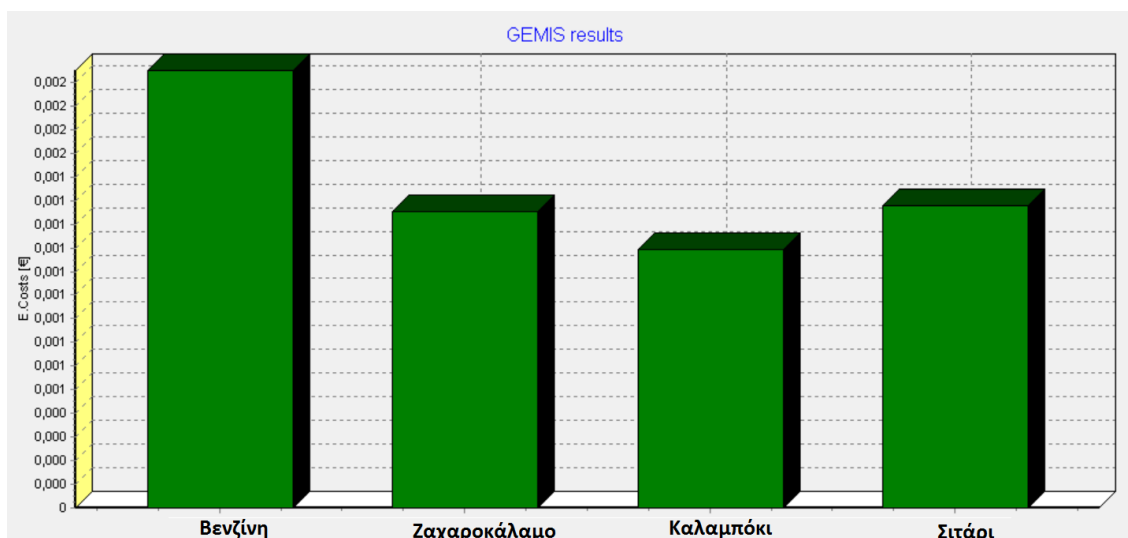
## 5.5. ΚΟΣΤΟΣ

Με το πρόγραμμα GEMIS μπορούν να υπολογιστούν το εσωτερικό κόστος, το οποίο συμπεριλαμβάνει το κόστος επένδυσης, τα σταθερά ετήσια έξοδα, το μεταβλητό κόστος και το κόστος καυσίμων και το εξωτερικό (κοινωνικό) κόστος.

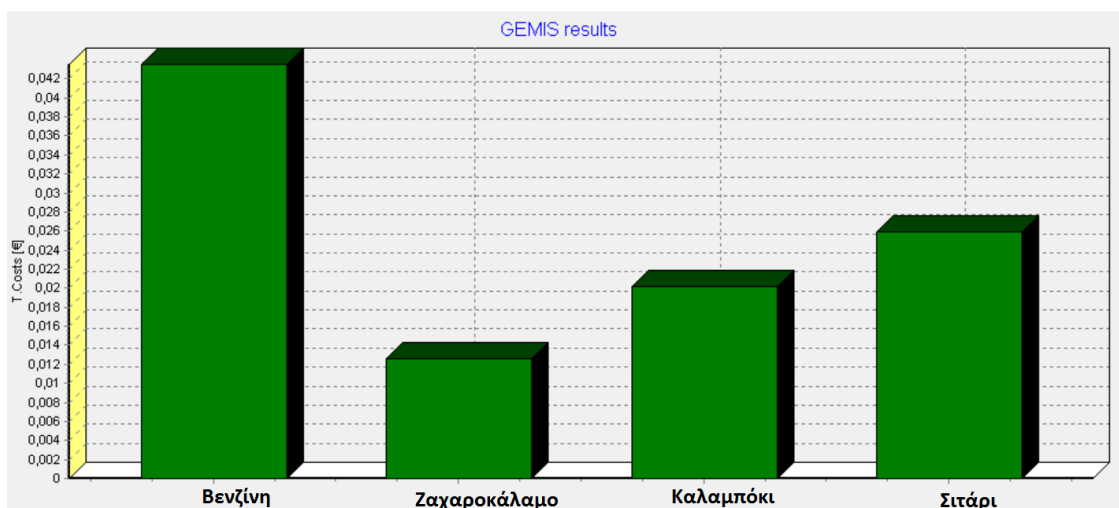
Το εξωτερικό κόστος στο πρόγραμμα GEMIS είναι το περιβαλλοντικό κόστος των εκπομπών εκφρασμένο σε νομισματικές μονάδες. Αυτό το κόστος αντιπροσωπεύει την νομισματική αξία της αποζημίωσης ή της αποφυγής που σχετίζονται με τις εκπομπές ή τα υπολείμματα. Το εξωτερικό κόστος δεν είναι μέρος των συνήθων οικονομικών υπολογισμών, αφού το κοινωνικό κόστος των εκπομπών και των υπολειμμάτων είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής τους. Από κοινωνική άποψη ωστόσο το εξωτερικό κόστος πρέπει να συμπεριληφθεί σε αποφάσεις που σχετίζονται με επενδύσεις ή προμήθειες. Στην βάση δεδομένων εξωτερικών κοστών του GEMIS υπάρχουν τιμές για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τα αέρια θερμοκηπίου, οι οποίες προκύπτουν από το κόστος να αποφευχθούν (και να ελεγχθούν) οι εκπομπές αυτών. Παρακάτω παρατίθενται τα αντίστοιχα συγκριτικά διαγράμματα από το πρόγραμμα GEMIS. Σημειώνεται εδώ ότι το εσωτερικό κόστος είναι ίδιο με το κόστος της διεργασίας χρήσης του καυσίμου σε αυτοκίνητο.



Σχήμα 5.14 Συγκριτικό διάγραμμα εσωτερικού κόστους



Σχήμα 5.15 Συγκριτικό διάγραμμα εξωτερικού κόστους



Σχήμα 5.16 Συγκριτικό διάγραμμα συνολικού κόστους

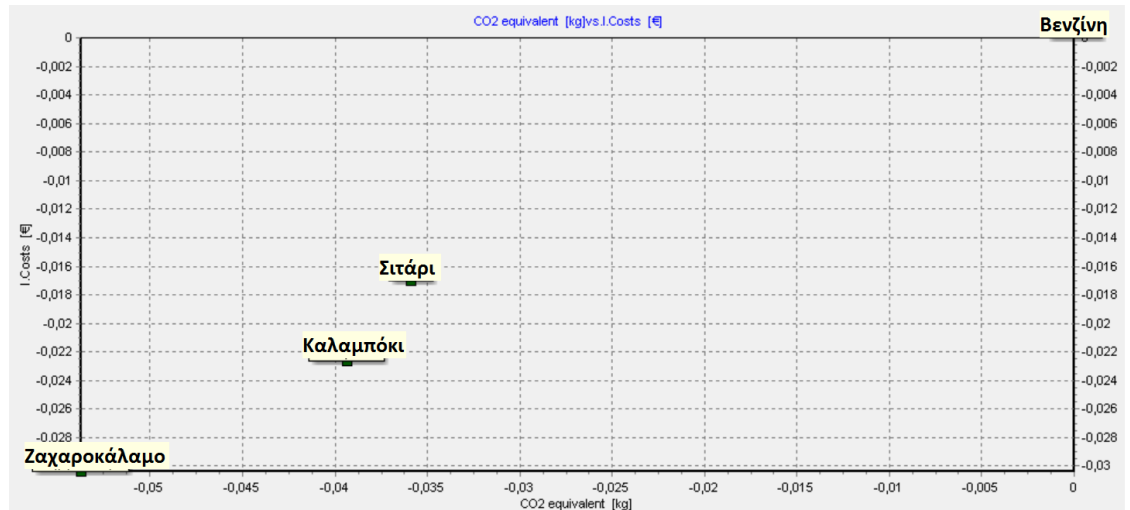
Στον πίνακα 5.11 φαίνονται οι τιμές του εσωτερικού, εξωτερικού και συνολικού κόστους για κάθε καύσιμο.

