



ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Διδακτορική Διατριβή

του

Ευαγγέλου Χρ. Πέτρου

Διπλωματούχου Χημικού Μηχανικού, MSc

Μάιος 2015

Μέλη τριμελούς επιτροπής:

Ομότιμος Καθηγητής Κωνσταντίνος Παππής

Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Σχολής Ναυτιλίας και Βιομηχανίας,
Πανεπιστημίου Πειραιά

Ομότιμος Καθηγητής Νικόλαος Μπλέσιος

Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Σχολής Ναυτιλίας και Βιομηχανίας,
Πανεπιστημίου Πειραιά

Καθηγητής Αθανάσιος Μιχιώτης

Σχολή Κοινωνικών Επιστημών, Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου

Αφιερώνεται στους (κατά σειρά εμφάνισης στη ζωή μου):

Σοφία, Κίτσο, Νίκο,

Αλεξάνδρα και Φουλίτσα

Ευχαριστίες οφείλονται:

Στον Καθηγητή μου κ. Κ. Π. Παππή για την ενθάρρυνση, καθοδήγηση και βοήθεια που μου παρείχε καθώς και για την κατανόηση που έδειξε αρκετές φορές κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Στα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής Καθηγητές κ.κ. Ν. Μπλέσιο και Α. Μιχιώτη για το ενδιαφέρον τους.

Στα μέλη της ερευνητικής ομάδας που συγκροτήθηκε από τον Καθηγητή κ. Κ. Παππή στο Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης του Πανεπιστημίου Πειραιά στην οποία συμμετείχα και συγκεκριμένα τους Δρ. Νίκο Ραχανιώτη, Θωμά Δασακλή, Δρ. Γιάννη Τσουλφά και Δρ. Θοδωρή Βουτσινά για τη βοήθεια και συνεργασία τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Στον Καθηγητή κ. Ε. Βουτσά του Τομέα Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και την ομάδα του για τη διάθεση των υποδομών και του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς.

Στον Καθηγητή του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης του Πανεπιστημίου Πειραιά κ. Δ. Σιδηρά για τις κατευθύνσεις που μου έδωσε σχετικά με τον ορίζοντα της διατριβής.

Περίληψη

Τα φαινόμενα που συνοδεύουν την κλιματική αλλαγή στις ημέρες μας γίνονται όλο και πιο έντονα. Αυτό έχει οδηγήσει στη διερεύνηση των αιτιών της και στην εισαγωγή προτάσεων για την πρόληψη, την αντιμετώπιση των συνεπειών και την προσαρμογή των ανθρωπίνων κοινωνιών σε αυτήν. Τα βιοκαύσιμα έχουν προταθεί μεταξύ άλλων ως λύση για την αντιμετώπιση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής καθώς και για την αντιμετώπιση της εξάντλησης των πηγών των ορυκτών καυσίμων.

Στη διατριβή αυτή ασχοληθήκαμε με την αξιολόγηση των βιοκαυσίμων. Αφού αρχικά προβήκαμε σε μια διερεύνηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους στην παραγωγή και τη χρήση τους, διαπιστώσαμε ότι μεταξύ αυτών που έχουν προοπτική αιεφορίας βρίσκονται αυτά που προέρχονται από λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών. Υπολογίσαμε το ελληνικό δυναμικό υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας και εξετάσαμε τις πιθανές χρήσεις τους ως εναλλακτικών καυσίμων στη τσιμεντοβιομηχανία ή ως πρώτων υλών για την παραγωγή βιοαιθανόλης με την τεχνολογία της ενζυματικής υδρόλυσης.

Ακολούθως αξιολογήσαμε την αιεφορία πέντε εναλλακτικών συστημάτων χρήσης των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας ως α΄ ύλης για την παραγωγή βιοαιθανόλης και την ταυτόχρονη παραγωγή άλλων προϊόντων όπως λιγνοσουλφονικών ενώσεων (*lignosulfonates*), λιγνίνης και ηλεκτρικής ενέργειας. Για την αξιολόγηση της αιεφορίας αυτών των συστημάτων προτείναμε και εφαρμόσαμε τη μέθοδο Αναλυτικής Διαδικασίας Ιεράρχησης (*Analytic Hierarchy Process*) και σε ένα σύνολο αντικειμενικών και υποκειμενικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων. Με παρόμοια μεθοδολογία διερευνήσαμε την επίδραση της χημικής σύστασης της τροφοδοσίας των λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων (η οποία διαφοροποιείται στα υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας) στην αιεφορία των συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης.

Από την εργασία μας αυτή μεταξύ άλλων συμπερασμάτων προέκυψε ότι ως προς την αιεφορία ξεχωρίζουν τα συστήματα στα οποία, εκτός από αιθανόλη, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση στο δημόσιο δίκτυο ή, εναλλακτικά, λιγνίνη για χρήση της ως γεωυλικού σε έργα υποδομών. Επίσης, όσον αφορά την επίδραση της χημικής σύστασης της λιγνοκυτταρινούχας τροφοδοσίας για την παραγωγή βιοαιθανόλης, το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας υπερισχύει στη συνολική επίδοση αιεφορίας του εναλλακτικού συστήματος χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας.

Τέλος, στις κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας θα πρέπει να συμπεριληφθούν, μεταξύ άλλων, τα πεδία ενίσχυσης της οικονομικότητας των συστημάτων παραγωγής αιθανόλης και *lignosulfonates* και μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους.

Abstract

Biofuels have been proposed amongst others as a solution for mitigating the climate change as well as for the problem of fossil fuels depletion. However, a controversy is pending about their sustainability.

In this study we have evaluated the biofuels supply chains starting with a survey of their production and use pros and cons. The potential of Greek lignocellulosic agricultural wastes has been calculated and their use as alternative fuels in cement factories or as raw materials for bioethanol production is evaluated.

The sustainability of five alternative systems producing ethanol, power and lignosulfonates or lignin (used as a geomaterial in civil engineering projects) using an enzymatic hydrolysis technology is also examined. For this purpose we have proposed and implemented a methodology based on the Analytic Hierarchy Process and a set of objective and subjective environmental, economic and societal criteria. This is the main contribution of the dissertation.

Additionally the effect of the lignocellulosic agricultural wastes' chemical composition which varies depending on the waste type (corn stover or cotton stalks) on the sustainability of ethanol production system has been examined.

As the study claims, the systems producing ethanol and power or ethanol and lignin as a geomaterial are more sustainable than those producing ethanol and lignosulfonates. In addition it is better from a sustainable perspective to produce ethanol from corn stover than from cotton stalks.

Finally, more work must be done in the future, among others, for enhancing the economics of systems producing ethanol and lignosulfonates and reducing their environmental impacts.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|--|-----|
| Περίληψη..... | 7 |
| Abstract | 8 |
| Πίνακας περιεχομένων..... | 9 |
| Ευρετήριο Πινάκων | 11 |
| Ευρετήριο Διαγραμμάτων..... | 14 |
| Ευρετήριο Σχημάτων | 15 |
| Ευρετήριο Εικόνων | 15 |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 17 |
| 2. ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ..... | 21 |
| 2.1. Κατηγορίες βιοκαυσίμων | 21 |
| 2.2. Τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων | 26 |
| 2.3. Αξιολόγηση βιοκαυσίμων..... | 29 |
| 2.4. Επιπτώσεις Βιοκαυσίμων | 58 |
| 2.5. Το μέλλον των βιοκαυσίμων..... | 65 |
| 2.6. Συμπεράσματα | 68 |
| 3. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ | 73 |
| 3.1. Η παραγωγή βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ευρώπη | 73 |
| 3.2. Α΄ ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε. | 79 |
| 3.3. Η κατανάλωση βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ευρώπη..... | 83 |
| 3.4. Οικονομικές πλευρές της χρήσης βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε. | 86 |
| 3.5. Περιβαλλοντικές πλευρές της χρήσης βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε..... | 90 |
| 3.6. Συμπεράσματα | 101 |
| 4. Η ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ..... | 107 |
| 4.1. Χρήση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στη τσιμεντοβιομηχανία..... | 108 |
| 4.2. Σύστημα συλλογής και εφοδιασμού της βιομηχανίας με υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας | 110 |
| 4.3. Η οικονομικότητα της χρήσης της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας 121 | |
| 4.4. Συγκριτική αξιολόγηση της χρήσης της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στη τσιμεντοβιομηχανία έναντι της χρήσης της για την παραγωγή βιοαιθανόλης | 128 |
| 4.5. Συμπεράσματα | 149 |

| | | |
|------|--|-----|
| 5. | ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΩΣ Α΄ ΥΛΗΣ | |
| | 151 | |
| 5.1. | Φυσικοχημεία της λιγνοκυτταρίνης και τεχνικοοικονομικοί περιορισμοί για την παραγωγή της αιθανόλης | 152 |
| 5.2. | Αξιολόγηση πέντε εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης από γεωργικά υπολείμματα | 162 |
| 5.3. | Αποτελέσματα, Συζήτηση, Συμπεράσματα | 183 |
| 6. | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΓΝΟΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΑΣ Α΄ ΥΛΗΣ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ | 191 |
| 6.1. | Τα εξεταζόμενα συστήματα | 192 |
| 6.2. | Εφαρμογή της μεθόδου <i>Analytic Hierarchy Process</i> | 204 |
| 6.3. | Αποτελέσματα, Συζήτηση, Συμπεράσματα | 205 |
| 7. | ΣΥΝΟΨΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 211 |
| 8. | ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ..... | 217 |
| | ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 219 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α..... | 225 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β..... | 239 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ | 243 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ..... | 273 |
| | ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ..... | 279 |
| | ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ..... | 283 |

Ευρετήριο Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 2.1: Παγκόσμιο δυναμικό βιομάζας | 21 |
| Πίνακας 2.2: Αναμενόμενο για το έτος 2050 παγκόσμιο δυναμικό υπολειμματικής βιομάζας | 22 |
| Πίνακας 2.3: Ενέργεια που παράγεται και ποσότητα που υποκαθίσταται για κάθε 1t RDF . | 29 |
| Πίνακας 2.4 :Επίδοση <i>RDF</i> σε διάφορες περιβαλλοντικές κατηγορίες. | 31 |
| Πίνακας 2.5: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σταθμών ηλεκτροπαραγωγής | 32 |
| Πίνακας 2.6:Κατανάλωση ενέργειας και αβεβαιότητα στην παραγωγή <i>biodiesel</i> | 34 |
| Πίνακας 2.7: Παραγωγή <i>biodiesel</i> από διάφορα έλαια: Παράγοντες διαμόρφωσης κόστους παραγωγής <i>biodiesel</i> στην Ευρώπη | 36 |
| Πίνακας 2.8:Οριακή Ενίσχυση της τιμής του <i>biodiesel</i> στην Ε.Ε. (2005-2006) | 40 |
| Πίνακας 2.9:Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα <i>biodiesel</i> | 40 |
| Πίνακας 2.10: Υπολογιζόμενες Επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή και στις τιμές των προϊόντων από την εφαρμογή πολιτικών για την παραγωγή βιοκαυσίμων..... | 43 |
| Πίνακας 2.11: Καλλιεργήσιμη γη στην .Ε.Ε. για τα κυριότερα αγροτικά προϊόντα..... | 46 |
| Πίνακας 2.12: <i>NER</i> βιοαιθανόλης από καλαμπόκι..... | 47 |
| Πίνακας 2.13: Τιμές <i>NER</i> για την παραγωγή αιθανόλης από διάφορες α΄ ύλες..... | 47 |
| Πίνακας 2.14: Ανάλυση του κόστους της βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. για δυο τυπικές περιπτώσεις..... | 48 |
| Πίνακας 2.15: Κόστος τροφοδοσίας και ελάχιστη τιμή πώλησης αιθανόλης παραγμένης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα..... | 49 |
| Πίνακας 2.16: Κόστος παραγωγής αιθανόλης από υπολείμματα δασικής ξυλείας και καλαμποκοκαλλιέργειας | 50 |
| Πίνακας 2.17: Ανασκόπηση της επίδοσης συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης σε συνήθεις κατηγορίες επιπτώσεων και εκπομπές συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα | 52 |
| Πίνακας 2.18: Σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με καύσιμο βιοαέριο και αντιστοίχων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με συμβατικά καύσιμα..... | 54 |
| Πίνακας 2.19: Σύγκριση της συνολικής περιβαλλοντικής επίδοσης (<i>Eco-Indicator 99</i>) σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με καύσιμο βιοαέριο και αντιστοίχων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με συμβατικά καύσιμα | 55 |
| Πίνακας 2.20: Σύγκριση των επιπτώσεων σε συγκεκριμένες κατηγορίες και της συνολικής περιβαλλοντικής επίδοσης (<i>Eco-Indicator 95</i>) σταθμού συμπαραγωγής με αεριοποίηση βιομάζας (<i>IBGCC-DeCO₂</i>) και συμβατικού σταθμού αεριοποίησης άνθρακα (<i>ICGCC- DeCO₂</i>)..... | 55 |
| Πίνακας 2.21: Τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας με αεριοποίηση βιομάζας (<i>Chottomollakhali</i> , Ινδία)..... | 56 |
| Πίνακας 2.22: Εξοικονόμηση για τις διάφορες κατηγορίες πελατών από την εγκατάσταση σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας με αεριοποίηση βιομάζας (<i>Chottomollakhali</i> , Ινδία)..... | 57 |
| Πίνακας 2.23: Τιμές πώλησης από τους αγρότες καλαμποκιού στις Η.Π.Α. (2000-2012) | 60 |
| Πίνακας 2.24: Παραγωγή καλαμποκιού στις Η.Π.Α. (2000-2012) | 61 |
| Πίνακας 2.25: Τιμές νεκρού σημείου CO ₂ τιμές διάφορων βιομηχανικών τομέων στην Φινλανδία..... | 62 |
| Πίνακας 3.1: Εξέλιξη της παραγωγής <i>biodiesel</i> στην Ε.Ε. κατά το διάστημα 2002-2012 | 74 |
| Πίνακας 3.2: Παγκόσμια παραγωγή <i>biodiesel</i> (2011)..... | 75 |

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 3.3: Δυναμικότητα εγκαταστάσεων παραγωγής biodiesel στην Ε.Ε. | 75 |
| Πίνακας 3.4: Παραγωγή βιοαιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε..... | 76 |
| Πίνακας 3.5: Δυναμικότητα εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. | 77 |
| Πίνακας 3.6: Παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης (2011)..... | 78 |
| Πίνακας 3.7: Κατανομή και εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων α' υλών για την παραγωγή <i>biodiesel</i> στην Ε.Ε. την περίοδο 2006-2012 | 79 |
| Πίνακας 3.8: Κατανομή και εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων α' υλών για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. την περίοδο 2006-2012 | 80 |
| Πίνακας 3.9: Σύγκριση αγροτικής παραγωγής προϊόντων και χρήσης τους για παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. | 81 |
| Πίνακας 3.10: Σύγκριση της παραγωγής και κατανάλωσης του <i>Biodiesel</i> στις χώρες της Ε.Ε. | 83 |
| Πίνακας 3.11: Σύγκριση της παραγωγής και κατανάλωσης της βιοαιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε. | 83 |
| Πίνακας 3.12: Εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στις μεταφορές της Ε.Ε. | 85 |
| Πίνακας 3.13: Εξέλιξη των εισαγωγών <i>biodiesel</i> στην Ε.Ε. (2007-2013)..... | 86 |
| Πίνακας 3.14: Πιθανή δέσμευση γης για την παραγωγή <i>biodiesel</i> στην Ε.Ε (2012)..... | 88 |
| Πίνακας 3.15: Τυπικές τιμές ετήσιας απόδοσης της βιοαιθανόλης στην Ευρώπη σχετικά με την έκταση της καλλιέργειας από την οποία προέρχεται | 88 |
| Πίνακας 3.16: Πιθανή δέσμευση γης για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε (2012) | 89 |
| Πίνακας 3.17: Εξοικονόμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από την χρήση <i>biodiesel</i> (παραγόμενου από σογιέλαιο) | 91 |
| Πίνακας 3.18: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την καλλιέργεια διάφορων α' υλών προοριζόμενων για την παραγωγή βιοαιθανόλης..... | 91 |
| Πίνακας 3.19: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου καλλιέργειας σιταριού σε διαφορετικούς τύπους εδαφών | 94 |
| Πίνακας 3.20: Συνήθεις εξεταζόμενες κατηγορίες επιπτώσεων σε μελέτες εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής βιοκαυσίμων..... | 95 |
| Πίνακας 3.21: Μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής επιπτώσεων για την κατηγορία χρήση γης | 97 |
| Πίνακας 3.22. Προτεινόμενες μέθοδοι τελικού σημείου | 99 |
| Πίνακας 3.23: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου του τομέα των μεταφορών στην Ε.Ε.-27 (2006 & 2009) | 101 |
| Πίνακας 4.1: Παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στην Ελλάδα την περίοδο 1994-2010..... | 111 |
| Πίνακας 4.2: Παραγωγή καλαμποκιού στην Ελλάδα την περίοδο 1994-2010..... | 112 |
| Πίνακας 4.3: Ετήσια απόδοση καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας σε υπολείμματα | 113 |
| Πίνακας 4.4: Απαιτήσεις για τις κοπτικές και δεματοποιητικές μηχανές..... | 115 |
| Πίνακας 4.5: Κυριότερες παράμετροι του συστήματος συγκομιδής και μεταφοράς βιομάζας γεωργικών υπολειμμάτων βαμβακιού | 120 |
| Πίνακας 4.6: Συμμετοχή των επιμέρους παραγόντων κόστους στη διαμόρφωση της τελικής τιμής βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας (<i>DDP</i>) | 126 |
| Πίνακας 4.7: Κατηγορίες επιπτώσεων της μεθόδου <i>Eco-Indicator 99</i> | 129 |

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 4.8: Βασικά μεγέθη του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας | 131 |
| Πίνακας 4.9: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σεναρίου χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας | 133 |
| Πίνακας 4.10: Οικονομικά στοιχεία επένδυσης για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας | 134 |
| Πίνακας 4.11: Χημική σύσταση των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας..... | 136 |
| Πίνακας 4.12: Βασικά μεγέθη του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή αιθανόλης | 140 |
| Πίνακας 4.13: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σεναρίου χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή αιθανόλης..... | 141 |
| Πίνακας 4.14: Δαπάνες για τις αμοιβές του προσωπικού της μονάδας παραγωγής αιθανόλης | 143 |
| Πίνακας 4.15: Οικονομικά στοιχεία επένδυσης για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή αιθανόλης..... | 144 |
| Πίνακας 4.16: Συγκριτικός πίνακας ζευγών για τον προσδιορισμό των βαρών των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων | 146 |
| Πίνακας 4.17: Σύνοψη των προσδιορισμένων επιδόσεων των εξεταζόμενων σεναρίων χρήσης της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας | 147 |
| Πίνακας 4.18: Επιδόσεις σεναρίων έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων | 147 |
| Πίνακας 5.1: Επίδραση των τεχνολογιών προκατεργασίας σε συγκεκριμένες φυσικοχημικές παραμέτρους της λιγνοκυτταρίνης | 157 |
| Πίνακας 5.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών προκατεργασίας της λιγνοκυτταρίνης | 158 |
| Πίνακας 5.3: Κυριότερες παράμετροι του συστήματος συγκομιδής και μεταφοράς βιομάζας υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας | 165 |
| Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη των εξεταζόμενων τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης..... | 171 |
| Πίνακας 5.5: Βασικά μεγέθη των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας για τα εξεταζόμενα συστήματα παραγωγής αιθανόλης με τη χρήση υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας ως α' ύλης..... | 173 |
| Πίνακας 5.6: Μέτρηση <i>SimaPro</i> για τα εξεταζόμενα συστήματα..... | 176 |
| Πίνακας 5.7: Οικονομικότητα εξεταζόμενων συστημάτων | 177 |
| Πίνακας 5.8: Ανάλυση της συνολικής αξίας επένδυσης για τα συστήματα <i>NEUSULFO</i> , <i>SULFOMETHYL</i> και <i>ARYLSULFO</i> | 177 |
| Πίνακας 5.9: Ανάλυση της αξίας μηχανολογικού εξοπλισμού για τα συστήματα <i>NEUSULFO</i> , <i>SULFOMETHYL</i> και <i>ARYLSULFO</i> | 178 |
| Πίνακας 5.10: Τιμές αγοράς των προϊόντων και των κυριότερων χρησιμοποιούμενων υλικών στα εξεταζόμενα συστήματα | 178 |
| Πίνακας 5.11: Θέσεις εργασίας των εξεταζόμενων συστημάτων | 179 |

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 5.12: Ποιοτική έκφραση της επίδοσης των εξεταζομένων συστημάτων έναντι των υποκειμενικών κριτηρίων | 180 |
| Πίνακας 5.13: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων | 185 |
| Πίνακας 6.1.: Χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος συλλογής και μεταφοράς υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας για τον εφοδιασμό της μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης | 193 |
| Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας..... | 194 |
| Πίνακας 6.3: Χημική σύσταση υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας | 195 |
| Πίνακας 6.4: Χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος συλλογής και μεταφοράς υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για τον εφοδιασμό της μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης | 196 |
| Πίνακας 6.5: Χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας | 197 |
| Πίνακας 6.6: Χημική σύσταση υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας | 198 |
| Πίνακας 6.7: Εκπομπές χαρακτηριστικών ουσιών των εξεταζομένων σεναρίων..... | 200 |
| Πίνακας 6.8: Μέτρηση <i>SimaPro</i> (Τελικός Δείκτης EI-99) για τα εξεταζόμενα συστήματα (<i>version 7.3, EI-99 method, individualist (I) perspective</i>) | 201 |
| Πίνακας 6.9: Μοναδιαίο λειτουργικό κόστος των εξεταζομένων σεναρίων | 202 |
| Πίνακας 6.10: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση υπεροχής περιβαλλοντικού κριτηρίου) | 205 |
| Πίνακας 6.11: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση ίσης βαρύτητας κριτηρίων) | 206 |
| Πίνακας 6.12: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση ελαφράς υπεροχής του κριτηρίου <i>ECON</i> έναντι του κριτηρίου <i>ENV</i>) | 206 |
| Πίνακας 6.13: Ένταση περιβαλλοντικού φορτίου και κόστος λειτουργίας των εξεταζομένων συστημάτων (υπόθεση απώλειας βιομάζας κατά τα στάδια της μεταφοράς και αποθήκευσης: 5% κ.β.)..... | 208 |
| Πίνακας 6.14: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση υπεροχής περιβαλλοντικού κριτηρίου) | 208 |

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

| | |
|---|----|
| Διάγραμμα 2.1: Χρονοσειρά τιμών κόστους παραγωγής <i>biodiesel</i> και κόστους απόκτησης βιομάζας τροφοδοσίας (2007-2014)..... | 37 |
| Διάγραμμα 2.2: Τιμές διεθνούς αγοράς για το <i>diesel</i> και το <i>biodiesel</i> (2008-2014) | 38 |
| Διάγραμμα 2.3: Μέσες λιανικές τιμές <i>diesel</i> και <i>biodiesel</i> στις ΗΠΑ..... | 39 |
| Διάγραμμα.2.4: Εξέλιξη της τιμής διαπραγμάτευσης δικαιώματος 1t CO ₂ στην χρηματιστηριακή αγορά την περίοδο 2008-2014..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| Διάγραμμα 3.1: Εξέλιξη των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ε.Ε. κατά το χρονικό διάστημα 1990-2009 | 103 |
| Διάγραμμα 5.1: Συνδυασμένη επίδοση των εξεταζομένων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης..... | 186 |
| Διάγραμμα 5.2: Επίδοση των εξεταζομένων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι ενός εκάστου των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων | 187 |
| Διάγραμμα 6.1: Επίδραση του βάρους περιβαλλοντικού κριτηρίου στην επίδοση αειφορίας των εξεταζόμενων σεναρίων | 207 |

Ευρετήριο Σχημάτων

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής εργασιών για τη συγκομιδή, μεταφορά και αποθήκευση βιομάζας γεωργικών υπολειμμάτων | 119 |
| Σχήμα 4.2: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για τη μονάδα παραγωγής αιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας..... | 139 |
| Σχήμα 5.1: Δέντρο διαδικασίας λήψης απόφασης σχετικά με την αξιολόγηση των πέντε εξεταζομένων εναλλακτικών σεναρίων παραγωγής βιοαιθανόλης..... | 163 |
| Σχήμα 5.2: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και <i>lignosulfonates</i> με τη μέθοδο της ουδέτερης σουλφόνωσης (Σενάριο <i>NEUSULFO</i>) | 167 |
| Σχήμα 5.3: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και <i>lignosulfonates</i> με τη μέθοδο της σουλφομεθυλίωσης (Σενάριο <i>SULFOMETHYL</i>)..... | 168 |
| Σχήμα 5.4: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και <i>lignosulfonates</i> με τη μέθοδο της αρυλσουλφόνωσης (Σενάριο <i>ARYLSULFO</i>) | 169 |
| Σχήμα 5.5: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και λιγνίνης για τη χρήση της ως γεω-υλικού (Σενάριο <i>LIGNOGEOMAT</i>)..... | 170 |

Ευρετήριο Εικόνων

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 4.1: Στελέχη βαμβακοκαλλιέργειας και καλαμποκοκαλλιέργειας στο χωράφι μετά τη συγκομιδή | 111 |
| Εικόνα 4.2: Τεμαχισμένα βαμβακοστελέχη | 115 |
| Εικόνα 4.3: Μεταφορά <i>δεμάτων</i> υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας από το χωράφι στο <i>depot</i> | 117 |
| Εικόνα 4.4: <i>Depot</i> βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για τον εφοδιασμό τσιμεντοβιομηχανίας | 117 |
| Εικόνα 5.1: Δομή της κυτταρίνης | 152 |
| Εικόνα 5.2: Παράδειγμα τυπικής δομής λιγνίνης | 153 |
| Εικόνα 5.3: Τυπικά μονομερή λιγνίνης | 153 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ¹

Τον τελευταίο καιρό εδραιώνεται όλο και περισσότερο η άποψη μεταξύ των επιστημόνων ότι η κλιματική αλλαγή που έχει αρχίσει και συντελείται στον πλανήτη είναι προϊόν ανθρώπινης δραστηριότητας. Η σχέση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής του περιβάλλοντος αλλά και της κοινωνίας είναι αμφίδρομη. Πιο συγκεκριμένα η κλιματική αλλαγή τροφοδοτείται από αλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον (π.χ. αποψίλωση δασών) ή σε επίπεδο κοινωνίας (π.χ. ένταση της βιομηχανικής δραστηριότητας) και ταυτόχρονα οι συνέπειές της επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα το περιβάλλον (π.χ. ερημοποίηση εδαφών) και την κοινωνία (π.χ. αύξηση της στάθμης των υδάτων και εγκατάλειψη παραθαλάσσιων κατοικημένων περιοχών). Η εφοδιαστική αλυσίδα ως σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης δραστηριότητας συμμετέχει μοιραία σε αυτή τη σχέση. Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές α' υλών και προϊόντων αλλά και στις διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες που είναι κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί τη κύρια συμβολή της στη συντέλεσή της κλιματικής αλλαγής.

Μια λύση που έχει προταθεί μεταξύ άλλων είναι η παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων τόσο στις μεταφορές όσο και για την κάλυψη απ' ευθείας θερμικών αναγκών.