Εναλλακτικές [€]	Εσωτερικό κόστος	Εξωτερικό κόστος	Συνολικό κόστος
Βενζίνη	4,17E-02	1,85E-03	4,35E-02
Ζαχαροκάλαμο	1,13E-02	1,26E-03	1,26E-02
Καλαμπόκι	1,90E-02	1,09E-03	2,01E-02
Σιτάρι	2,47E-02	1,28E-03	2,60E-02

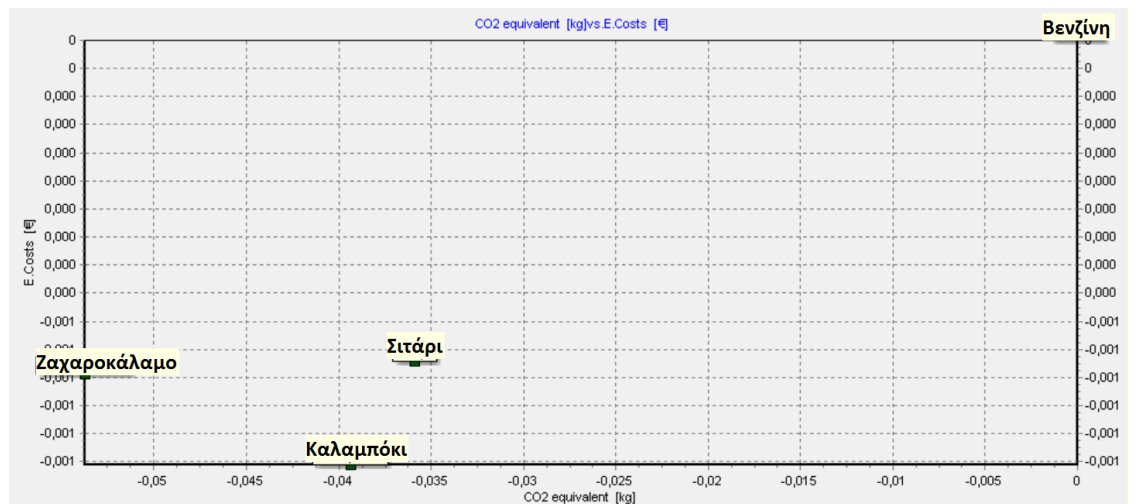
Πίνακας 5.11 Κόστος καυσίμων

## 5.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ

Στη συνέχεια παρατίθενται συγκριτικά διαγράμματα των εκπομπών ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το εσωτερικό, το εξωτερικό και το συνολικό κόστος της ανάλυσης κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων, έχοντας ως σημείο αναφοράς τη βενζίνη.

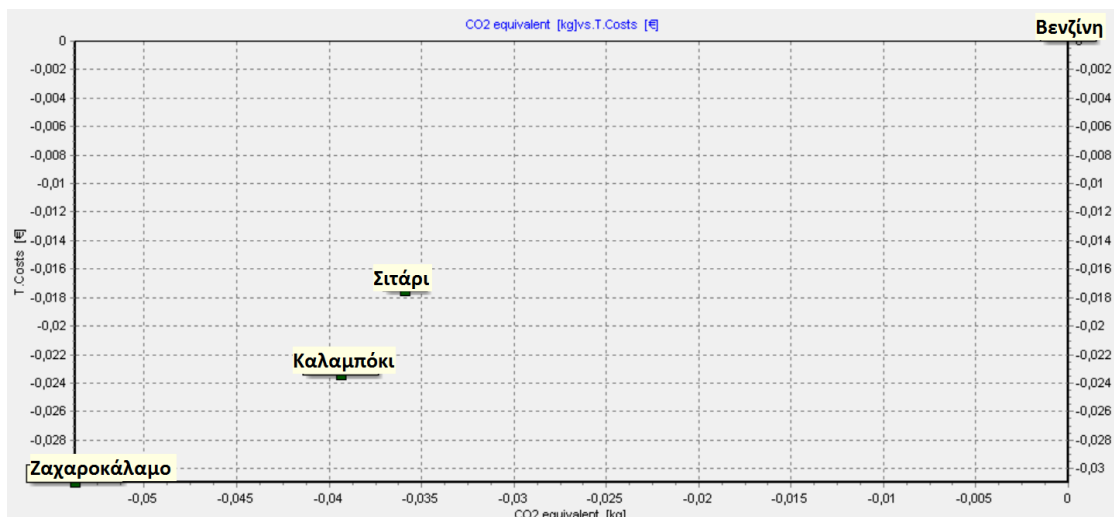


Σχήμα 5.17 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το εσωτερικό κόστος



Σχήμα 5.18 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το εξωτερικό κόστος

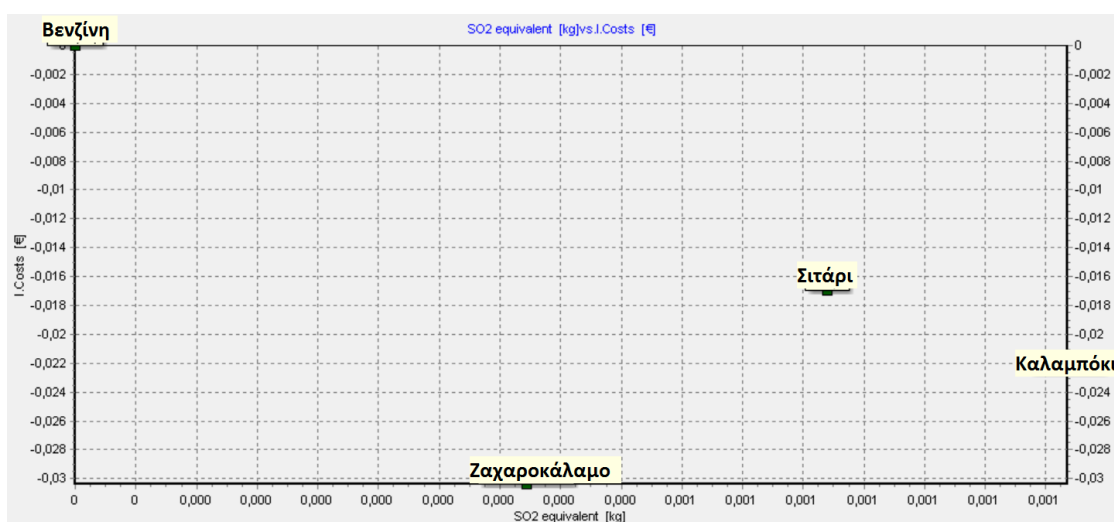




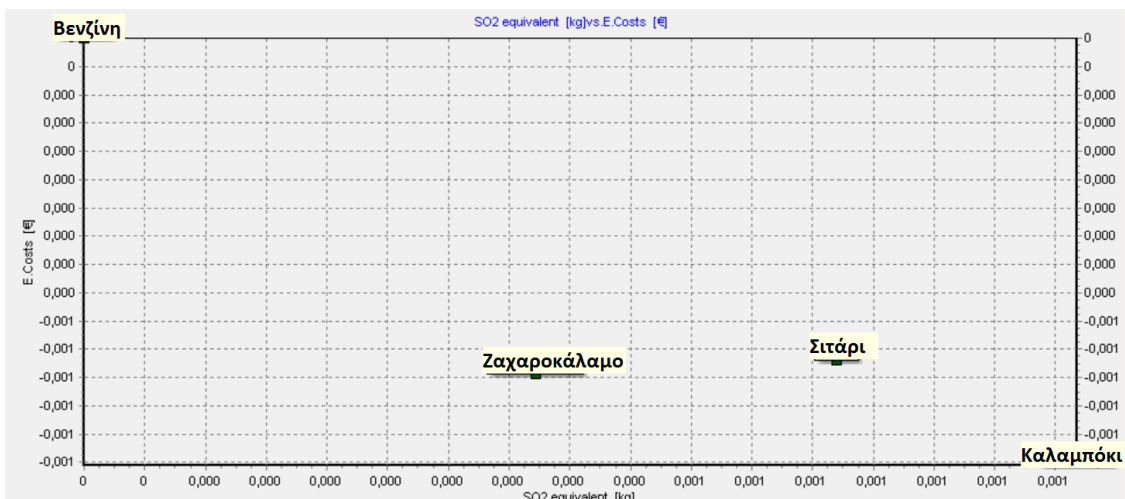
Σχήμα 5.19 Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το συνολικό κόστος

### 5.7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ

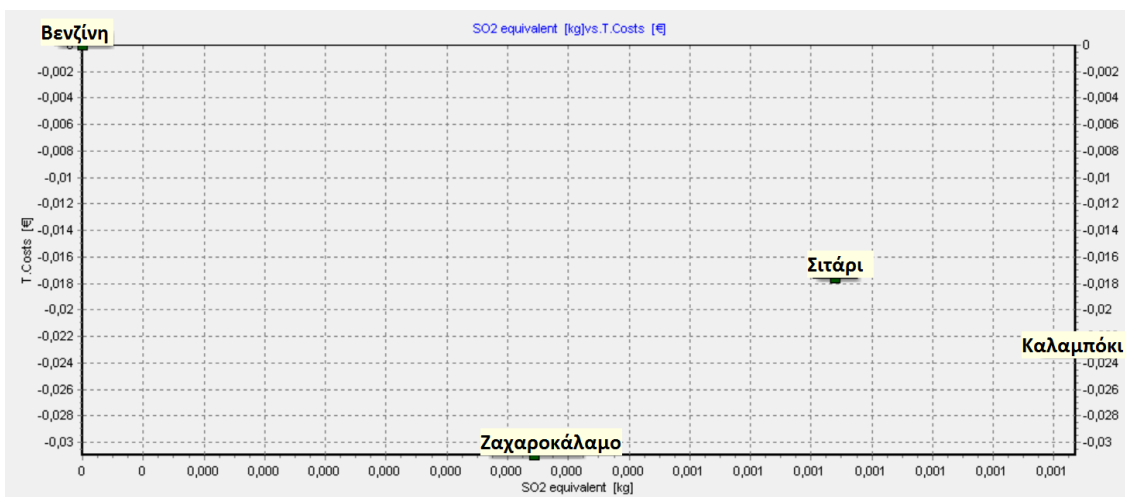
Στη συνέχεια παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα του ισοδύναμου SO<sub>2</sub> και του ισοδύναμου TOPP σε σχέση με το εσωτερικό, το εξωτερικό και το συνολικό κόστος της ανάλυσης κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων, έχοντας ως σημείο αναφοράς τη βενζίνη.