Ως βιοκαύσιμα ορίζονται αυτά που προέρχονται από υλικά των οποίων το ενεργειακό περιεχόμενο δημιουργείται μέσω της διαδικασίας βιολογικής απόθεσης/σύνθεσης άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα κατά τη διαδικασία αυτή, ζώντες οργανισμοί απορροφούν από το περιβάλλον τους ανόργανες μορφές άνθρακα (κυρίως με τη μορφή του CO₂) και μέσω βιολογικών διαδικασιών (π.χ. μέσω φωτοσύνθεσης) τις μετατρέπουν σε οργανικές ενώσεις (π.χ. υδατάνθρακες, λιγνίνη). Κατά τη διαδικασία αυτή έχουμε μετατροπή και αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιείται στη διαδικασία σε χημική, η οποία μπορεί να αποδοθεί για χρήση της σε ανθρώπινα συστήματα είτε με απ' ευθείας καύση των υλικών αυτών είτε με την καύση άλλων δευτερογενών υλικών που προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία τους με σκοπό την αύξηση της αξίας του ενεργειακού τους περιεχομένου. Αν και η διαδικασία δημιουργίας των συμβατικών (ορυκτών) καυσίμων προσομοιάζει με την προαναφερόμενη έρχεται σε αντιδιαστολή στα παρακάτω σημεία:

- Η δημιουργία των βιοκαυσίμων είναι διαδικασία εξαιρετικά σύντομη (μήνες, έτη, δεκαετίες) σε σχέση με την αντίστοιχη των ορυκτών καυσίμων (εκατομμύρια έτη).
- Η διαδικασία δημιουργίας των ορυκτών καυσίμων έχει συντελεστεί άπαξ έως τις ημέρες μας ενώ η δημιουργία των βιοκαυσίμων μπορεί να συντελείται σε ανανεούμενους κύκλους.

Ιστορικά, μετά από μια περίοδο έντονης συζήτησης στην επιστημονική κοινότητα φαίνεται ξεπερασμένη η παραγωγή βιοκαυσίμων προερχομένων από α' ύλες που χρησιμοποιούνται και στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα (βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς) επειδή ακριβώς η παραγωγή τους ανταγωνίζεται την κάλυψη ανθρώπινων διατροφικών αναγκών.

¹ Για την τήρηση των αναλογιών στο μυαλό του αναγνώστη, σημειώνεται ότι η διατριβή αυτή συγγράφηκε κατά το έτος που η ανθρωπότητα μέσω της αποστολής Rosseta του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) κατόρθωσε να φτάσει και να θέσει σε τροχιά γύρω από τον κομήτη Τσουριούμοφ-Γκερασιμένκο συλλέγοντας στοιχεία σχετικά με την προέλευση του σύμπαντος!

Την θέση τους στο ερευνητικό ενδιαφέρον πήραν τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς που παράγονται από λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Βασικό μειονέκτημα των παραγωγικών συστημάτων αυτών των βιοκαυσίμων είναι η χαμηλή οικονομικότητα τους. Ως λύση έχει προταθεί η παραγωγή και άλλων προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας από το κύριο παραπροϊόν των συστημάτων (υπολειπόμενη λιγνίνη). Η κύρια χρήση της λιγνίνης έως τώρα σε τέτοιου είδους παραγωγικά συστήματα ήταν η καύση της για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς ιδιόχρηση και προς πώληση στο δίκτυο. Η ιδέα ότι με την παραγωγή περισσότερων προϊόντων βελτιώνεται η οικονομικότητα του συστήματος έχει σαφώς επίδραση και στην περιβαλλοντική επίδοση των συστημάτων αφού οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις επιμερίζονται σε περισσότερα προϊόντα και επομένως στην αειφορία τους.

Ερέθισμα για την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτέλεσαν οι προαναφερόμενοι προβληματισμοί αλλά και κάποιες ιδέες για την αντιμετώπισή τους καθώς και για την ανάπτυξη μεθόδων για τη διερεύνηση και τη συστηματική αξιολόγηση συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς.

Ως κύριοι στόχοι της εργασίας μας τέθηκαν κατά την εκκίνησή της:

- Η εξέταση της αειφορίας όλων των γνωστών τύπων βιοκαυσίμων με βάση τις επιπτώσεις τους κατά τον κύκλο ζωής τους (δηλαδή κατά την παραγωγή και χρήση τους).
- Η αναζήτηση α' υλών παραγωγής βιοκαυσίμων που δεν προορίζονται για την κάλυψη ανθρώπινων διατροφικών αναγκών και που μπορούν να συμβάλουν στην αειφορία των παραγομένων βιοκαυσίμων.
- Η αναζήτηση τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής μέσω των οποίων μπορούν να παραχθούν καύσιμα με οικονομικό τρόπο και με τις λιγότερες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για τον σκοπό αυτό τέθηκε ως στόχος η αναζήτηση εναλλακτικών προϊόντων που μπορούν να προκύψουν από την παραγωγική διαδικασία των βιοκαυσίμων τα οποία καλύπτουν ή μπορούν να καλύψουν εμπορικές εφαρμογές συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην αειφορία του παραγωγικού συστήματος.
- Η αναζήτηση και χρήση μιας μεθοδολογίας/τεχνικής και ενός συνόλου κριτηρίων για την αξιολόγηση των συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων. Ο σχετικός στόχος που τέθηκε ήταν η μεθοδολογία και τα κριτήρια να χαρακτηρίζονται από πληρότητα, επιστημονική αρτιότητα και να είναι αποδεκτά από τα ενδιαφερόμενα μέρη κατά τη λήψη σχετικών αποφάσεων.

Τα αποτελέσματα της εργασίας μας παρατίθενται στην ανά χείρας διατριβή, της οποίας η δομή δίνεται παρακάτω.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα κυριότερα βιοκαύσιμα, οι ιδιότητές τους, οι τεχνολογίες παραγωγής τους ενώ γίνεται και η αξιολόγησή τους με βάση τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις τους.

Στο Κεφάλαιο 3 διερευνάται η κατάσταση που επικρατεί στην Ευρώπη όσον αφορά την παραγωγή και τη χρήση των βιοκαυσίμων μεταφοράς και διερευνώνται οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στην οικονομία.

Στο Κεφάλαιο 4 διερευνάται το ελληνικό δυναμικό λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών και εξετάζεται η χρήση τους ως υποκατάστατου καυσίμου στην τσιμεντοβιομηχανία αλλά και ως α΄ ύλης για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Σχεδιάζεται και κοστολογείται ένα σύστημα εφοδιασμού βιομηχανίας με τέτοια βιομάζα. Αξιολογούνται δυο εναλλακτικά σενάρια χρήσης της βιομάζας αυτής με βάση την επίδοσή τους έναντι περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων.

Στο Κεφάλαιο 5 εισάγονται πέντε εναλλακτικά σενάρια παραγωγής βιοαιθανόλης και άλλων δευτερευόντων προϊόντων με χρήση ως α΄ ύλης υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας. Τα πέντε αυτά συστήματα αξιολογούνται με τη χρήση μιας μεθοδολογίας πολυκριτηριακής ανάλυσης που προτείνεται για τον προσδιορισμό της επίδοσης των συστημάτων έναντι ενός συνόλου αντικειμενικών αλλά και υποκειμενικών περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων.

Η επίδραση της χημικής σύστασης της χρησιμοποιούμενης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας γεωργικών υπολειμμάτων στην αειφορία των συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης διερευνάται στο Κεφάλαιο 6.

Η διατριβή κλείνει με τη σύνοψη των συμπερασμάτων που προέκυψαν και προτάσεις κατευθύνσεων για τη μελλοντική έρευνα.

2. ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

2.1. Κατηγορίες βιοκαυσίμων

Αναφερθήκαμε στην Εισαγωγή στη διαφοροποίηση των όρων βιοκαύσιμα και ορυκτά καύσιμα και στην ειδοποιό διαφορά τους που εντοπίζεται στο ότι τα βιοκαύσιμα παράγονται από βιομάζα. Με τον όρο βιομάζα καλείται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς (ή μέχρι πρόσφατα ζωντανούς) οργανισμούς. Η βιομάζα μπορεί να διακριθεί σε παρθένα και υπολειμματική. Η παρθένα ορίζεται ως η ποσότητα μιας καλλιέργειας (δασικής ή γεωργικής) που χρησιμοποιείται αυτούσια για την παραγωγή βιοκαυσίμου, ενώ υπολειμματική βιομάζα είναι η ποσότητα που απομένει ως κατάλοιπο μετά από την επεξεργασία της παρθένας. Και οι δυο μορφές βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή βιοκαυσίμων.

Μια προσέγγιση του παγκόσμιου δυναμικού της βιομάζας παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Παγκόσμιο δυναμικό βιομάζας

| | Δάση | Σαβάνες | Έλη και Βάλτοι | Καλλιεργήσιμη Γη | Υπόλοιπο Ξηράς | Θάλασσα |
|--|-------|---------|----------------|------------------|----------------|---------|
| Έκταση (10 ⁶ km ²) | 48.5 | 24.0 | 2.0 | 14 | 74.5 | 361 |
| % | 9.5 | 4.7 | 0.4 | 2.7 | 14.6 | 70.8 |
| Παραγωγή C (Gt/yr) | 33.26 | 8.51 | 2.70 | 4.10 | 8.40 | 24.62 |
| % | 42.9 | 11.0 | 3.5 | 5.2 | 10.8 | 31.8 |
| Υπάρχουσα βιομάζα, C (Gt) | 744 | 33.5 | 14.0 | 6.3 | 37.5 | 4.5 |
| % | 89.3 | 4.0 | 1.7 | 0.7 | 4.5 | 0.5 |

Πηγή: (Klass, 1998)

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.1, η καλλιεργήσιμη γη αντιστοιχεί στο 2.7% της συνολικής έκτασης της γης ή στο 9% της ξηράς της και παράγει 4.1 Gt C ετησίως, ενώ η υπάρχουσα βιομάζα αντιστοιχεί σε 6.3 Gt C.

Η δασική βιομάζα αποτελεί το 89% (33.26 Gt) της παγκόσμιας υπάρχουσας βιομάζας και προέρχεται από έκταση που αντιστοιχεί στο 9.5% της συνολικής έκτασης της γης. Ο ετήσιος ρυθμός παραγωγής βιομάζας, ισοδύναμης ενέργειας 24.62GJ, θα μπορούσε να καλύψει δυο φορές τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες για το έτος 1993, που υπολογίστηκαν σε 314 EJ, και αντιστοιχούν σε 33.26 Gt ξηρής βιομάζας (Klass, 1998). Τα δάση είναι η μεγαλύτερη δεξαμενή αποθήκευσης άνθρακα. Η αποδάσωση όμως αποτελεί το μεγαλύτερο κίνδυνο για

αυτά. Η αποδάσωση υλοποιείται για την αύξηση της καλλιεργήσιμης γης ή για την εκμετάλλευση της δασικής ξυλείας. Σύμφωνα με δορυφορικές παρατηρήσεις, ο ρυθμός αποδάσωσης στα τροπικά δάση της Βραζιλίας είναι $80 \cdot 10^3 \text{ Km}^2/\text{έτος}$, έκταση που αποτελεί το 0.16% των παγκόσμιων δασικών εκτάσεων (Klass, 1998).

Η υπολειμματική βιομάζα μπορεί να προέρχεται από τις παρακάτω πηγές:

- Αστικά στερεά απορρίμματα.
- Αστικά λύματα.
- Βιομηχανικά απόβλητα.
- Ζωικά απόβλητα.
- Γεωργικά και δασικά υπολείμματα.

Το αναμενόμενο δυναμικό για το έτος 2050 σε μερικές κατηγορίες υπολειμμάτων έχει εκτιμηθεί και παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2 (Ladanai & Vinterbäck, 2009). Το σύνολο του παγκόσμιου δυναμικού από τις συγκεκριμένες κατηγορίες εκτιμάται ότι μπορεί να ανέλθει το 2050 σε 325 EJ.

Πίνακας 2.2: Αναμενόμενο για το έτος 2050 παγκόσμιο δυναμικό υπολειμματικής βιομάζας

| Πηγή | Δυναμικό (EJ/yr) |
|----------------------|------------------|
| Δασικά υπολείμματα | 30–150 |
| Γεωργικά υπολείμματα | 15-70 |
| Κοπριά | 5–55 |
| Λύματα | 5–50 |
| Σύνολο | 55-325 |

Πηγή: (Ladanai & Vinterbäck, 2009)

Τα βιοκαύσιμα με τη σειρά τους μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη φυσική τους κατάσταση σε :

- Στερεά βιοκαύσιμα
- Υγρά βιοκαύσιμα
- Αέρια βιοκαύσιμα.

Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των τριών κατηγοριών παρουσιάζονται στα επόμενα.

2.1.1. Στερεά βιοκαύσιμα

Τα στερεά βιοκαύσιμα αποτελούν την αρχαιότερη πηγή για τη θέρμανση του ανθρώπου και είναι τα πιο διαδομένα στις ανθρώπινες κοινωνίες. Οι κυριότεροι τύποι στερεών βιοκαυσίμων είναι οι εξής.

Στερεά καύσιμα προερχόμενα από απορρίμματα (Refused Derived Fuel -RDF) ²

Αποτελεί κλάσμα που παράγεται από αστικά απορρίμματα μετά από μηχανική (μηχανικό διαχωρισμό, μαγνητικό διαχωρισμό, μείωση μεγέθους) και θερμική επεξεργασία (ξήρανση) τους. Περιέχουν κυρίως υπολείμματα χαρτιού και πλαστικών. Η θερμική τους αξία είναι σχετικά μικρή και έχει υπολογιστεί γύρω στα 9,200 KJ/kg(Σκορδιλής, 1990). Το RDF είναι βιομηχανικό καύσιμο και έχει βρει κυρίως εφαρμογές στη τσιμεντοβιομηχανία και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συμπαραγωγή θερμότητας.