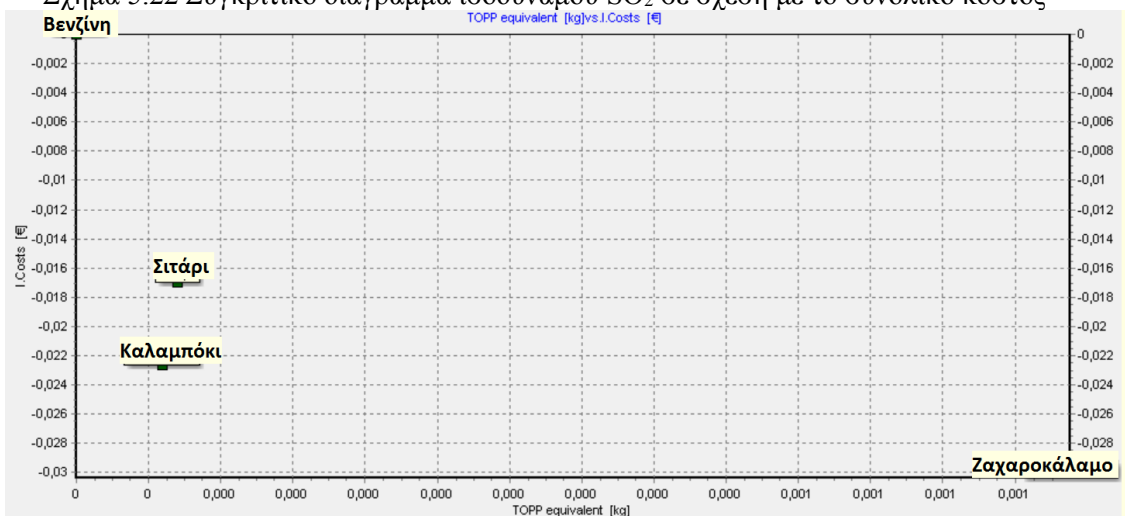
Σχήμα 5.20 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου SO<sub>2</sub> σε σχέση με το εσωτερικό κόστος



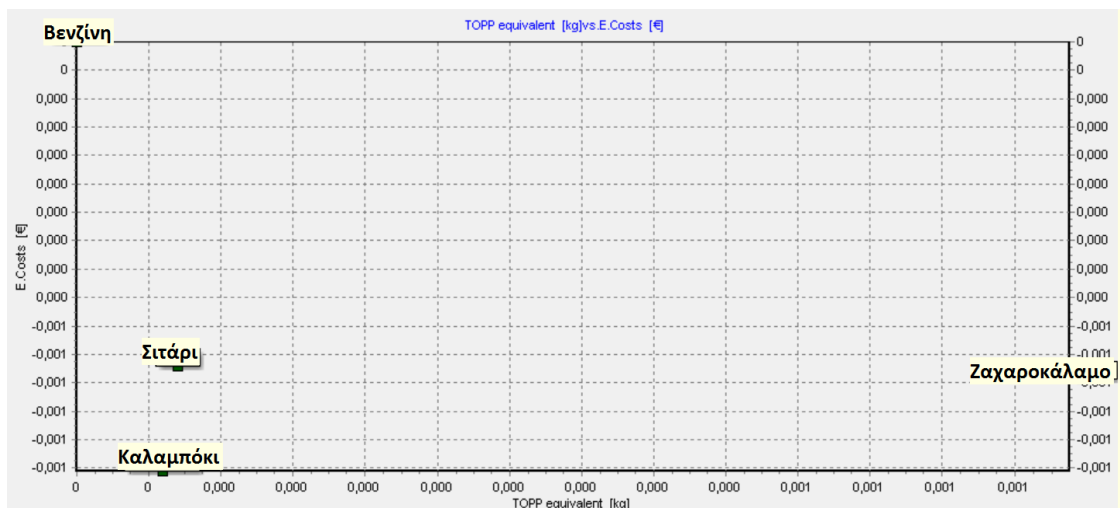
Σχήμα 5.21 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου SO<sub>2</sub> σε σχέση με το εξωτερικό κόστος



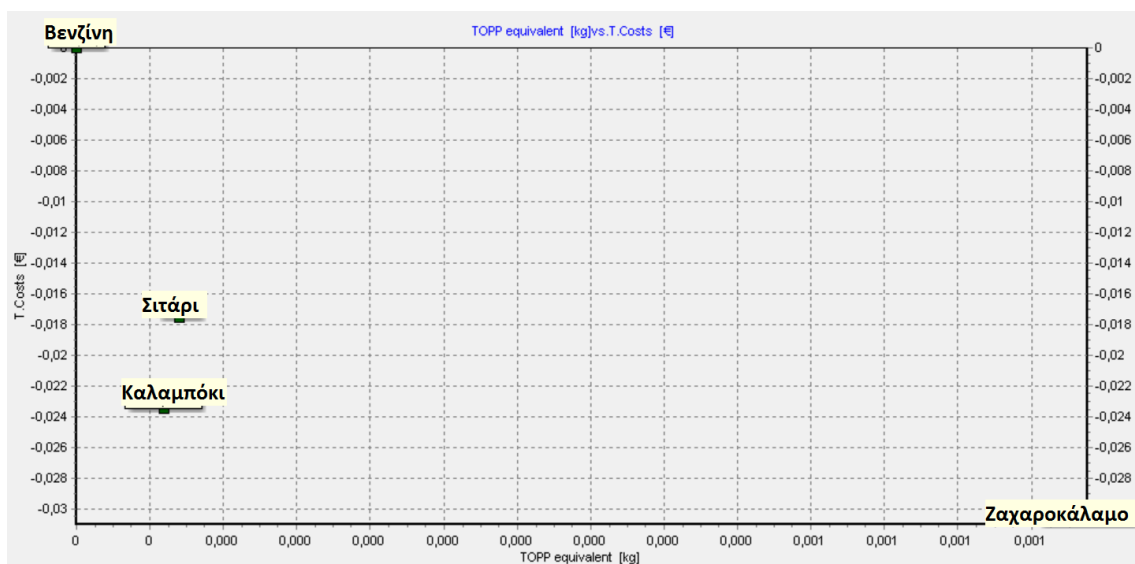
Σχήμα 5.22 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου SO<sub>2</sub> σε σχέση με το συνολικό κόστος



Σχήμα 5.23 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου TOPP σε σχέση με το εσωτερικό κόστος



Σχήμα 5.24 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου TOPP σε σχέση με το εξωτερικό κόστος

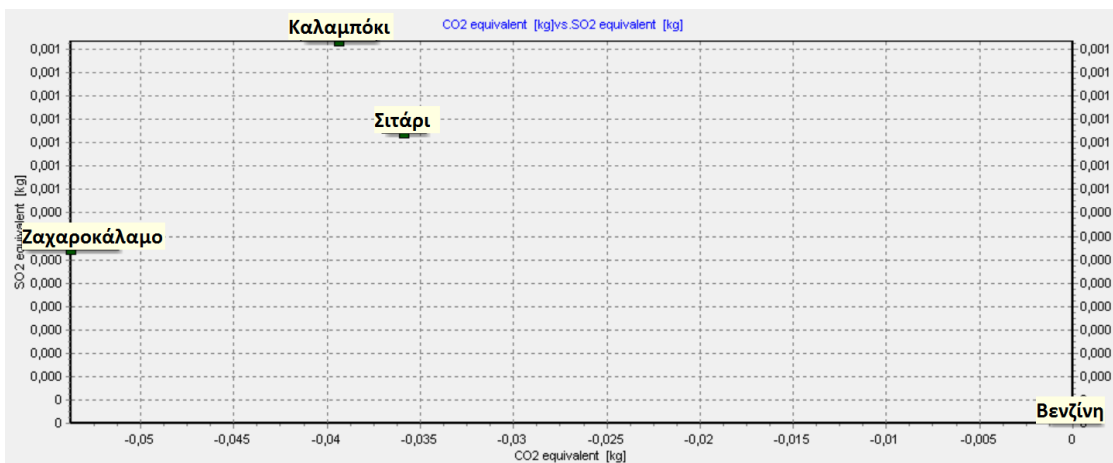


Σχήμα 5.25 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου TOPP σε σχέση με το συνολικό κόστος