Πλίνθοι (Briquettes)

Παράγονται από παρθένα βιομάζα μέσω θερμομηχανικής μετατροπής της η οποία περιλαμβάνει ελάττωση μεγέθους, ξήρανση και συμπίεση του τεμαχισμένου ξύλου σε μεγάλα τεμάχια ομοιόμορφου μεγέθους. Το σχήμα τους είναι συνήθως κυλινδρικό ή παραλληλεπίπεδο. Περιέχουν συνήθως υγρασία σε ποσοστό περίπου 5%. Η θερμική τους αξία είναι περίπου 19,000 KJ/Kg. Οι πλίνθοι χρησιμοποιούνται ως καύσιμο σε βιομηχανικές εφαρμογές, π.χ. σε ξήρανση, σε παραγωγή ζεστού νερού ή/και ατμού κλπ. Χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως ως καύσιμο σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης.

Συσσώματα σε μορφή σβώλων (Pellets)

Παράγονται με συμπίεση λεπτομερώς τεμαχισμένου ξύλου που προέρχεται από δασικά ή γεωργικά υπολείμματα. Περιέχουν 5-10% υγρασία και η θερμική τους αξία ποικίλλει από 10,000 έως 20,000 KJ/Kg. Η κυριότερη διαφορά τους από τους πλίνθους είναι το μικρό τους μέγεθος. Έχουν σχήμα κυλινδρικό με διάμετρο περίπου 1cm και μήκος 3-5 cm. Έχουν τις ίδιες εφαρμογές με τους πλίνθους ενώ το ενεργειακό περιεχόμενο και των δυο είναι συνάρτηση της χημικής σύστασης της βιομάζας από την οποία παράγονται.

Ξύλο

Αυτός ο τύπος περιλαμβάνει όχι μόνο την ξυλεία που παράγεται για καύση από τα δάση αλλά και τα καυσόξυλα από δασικά ή και γεωργικά υπολείμματα. Η υγρασία που περιέχεται σε αυτά κυμαίνεται από 40 έως 70% κ.β., ανάλογα με την βιομάζα από την οποία προέρχονται αλλά και από την περίοδο συλλογής (κοπής) τους. Τυπική τιμή της θερμικής τους αξίας είναι τα 18,600 KJ/kg επί ξηρής βάσης. Η τιμή αυτή ποικίλλει ανάλογα με τη χημική σύνθεσή της (σύσταση σε λιγνίνη, κυτταρίνη κλπ). Το ξύλο και τα υπολείμματα ξύλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία για την παραγωγή ενέργειας και συμπαραγωγή θερμότητας, σε εφαρμογές όπου η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται απ' ευθείας και άμεσα (π.χ. κλίβανοι στη τσιμεντοβιομηχανία). Ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι η χρήση τους σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης (E. Petrou & Mihiotis, 2007).

² Στη διατριβή αυτή όλοι οι ξενόγλωσσοι όροι επισημαίνονται με πλάγια γραφή. Επίσης, την πρώτη φορά που χρησιμοποιείται κάποιος τέτοιος όρος παρατίθεται και η αγγλική του απόδοση σε παρένθεση.

Λυματολόαση

Η λυματολόαση παράγεται από τις διεργασίες καθαρισμού αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων. Η τυπική τιμή για την θερμική της αξία είναι περίπου 19,000 KJ/kg. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ως εναλλακτικό καύσιμο στη τσιμεντοβιομηχανία.

Βιομηχανικά Απορρίμματα

Είναι απορρίμματα από διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν τα υπολείμματα της βιομηχανίας ξύλου, των εκκοκκιστηρίων βάμβακος κλπ. Οι ιδιότητες τους όπως η περιεχόμενη υγρασία, η θερμική αξία κλπ, ποικίλλουν ευρέως. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμα σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές θέρμανσης (ζήρανση, παραγωγή ατμού) καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ή και χωρίς συμπαραγωγή θερμότητας.

2.1.2. Υγρά βιοκαύσιμα

Τα υγρά βιοκαύσιμα μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- Βιοκαύσιμα βιοχημικής μετατροπής. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται το *biodiesel*.
- Βιοκαύσιμα συνθετικής οξυγόνωσης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται η βιοαιθανόλη, η βιομεθανόλη και ο τριτοταγής μεθυλ-βουτυλ-αιθέρας.

Από την κατηγορία των υγρών βιοκαυσίμων τα κυριότερα και αυτά που έχουν συγκεντρώσει το μεγαλύτερο ερευνητικό και εμπορικό ενδιαφέρον είναι το *biodiesel* και η βιοαιθανόλη. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους παρατίθενται στα επόμενα.

Biodiesel

Το *biodiesel* ορίζεται ως μίγμα μονο-αλκυλ-εστέρων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας οι οποίοι προέρχονται από ανανεώσιμη πηγή, όπως βρώσιμα έλαια και λίπη ζωικής προέλευσης, ή από άλλη βιομάζα που περιέχει τριγλυκερίδια, όπως είναι π.χ. τα μικροάλγη (μικροφύκη). Το *biodiesel* μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κανονικές ή τροποποιημένες μηχανές εσωτερικής καύσης αυτούσιο ή σε μίγμα με συμβατικό diesel. Η Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη του *biodiesel* είναι 40,500 KJ/kg ενώ η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμή του είναι 37,300 KJ/kg.

Βιοαιθανόλη

Προκύπτει από την απόσταξη υγρού ρεύματος το οποίο παράγεται από ζύμωση βιομάζας περιέχουσας σάκχαρα ή λιγνοκυτταρίνη. Τυπικά δείγματα βιομάζας περιέχουσας σάκχαρα είναι τα σακχαροκάλαμα, τα σακχαρότευτλα, ο σόργος και το καλαμπόκι, ενώ αντίστοιχα δείγματα βιομάζας περιέχουσας λιγνοκυτταρίνη είναι το άχυρο, τα στελέχη του φυτού της βαμβακιάς (*cotton stalks*), τα στελέχη του φυτού του καλαμποκιού (*corn stover*) κ.α. Το είδος της βιομάζας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της αιθανόλης επιδρά στο βαθμό απόδοσης της βιομηχανικής διεργασίας παραγωγής της. Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης αυτούσια σε μίγματα με άλλο καύσιμο (συμβατική βενζίνη). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ή χωρίς συμπαραγωγή θερμότητας, ως καύσιμο σε κυψέλες θερμοχημικής δράσης αλλά και ως πρόδρομη ύλη για την παραγωγή προϊόντων στη χημική βιομηχανία. Η Ανώτερη και η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη της αιθανόλης προσδιορίζονται στα 29,800 KJ/kg και 26,950 KJ/kg, αντίστοιχα (στους 20° C).

2.1.3. Αέρια Βιοκαύσιμα

Τα αέρια βιοκαύσιμα είναι τα λιγότερο χρησιμοποιούμενα. Παράγονται με αεριοποίηση της βιομάζας τροφοδοσίας η οποία περιλαμβάνει θερμοχημική ή μικροβιακή αποσύνθεση των συστατικών της. Η θερμοχημική διεργασία αεριοποίησης ονομάζεται πυρόλυση ενώ η μικροβιακή ονομάζεται χώνευση. Το παραγόμενο προϊόν των διεργασιών αυτών είναι ένα μίγμα που περιέχει ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω αέρια.

- Μεθάνιο (CH₄).
- Υδρογόνο (H₂).
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Η θερμική αξία των αέριων βιοκαυσίμων εξαρτάται κυρίως από τη χημική τους σύνθεση και την τεχνολογία παραγωγής τους και ποικίλλει από 10,000 έως 20,000 KJ/kg.

Ξύλο, δασικά υπολείμματα, γεωργικά υπολείμματα και ζωική κοπριά χρησιμοποιούνται συνήθως ως α' ύλη για την αεριοποίηση. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ή χωρίς συμπαραγωγή θερμότητας
- ως βιομηχανικό καύσιμο για την απ' ευθείας χρήση της παραγόμενης θερμότητας (π.χ. σε κάμινους της τσιμεντοβιομηχανίας)
- ως α' ύλη για τη σύνθεση αμμωνίας
- ως α' ύλη στη χημική βιομηχανία.

2.2. Τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων

2.2.1. Παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων

RDF

Η τυπική διαδικασία παραγωγής *RDF* που ονομάζεται Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία περιλαμβάνει την ελάττωση μεγέθους του ρεύματος της τροφοδοσίας, το διαχωρισμό και την ξήρανση.

Σε μια άλλη τεχνολογία παραγωγής τα αστικά απορρίμματα, αφού διαχωριστεί το σιδηρούχο κλάσμα, ξηραίνονται και σταθεροποιούνται μέσω μιας διεργασίας κομποστοποίησης και παράγεται ένα κλάσμα με μεγάλη θερμική αξία κατάλληλο για καύση.

Ο βαθμός απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας του *RDF* εξαρτάται από τη χημική σύνθεση της βιομάζας τροφοδοσίας αλλά και από την τεχνολογία παραγωγής του επίσης.

Στη Ευρώπη αναφέρονται συνήθως βαθμοί απόδοσης από 23% έως 50% (% κ.β. *RDF* σε αστικά απορρίμματα) ενώ σε μια περίπτωση έχει αναφερθεί βαθμός απόδοσης περίπου 85% (European Commission/DG Environment, 2003).

Πελέτες και μπρικέτες μπορούν επίσης να παραχθούν από το *RDF*.

Μπρικέτες και Πελέτες

Τα βασικά στάδια της διαδικασίας παραγωγής των μπρικετών και των πελετών είναι η αρχική ελάττωση μεγέθους της βιομάζας τροφοδοσίας η οποία ακολουθείται από τη συμπίεση της τεμαχισμένης βιομάζας σε μηχανή εκβολής. Σε μερικές περιπτώσεις στην τεμαχισμένη βιομάζα προστίθεται ένας συνδετικός παράγοντας κατά το στάδιο της συμπίεσης. Αυτό δεν είναι πάντα απαραίτητο αφού η λιγνίνη που περιέχεται στη βιομάζα δρα σαν τέτοιος συνδετικός παράγοντας.

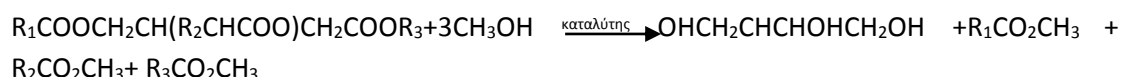
Οι μπρικέτες και οι πελέτες είναι προϊόντα με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία σε σχέση με τη βιομάζα απ' όπου προέρχονται. Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση για την παραγωγή μπρικετών ή πελετών έχει υπολογιστεί στα 980,000 Kcal/t περίπου, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται σε αυτήν η κατανάλωση ενέργειας από τους τόπους συλλογής της βιομάζας έως τον τόπο παραγωγής των μπρικετών –πελετών. Το κόστος παραγωγής, το οποίο εξαρτάται κυρίως από την τιμή αγοράς της βιομάζας και την περιεκτικότητά της σε υγρασία (αφού αυτή επιδρά άμεσα στο κόστος ξήρανσης), κυμαίνεται από €40 το €110 ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος ("European Biomass Industry Association," 2014). Μια άλλη παράμετρος που επιδρά στο κόστος παραγωγής είναι η δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής.

2.2.2. Παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων

Biodiesel

Η παραγωγή του *biodiesel* περιλαμβάνει το στάδιο της μετεστεροποίησης (ή αλκοόλυσης) ενός εστέρα η οποία ακολουθείται από τα στάδια διαχωρισμού και εξάτμισης. Οποιοσδήποτε τύπος βιομάζας που περιέχει τριγλυκερίδια (εστέρες) μπορεί να

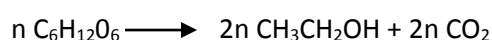
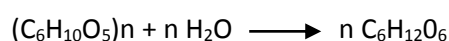
χρησιμοποιηθεί ως α' ύλη για την παραγωγική αυτή διαδικασία. Η βασική χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά το στάδιο της μετεστεροποίησης είναι η παρακάτω.



Ο καταλύτης μπορεί να είναι οξύ ή βάση. Η θερμοκρασία της αντίδρασης πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 60 °C, ενώ η παραγωγή χωρεί κατά παρτίδες. Σε μια τυπική διαδικασία παραγωγής *biodiesel*, 1 t α' ύλης που περιέχει 2.5% ελεύθερα λιπαρά οξέα και 135 Kg μεθανόλης παράγουν 946 kg μεθυλεστέρων, 89 kg γλυκερίνης και 23 kg λιπαρών οξέων (Klass, 1998). Το παραπροϊόν της γλυκερίνης έχει εμπορική αξία και μπορεί να συμβάλει έτσι στη βελτίωση της οικονομικότητας της εγκατάστασης παραγωγής. Το ίδιο ισχύει και για άλλα παραπροϊόντα της διαδικασίας, π.χ. ζωτροφές.

Βιοαιθανόλη

Η βιοαιθανόλη παράγεται από ζύμωση σακχαρούχας (αποτελούμενης από ολιγοσακχαρίτες) ή κυτταρινούχας (αποτελούμενης από πολυσακχαρίτες) βιομάζας. Το στάδιο της ζύμωσης ακολουθείται από στάδια διαχωρισμού και απόσταξης. Οι βασικές χημικές αντιδράσεις της ζύμωσης είναι:



Για το στάδιο της ζύμωσης χρησιμοποιούνται διάφορες ζύμες αλλά η πιο διαδομένη είναι ο σακχαρομύκητας *saccharomyces cerevisiae*.

Η αναζήτηση γενετικά τροποποιημένων μικροοργανισμών ή άλλων εκλεκτικών οι οποίοι να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζύμες και να βελτιώσουν την απόδοση της ζύμωσης αποτελεί αντικείμενο εντατικής έρευνας τα τελευταία έτη.