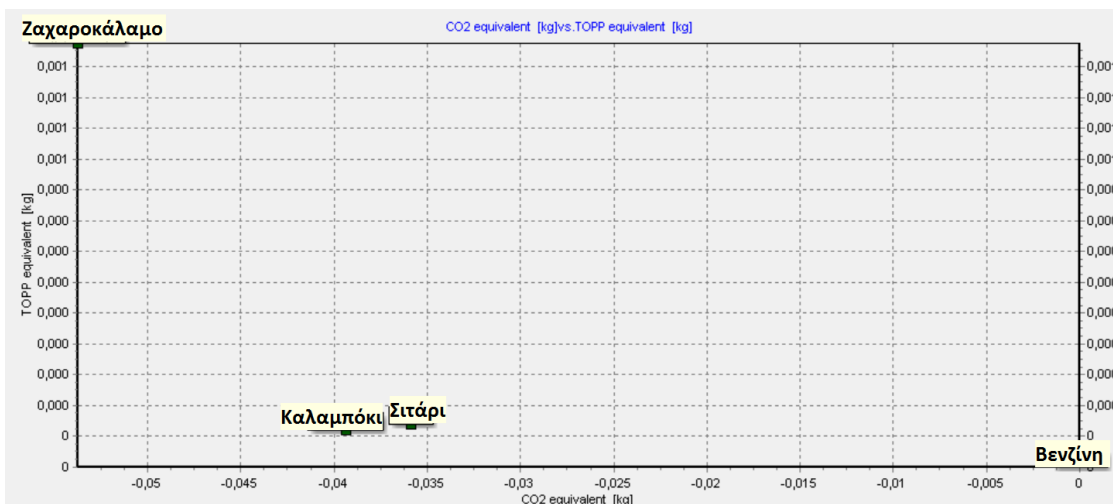
## 5.8. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ

### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Παρακάτω βλέπουμε τα συγκριτικά διαγράμματα του ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το ισοδύναμο SO<sub>2</sub> και το ισοδύναμο TOPP της ανάλυσης κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων, έχοντας ως σημείο αναφοράς τη βενζίνη.



Σχήμα 5.26 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το ισοδύναμο SO<sub>2</sub>



Σχήμα 5.27 Συγκριτικό διάγραμμα ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το ισοδύναμο TOPP

## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 6.1. ΑΕΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Όπως φαίνεται από τα συγκριτικά διαγράμματα στο Κεφάλαιο 5.1 τα καύσιμα που προέρχονται από βιοαιθανόλη έχουν σημαντικά μικρότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, όπως φαίνεται από τον υπολογισμό του ισοδύναμου CO<sub>2</sub>. Το βιοκαύσιμο με τις μικρότερες εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> είναι το ζαχαροκάλαμο και ακολουθεί το καλαμπόκι και το σιτάρι. Τα αποτελέσματα αυτά επαληθεύονται και από το συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Στα διαγράμματα εκπομπών N<sub>2</sub>O παρατηρούνται μειωμένες εκπομπές στη βενζίνη σε σχέση με τα βιοκαύσιμα. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2 οι εκπομπές N<sub>2</sub>O συνεισφέρουν σε ποσοστό 42,93% στις εκπομπές GHG και προέρχονται κυρίως από τη διεργασία της καλλιέργειας. Πράγματι οι εκπομπές N<sub>2</sub>O παράγονται από μικροβιακές διεργασίες στο έδαφος από την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων ή από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Οι εκπομπές μπορεί να ποικίλουν ανάλογα το έδαφος, το κλίμα, το είδος και την μέθοδο καλλιέργειας και τα ποσοστά χρήσης λιπασμάτων. Οι πραγματικές εκπομπές μπορεί να είναι μικρές, αλλά ο συντελεστής GWP του N<sub>2</sub>O είναι 298 και επομένως η συνεισφορά του στις συνολικές εκπομπές GHG είναι σημαντική.

Από το διάγραμμα 5.4 φαίνεται ότι τις χαμηλότερες εκπομπές N<sub>2</sub>O από τα βιοκαύσιμα έχει το ζαχαροκάλαμο και ακολουθούν το καλαμπόκι και το σιτάρι. Οι εκπομπές N<sub>2</sub>O είναι μεγαλύτερες για τα βιοκαύσιμα που προέρχονται από ετήσιες καλλιέργειες, όπως το καλαμπόκι και το σιτάρι σε σχέση με της πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες, όπως είναι το ζαχαροκάλαμο. Αυτό συμβαίνει επειδή στις ετήσιες καλλιέργειες η συχνότητα εφαρμογής λιπασμάτων είναι μεγαλύτερη.

Η συνεισφορά των εκπομπών CH<sub>4</sub>, υπερφθορομεθανίου και υπερφθοροαιθανίου στις εκπομπές GHG της AKZ των βιοκαυσίμων είναι μικρή και δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

## 6.2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Από το σχήμα 5.7 προκύπτει ότι τα βιοκαύσιμα έχουν μεγαλύτερες εκπομπές ισοδύναμου SO<sub>2</sub> σε σχέση με τη βενζίνη. Το μεγαλύτερο ποσοστό προκύπτει από τη διεργασία της καλλιέργειας και μετά από της χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο. Πράγματι το υψηλό δυναμικό οξίνισης οφείλεται στην παρασκευή και τη χρήση των λιπασμάτων κατά την καλλιέργεια των πρώτων υλών βιομάζας και εξαρτάται από τις εκπομπές αερίων αμμωνίας (NH<sub>3</sub>), οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>). Με κατάλληλες γεωργικές πρακτικές και τη χρήση οργανικών λιπασμάτων οι εκπομπές αυτές μπορούν να μειωθούν.

Παρατηρούμε ότι τις χαμηλότερες εκπομπές ισοδύναμου SO<sub>2</sub> έχει η ανάλυση κύκλου ζωής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο και στη συνέχεια ακολουθούν από το καλαμπόκι και το σιτάρι με μικρές διαφορές, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό ισοδύναμου SO<sub>2</sub> προέρχεται από τις εκπομπές NH<sub>3</sub> (84% με 89%). Αυτό οφείλεται στη λιγότερο εντατική καλλιέργεια του ζαχαροκάλαμου και στις υψηλές συγκεντρώσεις αζωτούχων λιπασμάτων κατά την καλλιέργεια του καλαμποκιού και του σίτου, οι οποίες οδηγούν σε υψηλές εκπομπές NH<sub>3</sub> και NO<sub>x</sub>. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> από το έδαφος εξαρτώνται και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους.

Από το σχήμα 5.8 βλέπουμε πάλι ότι τα βιοκαύσιμα έχουν μεγαλύτερες εκπομπές ισοδύναμου TOPP σε σχέση με τη βενζίνη. Μάλιστα τις μεγαλύτερες εκπομπές έχει η βιοαιθανόλη που προέρχεται από το ζαχαροκάλαμο και ακολουθούν το καλαμπόκι

και τι σιτάρι με μικρές διαφορές. Οι εκπομπές ισοδύναμου TOPP από την πρώτη ύλη ζαχαροκάλαμου οφείλονται σε μεγαλύτερο ποσοστό στην καλλιέργεια του και ακολουθούν οι διεργασίες χρήσης της βιοαιθανόλης ως καύσιμο σε αυτοκίνητο και ο ανεφοδιασμός της βιοαιθανόλης. Αυτό προκύπτει από την πρακτική γρήγορης καύσης των καλλιεργειών πριν από το θερισμό του ζαχαροκάλαμου προκαλώντας μεγάλες εκπομπές αέριων ρύπων, οι οποίες αυξάνουν τα επίπεδα τροποσφαιρικού όζοντος στις περιοχές που γίνεται η καύση. Οι νέες τεχνολογίες και η μηχανοποίηση του θερισμού του ζαχαροκάλαμου μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές αυτές.

Στο συγκριτικό διάγραμμα 5.9 όπου βλέπουμε ότι η συγκέντρωση εκπομπών PM από την ανάλυση κύκλου ζωής βιοαιθανόλης που προέρχεται από το ζαχαροκάλαμο είναι πολύ μεγαλύτερη από της βενζίνης και των άλλων βιοκαυσίμων. Αυτό οφείλεται στις πρακτικές καύσεις των καλλιεργειών που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι οποίες προκαλούν μεγάλες εκπομπές αερολυμάτων.

### 6.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Εδώ θα εξετάσουμε την κατανάλωση των μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Από τα συγκριτικά διαγράμματα των CER και CEC (τα οποία έχουν μικρές διαφορές) παρατηρούμε ότι σαφώς τα βιοκαύσιμα έχουν μικρότερη κατανάλωση μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων σε σχέση με τη βενζίνη.

Από την AKZ της βιοαιθανόλης που προέρχεται από το ζαχαροκάλαμο φαίνεται ότι αν και έχει τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, αυτή προέρχεται σε μικρότερο ποσοστό από μη ανανεώσιμους πόρους σε σχέση με την AKZ της βιοαιθανόλης από καλαμπόκι και σιτάρι, οι οποίες έχουν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Η μεγαλύτερη

κατανάλωση ενέργειας των βιοκαυσίμων προέρχεται από τη διεργασία της καλλιέργειας.

#### 6.4. ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ

Από το σχήμα 5.13 φαίνεται ότι σαφώς τα βιοκαύσιμα έχουν μεγαλύτερη χρήση γης σε σχέση με τη βενζίνη, η οποία γη προέρχεται από τη διεργασία της καλλιέργειας.

Η απαιτούμενη γη υπολογίζεται από την οριστική απόδοση της των ενεργειακών καλλιιεργειών και δεν συνυπολογίζονται οι δυνατές αλλαγές χρήσης γης.

Παρατηρούμε ότι τη μικρότερη χρήση γης έχει η βιοαιθανόλη που προέρχεται από καλαμπόκι και ακολουθούν από το ζαχαροκάλαμο και το σιτάρι.

Η απόδοση των ενεργειακών καλλιιεργειών (και η εκτίμηση της απαιτούμενης γης) εξαρτάται εκτός από την πρώτη ύλη και από την ποιότητα του εδάφους και τις πρακτικές καλλιέργειας, όπως η χρήση λιπασμάτων, η άρδευση κλπ. Οι βελτιωμένες ποικιλίες καλλιέργειας και οι αυξημένες εισροές αυξάνουν την απόδοση τους, ενώ η επέκταση των καλλιιεργειών σε έδαφος οριακής απόδοσης τη μειώνουν.

#### 6.5. ΚΟΣΤΟΣ

Από τα σχήματα 5.14 με 5.16 φαίνεται ότι τα βιοκαύσιμα έχουν μικρότερο κόστος από τη βενζίνη. Το μικρότερο εσωτερικό και συνολικό κόστος το παρουσιάζει η βιοαιθανόλη από ζαχαροκάλαμο και ακολουθεί η βιοαιθανόλη από το καλαμπόκι και τέλος από το σιτάρι. Το βιοκαύσιμο με το μικρότερο εξωτερικό κόστος προέρχεται από το καλαμπόκι και ακολουθεί το ζαχαροκάλαμο και τέλος το σιτάρι (σχήμα 5.15).

#### 6.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ



Από το σχήμα 5.17 βλέπουμε ότι όπως ήταν αναμενόμενο η βενζίνη έχει τη χειρότερη επίδοση. Από τα βιοκαύσιμα τις μικρότερες εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> με το μικρότερο εσωτερικό κόστος έχει η βιοαιθανόλη που προέρχεται από το ζαχαροκάλαμο και ακολουθούν το καλαμπόκι και τέλος το σιτάρι. Τα αποτελέσματα αυτά παρμένον ίδια και για τις εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> σε σχέση με το συνολικό κόστος (σχήμα 5.19).

Από το σχήμα 5.18 παρατηρούμε ότι τις χαμηλότερες εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> έχει η βιοαιθανόλη με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο ενώ το μικρότερο εξωτερικό κόστος έχει η βιοαιθανόλη με πρώτη ύλη το καλαμπόκι.

#### 6.7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ

Από τα σχήματα 5.19 έως 5.25 παρατηρούμε ότι τα βιοκαύσιμα έχουν χειρότερη επίδοση ως προς τις εκπομπές ισοδύναμου SO<sub>2</sub> και TOPP αλλά καλύτερη σε σχέση με το κόστος.

Στο σχήμα 5.22 βλέπουμε ότι το βιοκαύσιμο με τις μικρότερες εκπομπές SO<sub>2</sub> και το μικρότερο συνολικό κόστος είναι η βιοαιθανόλη από ζαχαροκάλαμο. Η βιοαιθανόλη από καλαμπόκι έχει μικρότερο συνολικό κόστος από το σιτάρι αλλά έχει μεγαλύτερες εκπομπές ισοδύναμου SO<sub>2</sub>.

Στο σχήμα 5.25 παρατηρούμε ότι το βιοκαύσιμο με το χαμηλότερο συνολικό κόστος είναι η βιοαιθανόλη από ζαχαροκάλαμο, αλλά η βιοαιθανόλη από καλαμπόκι και σιτάρι έχουν πολύ πιο χαμηλές εκπομπές ισοδύναμου TOPP.

#### 6.8. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ

##### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Από τα σχήματα 5.26 και 5.27 βλέπουμε ότι η βενζίνη έχει χειρότερη επίδοση ως προς τις εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> αλλά καλύτερη ως προς τις εκπομπές ισοδύναμου SO<sub>2</sub> και TOPP.

Από τα βιοκαύσιμα, η βιοαιθανόλη από ζαχαροκάλαμο έχει τις χαμηλότερες εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub>, ενώ εμφανίζει τις υψηλότερες εκπομπές ισοδύναμου TOPP. Η βιοαιθανόλη παραγόμενη από καλαμπόκι έχει τις χαμηλότερες εκπομπές ισοδύναμου TOPP με λίγο πιο αυξημένες όμως εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub>. Ακολουθεί με μικρή διαφορά η βιοαιθανόλη παραγόμενη από σιτάρι.

#### 6.9. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ

Οι αδυναμίες της παρούσας εργασίας αφορούν κυρίως σε έλλειψη δεδομένων που σχετίζονται με τις διεργασίες, τις εκπομπές, του κόστους, της απαιτούμενης ενέργειας κ.α. Τα αυτά δεδομένα αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων του προγράμματος GEMIS, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού τους, του εξειδικευμένου αντικειμένου τους και της δυσκολίας εύρεσης τους. Για καλύτερα αποτελέσματα σκόπιμη είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας τους, καθώς και η δημιουργία μιας ελληνικής βάσης δεδομένων.

Επιπλέον η ανάλυση κύκλου ζωής δεν συμπεριέλαβε στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις την απώλεια βιοποικιλότητας, τις επιπτώσεις στην ποιότητα και την ποσότητα του νερού, τον ευτροφισμό, τη διατήρηση του εδάφους και την ενεργειακή απόδοση των βιοκαυσίμων.

#### 6.10. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΝΥΠΟΛΟΓΙΣΤΟΥΝ

### **6.10.1. Βιωσιμότητα**

Εφόσον ένας από τους κύριους σκοπούς της χρήσης βιοαιθανόλης είναι ο μετριασμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κυρίως των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, είναι σημαντικό να διασφαλιστούν τα πραγματικά αποτελέσματα της παραγωγής αιθανόλης. Επιπλέον, αφού η χρήση της αιθανόλης αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο, δημιουργείται η ανάγκη για αειφόρα γεωργική παραγωγή. Για τα επόμενα χρόνια θα υπάρχει εξάρτηση σε μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών βιομάζας. Γι' αυτό είναι σημαντικό να διασφαλιστούν οι ασφαλείς, μακροχρόνιες, κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις ενός σχετικά καινούργιου βιομηχανικού και γεωργικού τομέα με ταχεία ανάπτυξη. Όπως λένε εξάλλου «δεν υπάρχει νόημα στο να αντικατασταθεί ένα μη βιώσιμο σύστημα με ένα άλλο».

Εφόσον τα ορυκτά καύσιμα δεν προϋποθέτουν μεγάλες εκτάσεις καλλιέργειας για την παραγωγή τους, είναι λογικό να αναμένουμε μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, στο έδαφος και στο νερό από την παραγωγή βιοκαυσίμων. Επομένως τα δύο είδη καυσίμων δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα και οποιαδήποτε σύγκριση θα απαιτούσε τον υπολογισμό διαφορετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Θα ήταν λάθος να υπολογιστούν μόνο οι εκπομπές από την χρήση της βιοαιθανόλης σε αυτοκίνητο αφού οι διεργασίες καλλιέργειας της επηρεάζουν σημαντικά τον κύκλο ζωής της.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την βιωσιμότητα της παραγωγής βιοαιθανόλης.

- Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής της αιθανόλης πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές των ορυκτών καυσίμων.

- Τα θρεπτικά συστατικά της βιομάζας πρέπει να επιστρέφουν στο έδαφος.
- Ο άνθρακας που αποθηκεύεται στο έδαφος και πάνω από το έδαφος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την έναρξη καινούριας παραγωγής βιομάζας.
- Η διάβρωση και η υποβάθμιση του εδάφους, όπως και οι πόροι και η ποιότητα νερού αποτελούν βασικές ανησυχίες.
- Η διασφάλιση τροφίμων και τιμών παγκοσμίως πρέπει να ληφθεί υπόψη.
- Εφόσον τα βιοκαύσιμα αποτελούν διεθνές αγαθό, θα πρέπει να δημιουργηθεί διεθνές σύστημα πιστοποίησης βιωσιμότητας και διεθνή πρότυπα για τη διασφάλιση ενός ελάχιστου επιπέδου αειφορίας.

#### **6.10.2. Αλλαγή χρήσης γης**

Αλλαγές στην διαχείριση και τη χρήση της γης μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις εκπομπές GHG που σχετίζονται με τις αλυσίδες εφοδιασμού βιοενέργειας. Μία καινούρια χρήση γης για ενεργειακές καλλιέργειες θα συσσωρεύσει διαφορετική ποσότητα άνθρακα σε σχέση τις αρχικές μη ενεργειακές καλλιέργειες. Εάν υπάρχει απώλεια άνθρακα στη βιομάζα ή το έδαφος τότε αυτό ισοδυναμεί με εκπομπή CO<sub>2</sub>. Εάν αντίθετα υπάρχει αύξηση της περιεκτικότητας της βιομάζας ή του εδάφους σε άνθρακα τότε μειώνονται οι εκπομπές GHG, εφόσον το CO<sub>2</sub> αφαιρείται από την ατμόσφαιρα (αρνητική εκπομπή).

Μία αλλαγή στη χρήση γης για την παραγωγή βιομάζας για βιοενέργεια (όταν μια έκταση που δεν καλλιεργείται μετατραπεί σε ενεργειακή καλλιέργεια) αποτελεί μία άμεση αλλαγή στη χρήση γης (dLUC) και συμπεριλαμβάνεται στα όρια του συστήματος της ανάλυσης κύκλου ζωής.

Ο όρος έμμεση αλλαγή της χρήσης γης (iLUC) αναφέρεται στις αλλαγές στη χρήση γης που συμβαίνουν εκτός των ορίων του συστήματος εξαιτίας της μετατόπισης των υπηρεσιών (όπως είναι η παραγωγή τροφής) που περιέχονταν πριν από τη γη, η οποία τώρα χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοενέργειας. Έμμεση αλλαγή χρήσης γης έχουμε όταν μια γη που καλλιεργείται για παραγωγή τροφής μετατρέπεται σε ενεργειακή καλλιέργεια, προκαλώντας έτσι καινούρια παραγωγή τροφής σε άλλη έκταση.

Οι περισσότερες AKZ δεν έχουν εκτιμήσει μέχρι τώρα τις iLUC και τις άλλες έμμεσες επιπτώσεις. Η ποσοτικοποίηση των εκπομπών εξαιτίας των iLUC είναι πολύ δύσκολη, αφού είναι αδύνατο να αναγνωριστεί εάν μια αλλαγή χρήσης γης είναι το αποτέλεσμα ενός συγκεκριμένου συστήματος βιοενέργειας ή οφείλεται σε άλλες αιτίες, όπως η αυξημένη ζήτηση για τροφή λόγω της αύξησης του πληθυσμού ή της αστικής επέκτασης. Για να καθοριστούν οι εκπομπές που προέρχονται από την iLUC είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν σύνθετες αλληλεπιδράσεις και τάσεις, συμπεριλαμβανομένων της αποψίλωσης των δασών, της δημιουργίας νέων διατροφικών συνηθειών που επηρεάζουν τις τιμές των τροφίμων, την επέκταση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και του εμπορίου τροφίμων, ζωοτροφών, ινών και βιοκαυσίμων.

Για τη μείωση των έμμεσων αλλαγών της χρήσης γης που σχετίζονται με τη βιοενέργεια πρέπει να ληφθούν μέτρα όπως:

- Η μείωση της ζήτησης βιομάζας με την αύξηση της αποδοτικότητας των καλλιεργειών βιομάζας και την αποτελεσματικότερη μετατροπή βιομάζας σε ενέργεια.
- Η χρήση αποβλήτων και υπολειμμάτων ως πηγή βιομάζας για βιοενέργεια.

- Η αύξηση της απόδοσης της βιομάζας ανά εκτάριο.
- Η εντατικοποίηση της παραγωγής σε άλλες εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για γεωργική παραγωγή.
- Η χρήση των υποπροϊόντων ως ζωοτροφή
- Η χρήση της μη παραγωγικής γης (παύση καλλιέργειας, σε αγρανάπαυση, υποβαθμισμένη ή οριακή γη) για ενεργειακές καλλιέργειες.
- Η ενσωμάτωση της παραγωγής βιομάζας σε αγροτικές καλλιέργειες όπως μέσω της γεωργοδασοπονίας.

Μερικά από αυτά τα μέτρα είναι γενικές απαιτήσεις για την βελτίωση των συστημάτων βιοενέργειας, αλλά μπορούν επίσης να μετριάσουν και τις επιπτώσεις στον τομέα τροφίμων. Ωστόσο οι επιπτώσεις από την αλλαγή χρήσης γης στον τομέα τροφίμων θα εξαρτηθούν από το συνολικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, οι απαιτήσεις για αποδοτική μετατροπή βιομάζας σε ενέργεια μειώνει την κατανάλωση βιομάζας ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, αλλά επιπλέον μεγαλώνει την αξία της βιομάζας σαν πρώτη ύλη βιοενέργειας και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ενεργειακής καλλιέργειας (της τιμής της γης και επομένως τον τροφίμων) αφού η ζήτηση της βιομάζας αυξάνεται.

Εάν οι στόχοι που θα τεθούν αφορούν σε συγκεκριμένες συνεισφορές της βιοενέργειας τότε η απαιτήσεις για αποδοτικότερη βιοενέργεια θα μειώσουν τον όγκο της βιομάζας που χρειάζεται. Εάν αντίθετα τεθούν γενικοί στόχοι μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> και χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και οι τιμές της βιοενέργειας είναι πιο ανταγωνιστικές τότε θα χρησιμοποιηθεί περισσότερη βιοενέργεια. Σε αυτό το σενάριο το κόστος του μετριασμού των GHG θα είναι μικρότερο, αλλά θα αυξηθεί ο ανταγωνισμός στη χρήση γης.

### **6.10.3. Υποπροϊόντα**

Γενικά όταν παράγονται περισσότερα υποπροϊόντα από τη διεργασία μετατροπής τότε θα δημιουργούνται λιγότερες εκπομπές GHG. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μη ενεργειακά υποπροϊόντα από τα συστήματα βιοενέργειας υποκαθιστούν άλλα προϊόντα στην αγορά. Επομένως οι εκπομπές των προϊόντων που υποκαθίστανται μειώνονται. Για παράδειγμα από τη διεργασία παραγωγής της αιθανόλης από καλαμπόκι ή σιτάρι προκύπτει ως προϊόν το DDGS το οποίο αποτελεί χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως και πολλές άλλες βιομηχανικές διεργασίες, αποτελεί ένα σύστημα με πολλαπλές εισροές και εκροές. Επομένως για τη σωστή αξιολόγηση των επιπτώσεων των βιοκαυσίμων πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα υποπροϊόντα. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο κύριες μεθοδολογικές διαδικασίες: την επέκταση του συστήματος ή την κατανομή (allocation).

Η κατανομή είναι η μέθοδος με την οποία η εισερχόμενη ροή ενέργειας και υλικών και οι εξερχόμενες εκπομπές μπορούν να κατανεμηθούν μεταξύ του προϊόντος και των υποπροϊόντων. Το πρότυπο ISO 14044 παρέχει οδηγίες για τις μεθόδους κατανομής που μπορούν να ακολουθηθούν.

### **6.10.4. Ανταγωνισμός τροφής και βιοκαυσίμων**

Το θέμα ανταγωνισμού τροφής και βιοκαυσίμων είναι κρίσιμο, σύνθετο και δημιουργεί αντιπαραθέσεις. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια θα παρατεθούν μόνο συγκεκριμένες απόψεις και όχι συμπεράσματα. Επειδή υπάρχουν πολλά ενδιαφερόμενα μέρη και συγκρουόμενα συμφέροντα, η επιχειρηματολογία για το θέμα φαίνεται να εξαρτάται από τα συμφέροντα αυτά.