2.2.3. Παραγωγή Αέριων Βιοκαυσίμων

Τα αέρια βιοκαύσιμα παράγονται κυρίως με διεργασία θερμικής ή μικροβιακής αεριοποίησης της βιομάζας. Στη θερμική αεριοποίηση διάφορες τεχνικές όπως η πυρόλυση, η μερική οξειδωση, ή η οξειδωση με ατμό χρησιμοποιούνται για την διάσπαση των περίπλοκων οργανικών συστατικών της βιομάζας τροφοδοσίας και την παραγωγή του αέριου καυσίμου. Οι διαφορές μεταξύ των προαναφερόμενων τεχνικών εντοπίζονται στις παραμέτρους της διεργασίας και στα στάδια διαχωρισμού του αέριου καυσίμου από τα αέρια παραπροϊόντα. Το αέριο καύσιμο αποτελείται από απλούς αέριους υδρογονάνθρακες και άλλα αέρια καύσιμα (κυρίως μεθάνιο και υδρογόνο).

Μικροοργανισμοί οι οποίοι μπορούν να διασπάσουν τα συστατικά της βιομάζας σε απλούστερα μόρια χρησιμοποιούνται στη μικροβιακή αεριοποίηση. Αυτοί οι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν ένα είδος εκλεκτικότητας προς την παραγωγή μεθανίου ή

υδρογόνου. Παραγωγή μεθανίου ευνοείται από την απουσία αέρα και οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση είναι αναερόβιοι. Για την παραγωγή υδρογόνου χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μέθοδοι (Klass, 1998).

- Ζύμωση με συγκεκριμένα είδη ετερότροφων αναερόβιων οργανισμών
- Βιοφωτόλυση στην οποία χρησιμοποιούνται φωτοσυνθετικοί οργανισμοί
- Μέθοδος στην οποία χρησιμοποιούνται πλαστίδια που περιέχουν φερρεδοξίνη χλωροφύλλης και υδρογενάση χλωροφύλλης ως ένζυμα σε *in vitro* σύστημα.).

Η παραγωγή υδρογόνου μέσω αυτών των μεθόδων έχει επιτευχθεί έως σήμερα μόνο σε εργαστηριακή κλίμακα.

2.3. Αξιολόγηση βιοκαυσίμων

Το κύριο πλεονέκτημα των βιοκαυσίμων (τα οποία είναι ανανεώσιμα υλικά) είναι εν γένει η αντικατάσταση ή υποκατάσταση των συμβατικών (και μη ανανεώσιμων) καυσίμων. Η περιβαλλοντική τους επίδοση είναι καλύτερη μόνο σε λίγες περιπτώσεις. Επιπρόσθετα στις περισσότερες των περιπτώσεων το μεγάλο κόστος παραγωγής τους (συμπεριλαμβανομένου του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας) καθιστά την χρήση τους μη ελκυστική.

Στα επόμενα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από την παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων, τα οποία άπτονται των περιβαλλοντικών οικονομικών και κοινωνικών τους επιπτώσεων.

2.3.1. Στερεά Βιοκαύσιμα

RDF

Το *RDF* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ή χωρίς συμπαραγωγή θερμότητας καθώς και σε εργοστάσια τσιμέντου. Στις χρήσεις του αυτές το *RDF* αντικαθιστά ή υποκαθιστά το κάρβουνο, τον πετρελαϊκό άνθρακα (*pet coke*) το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission/DG Environment, 2003) η εξοικονόμηση από την υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων με *RDF* εξαρτάται από την τεχνολογία καύσης που εφαρμόζεται στο εκάστοτε παραγωγικό σύστημα. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι ποσότητες ενέργειας που παράγονται και οι ποσότητες των καυσίμων που υποκαθίστανται για κάθε 1t *RDF* (παραγόμενου με τη μέθοδο της ξηρής σταθεροποίησης) που χρησιμοποιείται.

Πίνακας 2.3: Ενέργεια που παράγεται και ποσότητα που υποκαθίσταται για κάθε 1t RDF

| <i>Καίγεται σε</i> | <i>Παράγει</i> | <i>Υποκαθιστώντας</i> |
|-----------------------------------|------------------|---|
| Σταθμό Ηλεκτροπαραγωγής Λιγνίτη | 1,500 KWh | 1,230 Kg λιγνίτη |
| Σταθμό Ηλεκτροπαραγωγής Ανθρακίτη | 1,500 KWh | 550 kg ανθρακίτη |
| Κάμινο Εργοστασίου Τσιμέντου | 4,080 Kg κλίνκερ | 550 kg ανθρακίτη |
| κλίβανο MSW | 520 KWh | Ισοδύναμο ποσό μίγματος καυσίμου του ευρωπαϊκού δημόσιου δικτύου ηλεκτροπαραγωγής (<i>European electricity mix</i>) |

Πηγή: (European Commission/DG Environment, 2003)

Για τη σύνταξη της έκθεσης της Γενικής Διεύθυνσης Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την παραγωγή και τη χρήση του *RDF* οι συγγραφείς της υλοποίησαν Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής για τέσσερις περιπτώσεις βιομηχανικών εφαρμογών. Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζεται η επίδοση του *RDF* σε διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων στις τέσσερις αυτές εφαρμογές, η οποία συγκρίνεται με τις αντίστοιχες επιδόσεις του κάρβουνου. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.4 η επίδοση του *RDF* στην κατηγορία της παγκόσμιας υπερθέρμανσης είναι καλύτερη από την αντίστοιχη του άνθρακα. Εξάιρεση αποτελεί η χρήση του στην αποτέφρωση για παραγωγή ενέργειας, όπου η επίδοσή του στην ίδια κατηγορία επιπτώσεων είναι χειρότερη από την αντίστοιχη του άνθρακα (European Commission/DG Environment, 2003).

Επιπρόσθετα, η επίδοση του *RDF* στις εκπομπές NO_x , Hg και Pb είναι κακή, ενώ ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα σχετικά με τις περιβαλλοντικές του επιδόσεις σχετίζεται με την υψηλή περιεκτικότητά του σε Cd, Cu και Zn.

Το κυριότερο συμπέρασμα της έκθεσης της Γενικής Διεύθυνσης Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής είναι ότι καμιά από τις εφαρμογές δεν παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε παγκόσμιο επίπεδο (European Commission/DG Environment, 2003). Από την άλλη μεριά, η αποτελεσματική υποκατάσταση του κύριου ορυκτού καυσίμου με *RDF* στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στα εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου κάνει αυτές τις εφαρμογές να παρουσιάζουν οικολογικά πλεονεκτήματα έναντι της χρήσης του *RDF* σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπου αποτεφρώνεται μαζί με αστικά απορρίμματα. Τα πλεονεκτήματα αυτά, καταλήγει η έκθεση, θα πρέπει να συνεκτιμηθούν με την τάση αυτών των εγκαταστάσεων να παράγουν υψηλότερες εκπομπές ρυπαντών (ιδίως υδραργύρου) σε σχέση με τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων. Το όφελος από την χρήση *RDF* ως υποκατάστατου συμβατικού καυσίμου θα πρέπει να προσδιοριστεί με κατάλληλους ελέγχους των εκπομπών και της ποιότητας της τροφοδοσίας. Σημειώνεται ότι έως σήμερα η Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος δεν έχει επανέλθει με άλλη έκθεση, γεγονός που καθιστά αναλλοίωτη την αξία των προηγούμενων συμπερασμάτων.

Πίνακας 2.4 :Επίδοση RDF σε διάφορες περιβαλλοντικές κατηγορίες.

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ | ΣΤΑΘΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ | | ΣΤΑΘΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΘΡΑΚΙΤΗ | | ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ | | ΣΤΑΘΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ MSW | |
|---|----------------------------------|----------|------------------------------------|------------|----------------------|------------|------------------------------|----------------|
| | RDF | Λιγνίτης | RDF | Ανθρακίτης | RDF | Ανθρακίτης | RDF | Ορυκτό καύσιμο |
| Παγκόσμια Υπερθέρμανση / Kg CO ₂ -eq | 4.85E+02 | 1.72E+03 | 4.91E+02 | 1.62E+03 | 2.48E+03 | 4.09E+03 | 4.91E+02 | 3.44E+02 |
| Φωτοχημικό νέφος / Kg NO _x -corrected photooxidantial creation potential | 4.22E-01 | 1.79E-01 | 4.05E-01 | 2.97E-01 | 1.03E+00 | 7.89E-01 | 3.69E-01 | 6.47E-02 |
| Οξίνιση / Kg SO ₂ eq | 2.23E+00 | 3.35E+00 | 2.38E+00 | 2.45E+00 | 5.96E+00 | 6.07E+00 | 1.57E+00 | 6.00E-01 |
| Ευτροφισμός / kg PO ₄ ⁻³ eq | 2.32E-01 | 2.21E-01 | 1.84E-01 | 1.69E-01 | 9.11E-01 | 9.38E-01 | 1.71E-01 | 6.20E-02 |
| Τοξικότητα στον άνθρωπο / Kg As eq | 1.53E-04 | 5.07E-05 | 5.52E-05 | 5.65E-05 | 3.42E-05 | 5.81E-05 | 9.41E-06 | 8.26E-06 |
| Υδράργυρος / kg | 4.63E-04 | 6.53E-05 | 3.31E-04 | 5.96E-05 | 7.24E-04 | 3.03E-04 | 1.08E-04 | 7.63E-06 |
| Μόλυβδος / kg | 2.30E-03 | 1.41E-05 | 8.97E-04 | 8.23E-05 | 5.81E-06 | 1.68E-06 | 6.21E-05 | 8.43E-06 |

Πηγή: (European Commission/DG Environment, 2003)

Μπρικέςτες-Πελέτες-Ξύλο

Το κύριο πλεονέκτημα των μπρικέςτων και των πελετών είναι η μεγάλη ενεργειακή τους πυκνότητα. Συνήθως αποδίδουν 10 έως 20 φορές την ενέργεια που καταναλώθηκε για την παραγωγή τους.

Το κόστος παραγωγής τους εξαρτάται από την τιμή αγοράς της βιομάζας τροφοδοσίας και οπωσδήποτε από το κόστος μεταφοράς από τον τόπο συλλογής της βιομάζας στον τόπο παραγωγής των μπρικέςτων/πελετών (εάν αυτό το κόστος δεν συμπεριλαμβάνεται στην τιμή αγοράς της βιομάζας). Εν γένει οι μπρικέςτες και οι πελέτες μπορούν να συμβάλλουν θετικά στη μείωση των εκπομπών CO₂ αφού παράγονται από ανανεώσιμη πηγή. Αντίθετα, μειονέκτημά τους αποτελεί η εκπομπή Πτητικών Οργανικών Ουσιών κατά την καύση τους. Σημειώνεται πάντως ότι η σημαντικότητά του προβλήματος των εκπομπών CO₂ τοποθετούνται σε παγκόσμιο επίπεδο εν αντιθέσει με τις εκπομπές Πτητικών Οργανικών Ουσιών που θεωρείται πρόβλημα τοπικής σημασίας.

Το ξύλο και τα στερεά καύσιμα που παράγονται από ξύλο περιέχουν χλώριο (Cl₂) και ως εκ τούτου είναι δυνατόν κατά την καύση τους να εκλύονται διοξίνες. Οι διοξίνες σχηματίζονται κατά τη διάρκεια καύσης σε υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στην επιφάνεια στερεών σωματιδίων, παρουσία χλωρίου, άνθρακα, οξυγόνου και καταλύτη (Cu) και σε εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 180 και 500° C. Σύμφωνα με κάποιες βιβλιογραφικές αναφορές πρόβλημα εκπομπών διοξινών παρουσιάζεται σε περιπτώσεις συγκέντρωσης χλωρίου (μεγαλύτερες από 0.3% κ.β. (Oberberger, Brunner, & Bärnthaler, 2006)). Η περιεκτικότητα αυτή θεωρείται πιθανή για την χορτώδη/ποώδη βιομάζα.

Η μερική υποκατάσταση του ανθρακίτη από ξύλο σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής έχει διερευνηθεί όσον αφορά την περιβαλλοντική της επίδοση (Hartmann & Kaltschmitt, 1999). Συγκεκριμένα στην εργασία αυτή υλοποιήθηκε Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής για καθένα από τα παρακάτω συστήματα:

- Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με ανθρακίτη.
- Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με μίγμα καύσιμου (90% ανθρακίτης και 10% άχυρο).
- Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με μίγμα καύσιμου (90% ανθρακίτης και 10% ξύλο).

Τα αποτελέσματα της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.5. Όπως προκύπτει από τον συγκεκριμένο πίνακα οι επιδόσεις της βιομάζας στις κατηγορίες της εξάντλησης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στις εκπομπές CO₂ and SO₂ είναι πολύ καλές.

Πίνακας 2.5: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

| | Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με ανθρακίτη | Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με μίγμα καύσιμου (90% ανθρακίτης και 10% άχυρο) | Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με μίγμα καύσιμου (90% ανθρακίτης και 10% ξύλο) |
|--|---------------------------------------|---|--|
| | | | |

| | | | |
|---|-------|-----|-----|
| Κατανάλωση μη ανανεώσιμης ενέργειας (MWh/MWh _{power}) | 2,514 | 130 | 119 |
| CO ₂ <i>equivalent</i> (t/MWh _{power}) | 931 | 37 | 35 |
| SO ₂ <i>equivalent</i> (kg/MWh _{power}) | 1,515 | 692 | 286 |

Πηγή: (Hartmann & Kaltschmitt, 1999)

Το βασικότερο μειονέκτημα των μπρικετών/πελετών και ξύλου αποτελεί το σύστημα συλλογής και συγκέντρωσης της απαιτούμενης βιομάζας το οποίο είναι πολύπλοκο και δαπανηρό εξαιτίας (E. Petrou & Mihiotis, 2007):

- Της μεγάλης διασποράς των πηγών βιομάζας και του συνεπαγόμενου μεγάλου αριθμού δρομολογίων που απαιτούνται για τη μεταφορά της στον τόπο συγκέντρωσης.
- Της σχετικά μικρής τιμής φαινόμενης της βιομάζας και του συνεπαγόμενα αντίστοιχου μεγάλου κόστους μεταφοράς και αποθήκευσής της ανά μονάδα βάρους.
- Της υψηλής τιμής περιεχόμενης υγρασίας της συλλεγόμενης βιομάζας και του συνεπαγόμενα αντίστοιχου μεγάλου κόστους μεταφοράς και αποθήκευσής της ανά μονάδα βάρους.