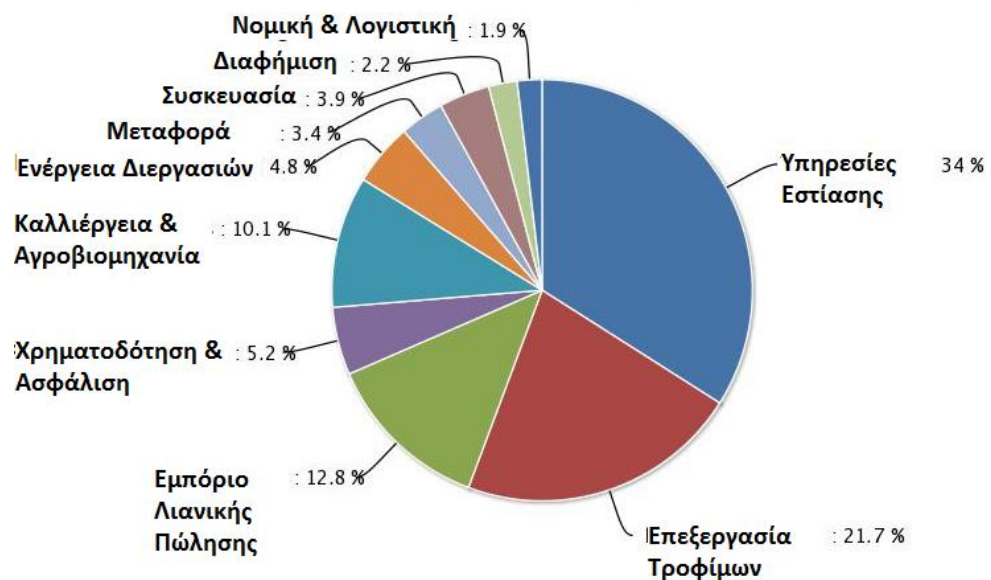
Η έκθεση του Ιδρύματος Ηνωμένων Εθνών (United Nations Foundation) «Biofuels FAQ» υποστηρίζει ότι σύμφωνα με την Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ (United Nations Food and Agriculture Organization, FAO) η αυξημένη παραγωγή τροφίμων θα καταφέρει να συμβαδίσει με τον αυξανόμενο πληθυσμό. Επιπλέον, σύμφωνα με την έκθεση, ο υποσιτισμός σε παγκόσμια κλίμακα δεν προκαλείται από την έλλειψη τροφής. Η παραγωγή τροφίμων θα μπορούσε εύκολα να αυξηθεί αν υπήρχε ζήτηση, δηλ. εάν οι φτωχοί πληθυσμοί θα μπορούσαν να πληρώσουν για την τροφή και να δημιουργήσουν ζήτηση. Επειδή οι περισσότεροι από τους φτωχούς πληθυσμούς σε αγροτικές περιοχές ζουν από τη γη, θα μπορούσαν μάλιστα να επωφεληθούν από την παραγωγή βιοκαυσίμων και πολλά φτωχά κράτη (κυρίως στην Αφρική) βρίσκονται σε κατάλληλη τοποθεσία (όσον αφορά το κλίμα) για την καλλιέργεια πρώτων υλών βιομάζας για βιοκαύσιμα. Τα βιοκαύσιμα φαίνεται να βοηθούν εάν οι φτωχές χώρες μπορούν να παράγουν και εξάγουν βιοκαύσιμα. Επομένως για τον υποσιτισμό των φτωχών πληθυσμών είναι υπεύθυνες οι πολιτικές, οι υποδομές και πιθανώς οι διεθνείς περιορισμοί και οι εμπορικές σχέσεις και όχι τα βιοκαύσιμα. Η αύξηση των τιμών των τροφίμων θα έχει αναπόφευκτα αρνητικές επιπτώσεις στους πιο φτωχούς λαούς του πλανήτη να μπορούν να αποκτήσουν τροφή.

Μία έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη Βιομάζα (European Biomass Association, AEBIOM) παραδέχεται ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών των τροφίμων και της παραγωγής βιοκαυσίμων, αλλά επισημαίνει ότι το δίλημμα μεταξύ τροφής και καυσίμων συχνά υπερεκτιμάται. Η Ένωση υποστηρίζει πρώτον ότι υπάρχει αρκετή γη για να καλλιεργηθούν και τρόφιμα και πρώτες ύλες για βιοκαύσιμα και δεύτερον ότι υπάρχει πλεονασματική παραγωγή τροφίμων



στην Ευρώπη. Ο ΑΕΒΙΟΜ επιπλέον δηλώνει ότι το πλεόνασμα της παραγωγής τροφίμων αποτίθεται στις αναπτυσσόμενες χώρες καταλήγει στις τοπικές αγορές χωρίς να είναι δυνατό να τις συναγωνιστεί.

Ακόμη ο ΑΕΒΙΟΜ επισημαίνει ότι οι τιμές των καλλιεργειών έχουν μικρή επιρροή στο τελικό προϊόν. Στο σχήμα 6.1 φαίνεται πως διαμορφώνεται το κόστος που πληρώνουν οι καταναλωτές για την εγχώρια παραγωγή τροφίμων το 2010, σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA). Για παράδειγμα στο σιτάρι οφείλεται λιγότερο από το 10% της τιμής του ψωμιού. Ο ΑΕΒΙΟΜ επομένως προτείνει η Ευρώπη να μην περιορίσει τα βιοκαύσιμα, λόγω ανησυχιών που σχετίζονται με τις τιμές τροφίμων, ενώ αναγνωρίζει ότι μπορεί να υπάρχουν βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις σε χώρες που εξαρτώνται από τις εισαγωγές τροφίμων. Ωστόσο ο ΑΕΒΙΟΜ είναι ένας οργανισμός που έχει έννομο συμφέρον για το θέμα.



Σχήμα 2.1 Κόστος εγχώριας παραγωγής τροφίμων το 2010 (πηγή USDA's Economic Research Service's Food Dollar Series)

Ο οικονομικός σύμβουλος και διευθυντής του τμήματος ερευνών του Διεθνούς Νομισματικού Ταμείου (International Monetary Fund, IMF) Simon Johnson, το

Δεκέμβριο του 2007, συζητά σε άρθρο του τη σχέση μεταξύ υψηλότερων τιμών τροφίμων και βιοκαυσίμων. Αναφέρει τις αιτίες για τις αυξανόμενες τιμές τροφίμων, όπως είναι η αυξανόμενη ευημερία παγκοσμίως, κυρίως στις αναδυόμενες αγορές, οι καιρικές συνθήκες (ξηρασία), οι αρρώστιες των ζώων και τα βιοκαύσιμα. Οι τιμές του καλαμποκιού έχουν διπλασιαστεί στις Ηνωμένες Πολιτείες και παγκοσμίως από το 2005 μέχρι το 2007, όπως επίσης και η τιμή της ελαιοκράμβης. Ένα σημαντικό μέρος της αύξησης των τιμών των τροφίμων οφείλεται στις πρακτικές βιοκαυσίμων, σύμφωνα με την αξιολόγηση του προσωπικού του IMF. Το φαινόμενο είναι πιο ήπιο στις πλούσιες χώρες, επειδή η τροφή αντιπροσωπεύει μόνο το 10 με 15% της κατανάλωσης και στις πρώτες ύλες οφείλεται ένα μικρό ποσοστό της τιμής του τελικού τροφίμου. Στις λιγότερο πλούσιες χώρες το φαγητό αντιπροσωπεύει το 30 με 50% της κατανάλωσης και ακόμα περισσότερο στις φτωχές χώρες. Επομένως η επιπτώσεις είναι πιο έντονες στους φτωχούς πληθυσμούς. Οι πληθυσμοί που βιώνουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις επιπτώσεις αυτές είναι εκείνοι που ζουν στις αστικές περιοχές των φτωχών κρατών, επειδή πρέπει να πληρώσουν για τη τροφή για την οποία δεν έχουν τα μέσα να παράγουν μόνοι τους. Επιπρόσθετα ο Johnson δηλώνει ότι η παραγωγή βιοκαυσίμων δεν λαμβάνει χώρα εκεί μπορεί να γίνει πιο φθηνά εξαιτίας δυσκολιών στις συναλλαγές και στις επιδοτήσεις. Εκείνοι που επωφελούνται από την κατάσταση είναι οι αγρότες, ακόμα και στις φτωχές χώρες. Ο Johnson προτείνει τη χρήση των τρέχοντων υψηλών τιμών τροφίμων για να σταματήσουν οι επιδοτήσεις και να μειωθεί η δασμολογική ποσόστωση εισαγωγής βιοκαυσίμων, δίνοντας έτσι στις φτωχές χώρες την ευκαιρία για ανάπτυξη μέσω του πιο ελεύθερου εμπορίου βιοκαυσίμων.