2.3.2. Υγρά βιοκαύσιμα

Biodiesel

Αρκετές μελέτες έχουν ασχοληθεί με το ενεργειακό ισοζύγιο της παραγωγής του *biodiesel*. Οι μελέτες αυτές δίνουν αποτελέσματα με μεγάλο εύρος τιμών που προφανώς διέπονται από μεγάλη αβεβαιότητα η οποία οφείλεται στους παρακάτω λόγους.

- Στην παραγωγή ή όχι εμπορικών παραπροϊόντων κατά τη διαδικασία παραγωγής του *biodiesel*. Στην πρώτη περίπτωση το ενεργειακό περιεχόμενο των παραπροϊόντων συμβάλλει στην αποδοτικότητα του συστήματος ενώ στη δεύτερη όχι.
- Στο μεγάλο εύρος των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων (ενεργειακό περιεχόμενο, φαινόμενη πυκνότητα, περιεκτικότητα σε τριγλυκερίδια κλπ) των τύπων βιομάζας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή, που συνεπάγεται και μεγάλο εύρος απόδοσής τους σε *biodiesel*.
- Στις διαφορετικές μεθόδους καλλιέργειας (άρωση, λίπανση κλπ) των διάφορων τύπων βιομάζας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή *biodiesel*, γεγονός που

συνεπάγεται μεγάλο εύρος τιμών των ποσοτήτων ενέργειας που απαιτούνται για την καλλιέργειά της.

Στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε συστήματα παραγωγής *biodiesel* σε όλο τον κύκλο ζωής. Όπως προκύπτει από τον πίνακα, μια άλλη παράμετρος που συμβάλλει στην αβεβαιότητα είναι και ο χρόνος υπολογισμού. Συγκεκριμένα, προϊόντος του χρόνου υπολογισμού η τιμή για την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή 1 l *biodiesel* (όπως και η αντίστοιχη αβεβαιότητα) μειώνεται προφανώς οφειλόμενη στην υιοθέτηση νεότερων και λιγότερο ενεργοβόρων τεχνολογιών παραγωγής.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με έρευνα του *National Biodiesel Board* η κατανάλωση ενέργειας στις μονάδες παραγωγής *biodiesel* περιορίζεται στο 1.2 MJ/l *biodiesel* (Oils, Gas, & Average, 2008). Η τιμή αυτή έχει προκύψει από έρευνα ανάμεσα σε 230 εταιρείες παραγωγής *biodiesel* των ΗΠΑ που χρησιμοποιούν παρθένα έλαια ή μίγματα με ανακυκλωμένα έλαια ως α' ύλη περιορίζοντας την αβεβαιότητά της στο ελάχιστο.

Πίνακας 2.6: Κατανάλωση ενέργειας και αβεβαιότητα στην παραγωγή *biodiesel*

| Έρευνα (Ετος) | Κατανάλωση Ενέργειας (MJ/l <i>bio-diesel</i>) | Σχετική Αβεβαιότητα (±%) |
|---|--|--------------------------|
| International Energy Agency (1999) (*) | 22 | 35 |
| Levington (2000) (*) | 15 | 25 |
| Joint Research Centre of the European Commission (2003) (*) | 12 | 10 |
| Pradhan et al (2011) (**) | 5.9 | - |

(*) Πηγή: (Frondel & Peters, 2007), (**) Πηγή: (Pradhan et al., 2011)

Δεδομένων των προαναφερόμενων καθώς και της καθαρής Θερμογόνου Δύναμης του *biodiesel* (32.3 MJ/l) προκύπτει ότι μόνο το 20% περίπου της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του *biodiesel* καταναλώνεται στη μονάδα παραγωγής. Το υπόλοιπο ποσό καταναλώνεται στα υπόλοιπα μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας (καλλιέργεια α' ύλης, τροφοδοσία μονάδας κλπ).

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι με βάση τη νεώτερη μελέτη από τις αναφερόμενες στον Πίνακα 2.6 (Pradhan et al., 2011) το *biodiesel* αποδίδει περίπου 5.5 φορές την ενέργεια που καταναλώνεται σε όλο το εύρος της εφοδιαστικής αλυσίδας κατά την παραγωγή του.

Η οικονομικότητα των συστημάτων παραγωγής *biodiesel* έχει επίσης εξεταστεί διεξοδικά. Το κόστος παραγωγής μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το κόστος απόκτησης της α' ύλης και τη

δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής. Το γεγονός αυτό πιέζει τους παραγωγούς *biodiesel* στην αναζήτηση και χρησιμοποίηση φθηνών τύπων βιομάζας ως α' ύλης.

Στον Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται δεδομένα μερικών ερευνών σχετικά με το κόστος παραγωγής και διανομής του *biodiesel* στην Ευρώπη για διάφορες περιπτώσεις α' ύλης. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.7 το κόστος απόκτησης της βιομάζας τροφοδοσίας της μονάδας για την παραγωγή του *biodiesel* αποτελεί συνήθως ποσοστό μεγαλύτερο από το 70% της τελικής τιμής του. Εξαιρεση αποτελεί η περίπτωση χρησιμοποιημένων ελαιολάδων όπου το κόστος απόκτησης της αποτελεί το 37% της τελικής τιμής του *biodiesel*.

Στον Διάγραμμα 2.1 δίνεται η χρονοσειρά τιμών του κόστους παραγωγής του *biodiesel* από σογιέλαιο στις ΗΠΑ και το κόστος απόκτησης της βιομάζας τροφοδοσίας (σογιέλαιου) από το έτος 2007 έως και τον Φεβρουάριο του 2014 ("United States Department of Agriculture, Economic Research Service," 2014). Όπως προκύπτει από το διάγραμμα το κόστος απόκτησης της βιομάζας τροφοδοσίας είναι σταθερά μεγαλύτερο του 70%.

Στο Διάγραμμα 2.2 παρουσιάζονται οι διεθνείς τιμές (μέσες τιμές) του *diesel* και του *biodiesel* όπως εκτιμήθηκαν από το *Danish Oil Industry Association (EOF)* για την περίοδο 2008-2014 (Cross Border Bioenergy Working Group, 2012). Όπως φαίνεται στο συγκεκριμένο διάγραμμα η τιμή του *biodiesel* είναι σταθερά μεγαλύτερη του *diesel* για τη συγκεκριμένη περίοδο. Μάλιστα το προφίλ τιμών του *biodiesel* ακολουθεί λίγο-πολύ το προφίλ τιμών του *diesel* με τη διαφορά τιμών μεταξύ των δυο προϊόντων να είναι περίπου €0.20/l (DKK 1.5 /l).

Επίσης στο Διάγραμμα 2.3 παρουσιάζεται η χρονοσειρά τιμών λιανικής πώλησης του *diesel* και *biodiesel* στις ΗΠΑ από το 2006 έως και το 2014 ("US Department of Energy Alternative Fuels Data Center," 2014). Όπως προκύπτει από το διάγραμμα το κόστος του *biodiesel* στο πρατήριο είναι μεγαλύτερο κατά 10-15% περίπου από την τιμή του *diesel*.

Γίνεται φανερό από τα προηγούμενα ότι αν και οι τιμές των ορυκτών καυσίμων (και του *diesel* περιλαμβανομένου) παρουσίασαν άνοδο κατά την τελευταία δεκαετία, το *biodiesel* δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό του *diesel* στην ελεύθερη αγορά χωρίς τις κρατικές ενισχύσεις. Για την καθιέρωση του *biodiesel* στην Ευρωπαϊκή Ένωση με πολιτικές αποφάσεις έχει προωθηθεί το μέτρο των επιδοτήσεων του.

Σύμφωνα με το *International Institute for Sustainable Development* η οριακή τιμή ενίσχυσης του *biodiesel* μέσω επιδοτήσεων και φοροαπαλλαγών για τη διετία 2005-2006 στην Ε.Ε. ήταν €0.618/l (Kutas, Lindberg, & Steenblik, 2007). Στον Πίνακα 2.8 παρουσιάζεται η κατανομή της ενίσχυσης αυτής στις κατηγορίες της φοροαπαλλαγής και επιδότησης. Σύμφωνα με μια άλλη μελέτη του ίδιου οργανισμού το ποσό της οριακής αυτής ενίσχυσης το έτος 2011 ήταν μεταξύ €0.32/l έως €0.39/l (Charles & Bridle, 2013). Από τα προηγούμενα συνάγεται ότι ο βαθμός ενίσχυσης του *biodiesel* στην Ε.Ε. κυμάνθηκε κατά την περίοδο 2005-2011 από 40 έως και 60% της τιμής του.

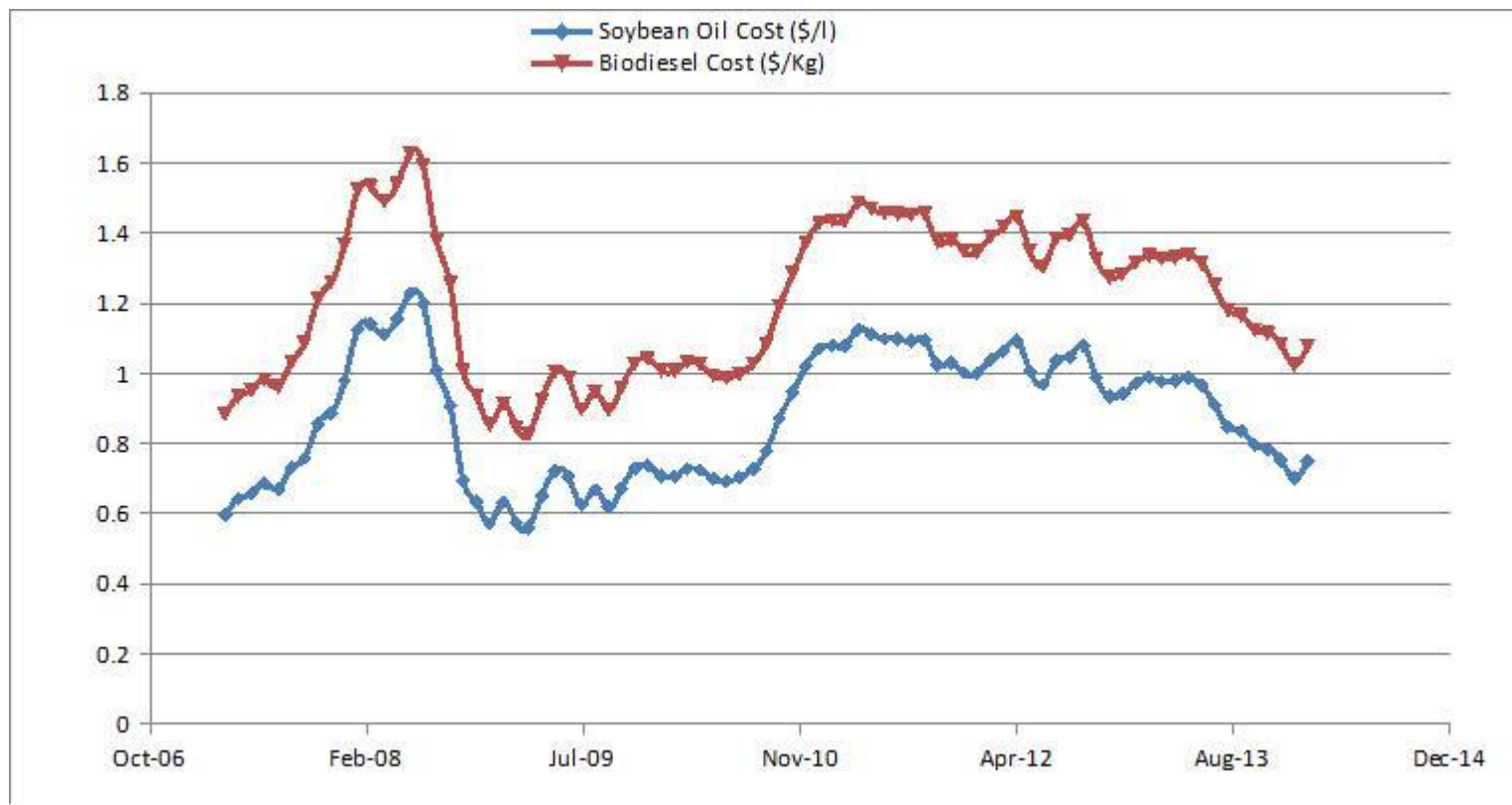
Πίνακας 2.7: Παραγωγή biodiesel από διάφορα έλαια: Παράγοντες διαμόρφωσης κόστους παραγωγής biodiesel στην Ευρώπη

| | Φοινικέλαιο (Προέλευσης Μαλαισίας)-2007 ⁽¹⁾ | Κραμβέλαιο (Προέλευσης Ε.Ε.)- 2007 ⁽¹⁾ | Σογιέλαιο (Προέλευσης ΗΠΑ)- 2007 ⁽¹⁾ | Σιναπέλαιο (Προέλευσης Αιθιοπίας)-2004 ⁽²⁾ | Χρησιμοποιημένο ελαιόλαδο (Ε.Ε.)- 2004 ⁽²⁾ |
|---|--|--|--|---|--|
| Κόστος απόκτησης α' ύλης (€/Kg) | 0.46 | 0.67 | 0.50 | 0.47 | 0.15 |
| Κόστος Παραγωγής και ανάμιξης με diesel (€/Kg) | 0.11 | 0.16 | 0.13 | 0.01 | 0.15 |
| Μερικό Σύνολο (€/Kg) | 0.57 | 0.83 | 0.63 | 0.48 | 0.30 |
| Δασμοί-Φόροι (€/Kg) | 0.06 | - | 0.04 | 0.08 | 0.05 |
| Διανομή (€/Kg) | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.06 |
| ΣΥΝΟΛΟ (€/Kg) | 0.67 | 0.87 | 0.70 | 0.66 | 0.41 |

⁽¹⁾: Παραγωγή Γερμανίας , Πηγή: (Yusuf, Kamarudin, & Yaakub, 2011)

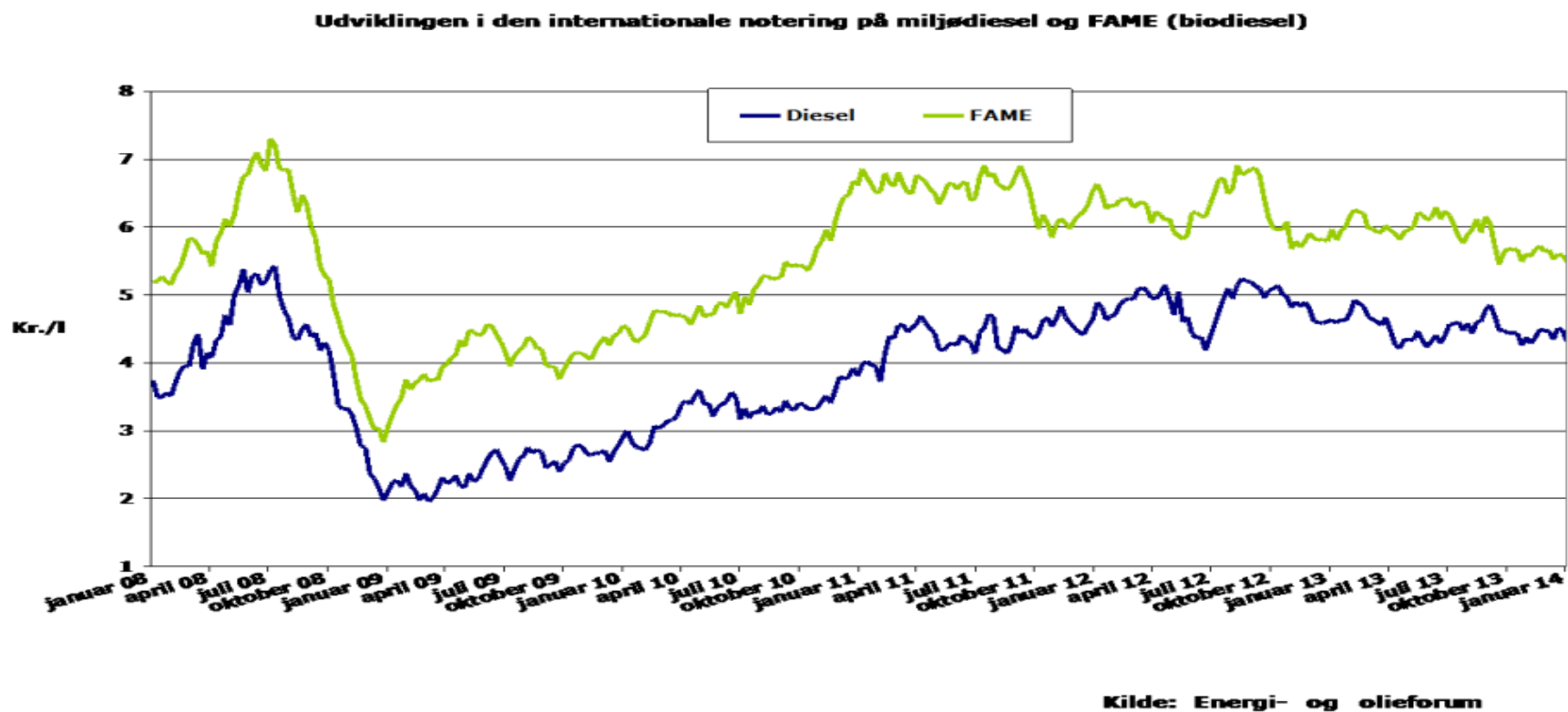
⁽²⁾ Παραγωγή Ισπανίας , Πηγή: (Dorado, Cruz, Palomar, & López, 2006)

Διάγραμμα 2.1: Χρονοσειρά τιμών κόστους παραγωγής *biodiesel* και κόστους απόκτησης βιομάζας τροφοδοσίας (2007-2014)



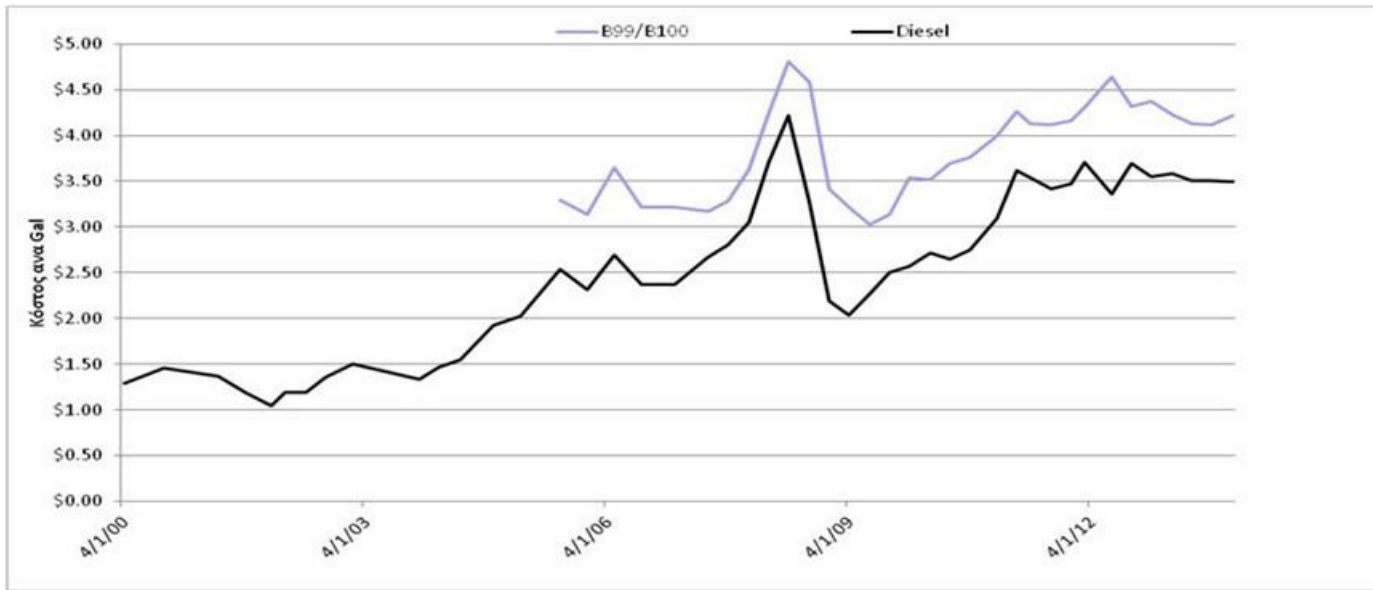
Πηγή: ("United States Department of Agriculture, Economic Research Service," 2014)

Διάγραμμα 2.2: Τιμές διεθνούς αγοράς για το *diesel* και το *biodiesel* (2008-2014)



Πηγή : (Cross Border Bioenergy Working Group, 2012)

Διάγραμμα 2.3: Μέσες λιανικές τιμές *diesel* και *biodiesel* στις ΗΠΑ



Πηγή: ("US Department of Energy Alternative Fuels Data Center," 2014)

Πίνακας 2.8:Οριακή Ενίσχυση της τιμής του *biodiesel* στην Ε.Ε. (2005-2006)

| | Ενίσχυση (€/l) |
|--|----------------|
| Απαλλαγή φόρου κατανάλωσης | 0.419 |
| Ενίσχυση ενεργειακών καλλιεργειών (συμπεριλαμβανομένης και της αγρανάπαυσης) | 0.199 |
| Σύνολο | 0.618 |

Πηγή: (Kutas et al., 2007)

Βεβαίως για να είναι αποδεκτή και λογική η άμεση ή έμμεση κρατική ενίσχυση ενός προϊόντος θα πρέπει να υπάρχει ένας εξαιρετικός λόγος. Για το *biodiesel* ως τέτοιος έχει αναφερθεί μεταξύ άλλων η εξαιρετική περιβαλλοντική του επίδοση. Αλλά αυτό δεν ανταποκρίνεται απόλυτα στην πραγματικότητα όπως μαρτυράει ο Πίνακας 2.9, στον οποίο παρουσιάζονται οι επιδόσεις του σε διάφορες περιβαλλοντικές κατηγορίες.

Πίνακας 2.9:Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα *biodiesel*

| Κατηγορία επιπτώσεων | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|--------------------------------|--|--|
| Πόροι | Εξοικονομεί ορυκτά καύσιμα | Η συλλογή βιομάζας απαιτεί κατανάλωση ορυκτών καυσίμων |
| Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου | Χαμηλές εκπομπές σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα | - |
| Οξίνιση | - | Μεγαλύτερη συμμετοχή στην Οξίνιση σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. |
| Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος | - | Υψηλότερες εκπομπές NO ₂ σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. |

| | | |
|--------------------|------|---|
| Ευτροφισμός | - | Υψηλότερες εκπομπές NOx σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. |
| Τοξικότητα άνθρωπο | στον | Χαμηλότερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και SO ₂ σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. |
| | | Επιμόλυνση νερών με υπολείμματα φυτοφαρμάκων |

Πηγή: (Frondel & Peters, 2007)

Επιπρόσθετα οι κρατικές ενισχύσεις τόσο του *biodiesel* όσο και άλλων βιοκαυσίμων έχουν οδηγήσει σε μια εντατική δέσμευση γης για την καλλιέργεια βιομάζας που θα χρησιμοποιείται ως α΄ ύλη για την παραγωγή τους. Ο στόχος που έχει θέσει η Ε.Ε. ώστε το 2020 το 10% των καυσίμων μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στις χώρες της να είναι βιοκαύσιμα (*biodiesel*, βιοαιθανόλη) οδηγεί στην αύξηση αυτής της δέσμευσης. Ενδεικτικά, έχει υπολογιστεί ότι για την πραγματοποίηση του προηγούμενου στόχου της Ε.Ε. που αναφερόταν στην αντικατάσταση κατά το έτος 2010 του 5.7% των καυσίμων μεταφοράς με βιοκαύσιμα απαιτείτο η δέσμευση 11,200,000 εκταρίων γης που αντιστοιχούν στο 13.6% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης των χωρών της Ε.Ε. (Frondel & Peters, 2007).

Στον Πίνακα 2.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών ως προς τις επιπτώσεις διαφόρων πολιτικών για την παραγωγή βιοκαυσίμων τα επόμενα χρόνια στην δέσμευση καλλιεργήσιμης γης (Fonseca et al., 2010). Όπως προκύπτει από τον συγκεκριμένο πίνακα όλες οι μελέτες κατατείνουν σε συμπεράσματα σχετικά με τις αναμενόμενες επιπτώσεις από την αύξηση παραγωγής βιοκαυσίμων που μπορούν συνοψιστούν όπως παρακάτω.

- Αναμενόμενη αύξηση της δέσμευσης χρήσης γης για παραγωγή βιοκαυσίμων.
- Μείωση χορτολιβαδικών εκτάσεων.
- Αύξηση τιμών των δημητριακών, των ελαιοσπόρων και των φυτικών ελαίων.

Σε κάθε περίπτωση από τα συμπεράσματα αυτά συνάγεται η αναμενόμενη πίεση που θα δεχθεί η παραγωγή αγροτικών προϊόντων για ανθρώπινη κατανάλωση εξαιτίας της αύξησης της ζήτησης τέτοιων για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Χαρακτηριστικά, στη μελέτη της DG AGRI της Ε.Ε και για μερίδιο αγοράς βιοκαυσίμων το 2020 μόνο 10%, προβλέπεται αύξηση 3-6% της τιμής των σιτηρών και 8-10% των ελαιοσπόρων (από τα οποία παράγεται το *biodiesel*), ενώ για την εξυπηρέτηση του στόχου αυτού υπολογίζεται το 15% της συνολικής έκτασης καλλιεργήσιμης γης των χωρών της Ε.Ε. να χρησιμοποιείται για την παραγωγή της αντίστοιχης βιομάζας.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν ερευνητές οι οποίοι ισχυρίζονται ότι η καλλιέργεια βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να αποτελέσει την αιτία γεωργικής ανάπτυξης, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες (Ε.Ε. και Η.Π.Α.) όπου πολλά αγροτικά προϊόντα εισάγονται από χώρες του Τρίτου Κόσμου.

Ειδικότερα ισχυρίζονται ότι οι επιδοτήσεις (ή η απαλλαγή φόρων) των βιοκαυσίμων μπορούν να ενισχύσουν τον αγροτικό τομέα και με αυτό τον τρόπο να ρυθμιστεί η υπερπαραγωγή τροφίμων.

Επιπρόσθετα θεωρούν ότι η ενίσχυση των βιοκαυσίμων αντισταθμίζει την ενίσχυση αγροτικών προϊόντων–τροφίμων τη στιγμή που η δεύτερη μπορεί να προκαλέσει υπερπαραγωγή και ταυτόχρονα αθέμιτο ανταγωνισμό στις χώρες του Νότου. Αυτό μπορεί να συμβεί επειδή η υπερπαραγωγή τροφίμων εξαιτίας των κρατικών ενισχύσεων μπορεί να προκαλέσει μείωση των τιμών τους και επομένως μείωση του αντίστοιχου αγροτικού εισοδήματος με κίνδυνο την εγκατάλειψη του επαγγέλματος τους από τους αγρότες (Russi, 2008).