Σήμερα φαίνεται να υπάρχει διαθέσιμη γη για την καλλιέργεια βιομάζας για βιοκαύσιμα, αλλά συνεπάγεται κάποιες επιπτώσεις. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται συνεχώς ότι η αιθανόλη που προέρχεται από куτταρινικές πρώτες ύλες αποτελεί τη λύση για τον ανταγωνισμό μεταξύ τροφίμων και βιοκαυσίμων. Αυτή είναι μόνο η μισή αλήθεια, αφού οι πρώτες ύλες δεν συμμετέχουν στον άμεσο ανταγωνισμό με τις πηγές τροφίμων και τα απόβλητα από την παραγωγή τροφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Ωστόσο μπορεί να υπάρξει ανταγωνισμός στις παραγωγικές και γόνιμες καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Επομένως είναι απαραίτητη η παρέμβαση στην ελεύθερη αγορά για την αποφυγή μεγάλων «συγκρούσεων» μεταξύ βιοκαυσίμων και τροφίμων. Από αυτήν την άποψη φαίνεται ότι είναι σημαντική η προσπάθεια μείωσης της χρήσης καυσίμων (με πιο αποδοτικά ή λιγότερα αυτοκίνητα) αφού δυσμενείς επιπτώσεις στην μαζική παραγωγή βιοαιθανόλης φαίνονται σχεδόν αναπόφευκτες.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων που μελετήθηκαν δείχνουν ότι η βιοαιθανόλη έχει καλύτερη περιβαλλοντική επίδοση σε σχέση με τη βενζίνη, όσον αφορά την θέρμανση του πλανήτη και την εξάντληση των φυσικών πόρων. Ωστόσο υπάρχουν περιβαλλοντικές πλευρές όπου τα βιοκαύσιμα έχουν χειρότερη επίδοση από τη βενζίνη, όπως είναι η οξίνιση των φυσικών αποδεκτών, η δημιουργία αιθαλομίχλης και η γεωργική χρήση γης. Οι προτεραιότητες που τίθενται σε σχέση με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις εξαρτώνται από τις επιπτώσεις στις οποίες είναι πιο ευαίσθητη η περιοχή που εξετάζεται και σχετίζονται και με την κοινωνική στάση των πληθυσμών.

Αξιολογώντας τα παραπάνω αποτελέσματα καταλήγουμε στο ότι η χρήση βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο ως καύσιμο σε αυτοκίνητο αποτελεί την καλύτερη εναλλακτική. Παρόλο που οδηγεί σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ισοδύναμου TOPP, η βιοαιθανόλη από ζαχαροκάλαμο έχει τις χαμηλότερες εκπομπές GHG, ισοδύναμου SO<sub>2</sub>, καταναλώνει λιγότερους μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους, έχει το μικρότερο συνολικό κόστος και έχει μικρή διαφορά χρήσης γης από τη βιοαιθανόλη που προέρχεται από το καλαμπόκι.

Οι κυβερνήσεις πρέπει να προωθήσουν οικονομικά προγράμματα που θα κάνουν τη βιοαιθανόλη οικονομικά πιο προσιτή σε σχέση με τη βενζίνη και το πετρέλαιο. Ακόμη μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δικαιώματα εκπομπών για να ενθαρρύνουν τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να πωλούν αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν εναλλακτικές μορφές καυσίμων.

Η χρήση βιοαιθανόλης ως εναλλακτική μορφή καυσίμων σε σχέση με τα συμβατικά προϊόντα πετρελαίου απαιτεί μία σημαντική αλλαγή στη στάση του κοινού απέναντι στα βιοκαύσιμα και τις νέες τεχνολογίες. Αυτή η αλλαγή προϋποθέτει και αλλαγές στην

αγορά καυσίμων, με τις κυβερνήσεις να παρέχουν επιδοτήσεις, φορολογικά κίνητρα και πιθανόν φόρο ρύπανσης ή διοξειδίου του άνθρακα.

Επιπλέον θα πρέπει να υποστηριχθεί και να ενθαρρυνθεί η έρευνα στον τομέα της εξαγωγής βιοαιθανόλης από κυτταρινικές πρώτες ύλες, οι οποίες υπόσχονται να μειώσουν το κόστος της αιθανόλης, παράγοντας τη από φθηνά προϊόντα απόβλητων της γεωργίας και της βιομηχανίας ξύλου. Η χρήση κυτταρινούχων πρώτων υλών μειώνει τον κίνδυνο έλλειψης τροφής εξαιτίας της επέκτασης των βιοκαυσίμων.

Ένας συνδυασμός καλά τεκμηριωμένων πολιτικών και προηγμένων τεχνολογιών στον τομέα των βιοκαυσίμων θα οδηγούσαν σε μια πιο ομαλή μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στα βιοκαύσιμα στον τομέα μεταφορών.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Transport Energy and Co2, Moving Toward Sustainability», International Energy Agency, 2009
2. «Ethanol's Potential Contribution to Canada's Transportation Sector, energy, environment and transportation policy», by Len Coad and Marta Bristow, The Conference Board of Canada, 2011
3. «WORLD ENERGY OUTLOOK 2012, International Energy Agency, 2012
4. <http://www.energia.gr>
5. <http://www.iea.org/>
6. «Ethanol as a Fuel for Road Transportation», IEA Implementing Agreement on Advanced Motor Fuels Main Report, Ulrik Larsen, Troels Johansen, Jesper Schramm, May 2009
7. «Biofuels: Environmental Consequences & Implications of Changing Land Use», Scientific Committee on Problems of the Environment
8. «Renewable Energy Resources», John Twidell and Tony Weir, 2006
9. «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», Αρθούρος Ζέρβος, 2011
10. «Technology Roadmap, Biofuels for Transport», International Energy Agency, 2011
11. «The State of Food and Agriculture», Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ (FAO), 2008
12. «From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies, An overview of current industry and RD&D activities», International Energy Agency, 2008
13. «Biofuel production technologies: status, prospects and implications for trade and development», United Nations Conference on Trade and Development, 2008
14. EU Biofuels Annual 2012, Grain Report, USDA, Foreign Agricultural Service.

15. «Sugarcane-based bioethanol : energy for sustainable development», Coordination BNDES and CGEE – Rio de Janeiro :BNDES, 2008
16. «Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process», Chemical Engineering Research and Design, Marina O.S. Diasa, Adriano V. Ensinasa,b, Silvia A. Nebrac, Rubens Maciel Filhoa, Carlos E.V. Rossella, Maria Regina Wolf Maciela, 2009
17. «Impact of environmental factors to wheat ethanol production in the conditions of Central Europe», T. SEDLÁČEK Research Centre SELTON, s.r.o., Stupice 24, Sibrina 250 84, Czech Republic, 2010
18. «Biofuels Engineering Process Technology» Drapcho et al., 2008. In: Drapcho, C. M; Nhuan Ph Nghim; Walker T. (Eds), , McGraw-Hill
19. «Wheat flour», Investment Centre Division FAO, 2009
20. «Wheat as a feedstock for alcohol production», TC Smith, ADAS (and others). Research Review61.HGCA (2006)
21. «Growing wheat for alcohol/ bioethanol production», Information Sheet 11/Summer 2010, Agriculture and Horticulture Development Board)
22. «Growing wheat for alcohol and bioethanol production in the north east» by S Clarke, ADAS and others (2008)
23. «The Addition of Ethanol from Wheat to GHGENIUS», (S&T)2 Consultants Inc., 2003
24. «Biofuels Alternative Feedstocks and Conversion Processes, Ashok Pandey, Ghristian Larroche, Steven C Ricke, Claude-Gilles Dussap, Edgard Gnansounou , 2011

25. «Using a Life Cycle Assessment Approach to Estimate the Net Greenhouse Gas Emissions of Bioenergy», Mr Neil Bird, Professor Annette Cowie, Dr Francesco Cherubini and Dr Gerfried Jungmeier, IEA, 2011
26. «Global Emission Model of Integrated Systems (GEMIS), Manual», R. Fritsche/Klaus Schmidt, Institute for Applied Ecology, 2008
27. <http://www.iinas.org/gemis.html>
28. «Energy Analysis on crops used for producing ethanol and CO<sub>2</sub> emissions», Marco Orellio dos Santos.
29. «Future Prospects for Ethanol Fuel Use – A review», Garba Ahmed, Sulaiman Abubakar and Nasir Ma'aruf Ahmed Department of General Studies, 2009