Αυτό δηλαδή που προτείνουν είναι η αντικατάσταση των ενισχύσεων της παραγωγής αγροτικών προϊόντων –τροφίμων με τις ενισχύσεις βιοκαυσίμων. Το ερώτημα όμως που εγείρεται σχετικά με αυτή την πρόταση είναι πώς είναι δυνατόν οι πρώτες να οδηγήσουν τους αγρότες σε εγκατάλειψη του επαγγέλματός τους και της γης ενώ οι δεύτερες μπορούν να αναστρέψουν την κατάσταση. Και το ερώτημα γίνεται περισσότερο έντονο εάν λάβει κανείς υπ' όψιν του την τεράστια παγκόσμια ένδεια και πείνα.

Εξ άλλου όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.11, όπου παρατίθενται στοιχεία σχετικά με την έκταση της καλλιεργήσιμης γης στην Ε.Ε., αυτή μειώνεται τα τελευταία έτη. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την EUROSTAT, η καλλιεργήσιμη γη για μερικές από τις βασικότερες αγροτικές καλλιέργειες μειώθηκε από 101,571 ha που ήταν το 2000 σε 97,186 ha το 2012 (Eurostat, 2014). Ακόμα, όπως φαίνεται στον ίδιο πίνακα, η καλλιέργεια ελαιοκράμβης που είναι α' ύλη για παραγωγή *biodiesel*, ενώ παρουσίασε μια αύξηση την περίοδο 2000 -2007 από 4,605ha σε 6,057ha, τελικά το 2012 επέστρεψε στα αρχικά επίπεδα (4,389 ha). Παράλληλα, σύμφωνα με τα στοιχεία της EUROSTAT ο αριθμός των αγροτικών νοικοκυριών στην Ε.Ε. την περίοδο 2003-2010 παρουσίασε συνολική μείωση 20%. Συγκεκριμένα ο αριθμός των αγροτικών νοικοκυριών από 14,440,000 το 2003 μειώθηκαν σε 12,054,000.

Δηλαδή η ενίσχυση καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων εν τέλει δεν αντιστάθμισε τη μείωση καλλιεργειών για την παραγωγή τροφίμων.

Πίνακας 2.10: Υπολογιζόμενες Επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή και στις τιμές των προϊόντων από την εφαρμογή πολιτικών για την παραγωγή βιοκαυσίμων

| Μελέτη | Χρονικός Ορίζοντας | Εφαρμοζόμενη Πολιτική | Επιπτώσεις στην Αγροτική Παραγωγή και στις Χρήσεις Γης | Επιπτώσεις στις τιμές |
|--------------------------|--------------------|--|---|--|
| EC DG AGRI (2007) | 2020 | Χρήση βιοκαυσίμων μεταφοράς το 2020 10% | <ul style="list-style-type: none"> • 19% της παραγωγής σιτηρών θα χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων • 15% της καλλιεργήσιμης γης θα χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων | Αύξηση της τιμής των σιτηρών κατά 3-6% και των ελαιοσπόρων κατά 8-10% |
| Banse and Grethe (2008a) | 2020 | Χρήση βιοκαυσίμων μεταφοράς το 2020 10% | | Μικρή αύξηση τιμών των αγροτικών προϊόντων (σιτηρών, ελαιοσπόρων, φυτικών ελαίων) κατά 6-7%. |
| OECD (2008) | 2017 | Απάλειψη πολιτικής ενισχύσεων βιοκαυσίμων (επιδότηση, φοροελαφρύνσεις, καθιέρωση υποχρεωτικών στόχων χρήσης των βιοκαυσίμων) | Αύξηση της διαθέσιμης καλλιεργήσιμης γης κατά 6,200,000 εκτάρια παγκοσμίως και κατά 2,200,000 στην Ε.Ε.. | <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση τιμών σταριού κατά 5% των λοιπών δημητριακών κατά 7% κι των φυτικών ελαίων κατά 15% |

| | | | | |
|-----------------------|------|--|--|---|
| Britz and Leip (2008) | 2013 | Χρήση βιοκαυσίμων μεταφοράς το 2013 10% | Υψηλότερη παραγωγή σιτηρών κατά 17,000,000 t και των σπορελαίων κατά 7,000,000 t | Αύξηση τιμών σιτηρών κατά 13% των ελαιοσπόρων κατά 32% και των σπορελαίων κατά 30%. |
| Rosegrant (2008) | 2015 | <ul style="list-style-type: none"> • Πάγωμα της παραγωγής βιοκαυσίμων στο επίπεδο του 2007. • Μηδενισμός της παραγωγής βιοκαυσίμων | Μεταβολή παραγωγής σιτηρών +16.6% (ΗΠΑ), +2.5% (Ε.Ε.), -0.3% (ΒΡΑ) ελαιοσπόρων +6.8% (ΗΠΑ), +51.9% (Ε.Ε.), +21.1% (ΒΡΑ). | <p>Παγκόσμια Αγορά</p> <ul style="list-style-type: none"> • Σενάριο παγώματος: <p>Μεταβολή τιμών καλαμποκιού -14%, σιταριού -4%, ελαίων -6%</p> <p>Σενάριο μηδενικής παραγωγής: Μεταβολή τιμών καλαμποκιού -21%, σιταριού -11%, ζάχαρης -12%, ελαίων -1%</p> |
| Hertel et al. (2008) | 2015 | Χρήση 15,000,000,000 gal αιθανόλης (ΗΠΑ) και μερίδιο αγοράς βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε. 6.25% | Αύξηση παραγωγής Δημητριακών +16.6% (ΗΠΑ), +2.5% (Ε.Ε.), -0.3% (ΒΡΑ); με αντίστοιχη δέσμευση καλλιεργήσιμης γης | Μεταβολή τιμών δημητριακών +22.7% (ΗΠΑ), +23.0% (Ε.Ε.), +11.9% (ΒΡΑ) |

| | | | | |
|--------------------------|------|---|--|--|
| Taheripour et al. (2008) | 2015 | Χρήση 15,000,000,000 gal αιθανόλης (ΗΠΑ) και μερίδιο αγοράς βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε. 6.25% | <ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση παραγωγής Δημητριακών 10.8% (ΗΠΑ), -3.7%(Ε.Ε.), -2.8% (ΒΡΑ)Αύξηση παραγωγής ελαιοσπόρων +8.6%(ΗΠΑ), +53.1% (Ε.Ε.), • Μείωση των χορτολιβαδικών εκτάσεων σε ΗΠΑ, Ε.Ε. και Λατινική Αμερική κατά 2/3 | Μεταβολή τιμών δημητριακών +14.0% (ΗΠΑ), +15.9% (Ε.Ε.), +9.6% (ΒΡΑ); ελαιοσπόρων +14.5% (ΗΠΑ), +56.4% (Ε.Ε.), +18.3% (ΒΡΑ) |
|--------------------------|------|---|--|--|

Πηγή: (Fonseca et al., 2010)

Πίνακας 2.11: Καλλιεργήσιμη γη στην .Ε.Ε. για τα κυριότερα αγροτικά προϊόντα**(000 ha)**

| | Καλλιεργήσιμη γη (μέση τιμή /2002- 2006) | Καλλιεργήσιμη γη (2006) | Καλλιεργήσιμη γη (2007) | Καλλιεργήσιμη γη (2012) |
|---|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Δημητριακά (δεν περιέχεται το ρύζι) | 59,368 | 57,010 | 57,870 | 57,027 |
| Κοινό σιτάρι | 22,302 | 21,953 | 22,102 | 23,494 |
| Σκληρό σιτάρι | 3,739 | 3,021 | 3,031 | 2,596 |
| Κριθάρι | 13,908 | 13,780 | 13,691 | 12,431 |
| Ζαχαρότευτλα | 2,254 | 2,030 | 1,970 | 1,638 |
| Μερικό Σύνολο | 101,571 | 97,794 | 98,664 | 97,186 |
| Ελαιοκράμβη | 4,605 | 5,333 | 6,057 | 4,389 |

Πηγή: ("European Commission, Eurostat, Statistics, Agriculture, Data," 2014)

Βιοαιθανόλη

Η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης (όπως και άλλων καυσίμων) καθορίζεται από την τιμή *NER* (*Net Energy Ratio*), η οποία αποδίδει το λόγο του ενεργειακού περιεχομένου της προς το ποσό της ενέργειας που απαιτήθηκε για την παραγωγή της. Πολλές έρευνες έχουν υλοποιηθεί για τον προσδιορισμό της και τα αποτελέσματά τους διαφέρουν σημαντικά. Στον Πίνακα 2.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μερικών τέτοιων ερευνών που αφορούν το *NER* της βιοαιθανόλης που παράγεται από καλαμπόκι (Johnson, 2006). Από τον Πίνακα 2.12 γίνεται φανερό ότι σε μερικές έρευνες προκύπτει $NER < 1$ που σημαίνει ότι το ενεργειακό περιεχόμενο της παραγόμενης βιοαιθανόλης είναι μικρότερο από την ποσότητα της ενέργειας που απαιτήθηκε για την παραγωγή της. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αυτό προκύπτει ακόμα και από σχετικά σύγχρονες μελέτες, (Pimentel & Patzek, 2005) όπου η τιμή *NER* είναι 0.77, που σημαίνει ότι για την παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι υπολογίστηκε ότι απαιτείται 1.3 φορές περισσότερη ενέργεια απ' ό,τι η περιεχόμενη σε αυτή. Αξιοσημείωτο είναι επίσης και το γεγονός ότι και από τις υπόλοιπες μελέτες προκύπτει επιπλέον ενεργειακό κέρδος από τη παραγωγή αιθανόλης που κυμαίνεται από 10%-40% που είναι σχετικά μικρές αποδόσεις.

Αυτό προκύπτει και από τον Πίνακα 2.13, όπου παρουσιάζονται τιμές *NER* για την παραγωγή αιθανόλης από άλλα υλικά (von Blottnitz & Curran, 2007). Όπως προκύπτει από τον συγκεκριμένο πίνακα μεγαλύτερες τιμές *NER* φαίνεται ότι παρουσιάζει η αιθανόλη που παράγεται από ζαχαροκάλαμα ή υπολείμματα ζαχαροκαλάμων.

Πίνακας 2.12: *NER* βιοαιθανόλης από καλαμπόκι

| Έρευνα | Έτος | <i>NER</i> |
|---------------|------|------------|
| USDA | 2004 | 1.42 |
| Argonne | 1999 | 1.37 |
| ORNL | 1990 | 1.25 |
| UC Berkeley A | 2006 | 1.22 |
| UC Berkeley B | 2006 | 1.10 |
| Amoco | 1989 | 0.95 |
| Iowa State | 1992 | 0.90 |
| Pimentel | 2005 | 0.77 |
| MIT | 2006 | 1.12 |

Πηγή: (Johnson, 2006)

Πίνακας 2.13: Τιμές *NER* για την παραγωγή αιθανόλης από διάφορες α΄ ύλες

| Α΄ Ύλη | <i>NER</i> |
|-----------------------------------|------------|
| Ζαχαροκάλαμα (Βραζιλία) | 7.9 |
| Ζαχαρότευτλα (μεγάλη Βρετανία) | 2.0 |
| Στελέχη καλαμποκιάς (ΗΠΑ) | 5.2 |
| Μελάσα (Ινδία) | 48 |
| Μελάσα (Νότια Αφρική) | 1.1 |
| Άχυρο (Μεγάλη Βρετανία) | 5.2 |
| Υπολείμματα Ζαχαροκάλαμων (Ινδία) | 32.0 |

Πηγή: (von Blottnitz & Curran, 2007)

Από την ανάγνωση των Πινάκων 2.12 και 2.13 προκύπτει ότι οι τιμές *NER* για την παραγωγή βιοαιθανόλης παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά (από 0.77 έως και 48). Αυτό το μεγάλο εύρος τιμών (πέρα από τη διαφοροποίηση που οφείλεται στη διαφορετική α΄ ύλη) μπορεί να αποδοθεί σε:

- Διαφορετικές αποδόσεις στις καλλιέργειες των γεωργικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της αιθανόλης. Η διαφοροποίηση στις

αποδόσεις μπορεί να οφείλεται με τη σειρά της σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, σε διαφορετική ποιότητα εδαφών κλπ.

- Διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των γεωργικών προϊόντων α' υλών, που με τη σειρά τους οφείλονται σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες ή σε οικονομικούς λόγους (εκμηχανισμένη καλλιέργεια ή όχι, χρήση λιπασμάτων κλπ).
- Διαφορετικές αποδόσεις των συστημάτων παραγωγής, που με τη σειρά τους είναι δυνατόν να οφείλονται σε διαφορετικές εφαρμοζόμενες τεχνολογίες παραγωγής.

Σύμφωνα με την *European Biomass Industry Association (EUBIA)* η παραγωγή αιθανόλης από υλικά που περιέχουν σάκχαρα ή άμυλο είναι ώριμη τεχνολογικά και αναμένεται λίγη ή και καθόλου πρόοδος σχετικά με τις αποδόσεις της ή το κόστος παραγωγής ("*European Biomass Industry Association,*" 2014). Στον Πίνακα 2.14 παρουσιάζεται η ανάλυση του κόστους παραγωγής της βιοαιθανόλης από στάρι και από ζαχαρότευτλα με βάση δεδομένα της *EUBIA*. Σύμφωνα με την *EUBIA* το συνολικό κόστος της αιθανόλης στο πρατήριο καυσίμων είναι:

- €0.42/l (€20/GJ) για αιθανόλη παραγμένη από καλαμπόκι στις ΗΠΑ,
- €0.32-0.53/l (€15-20/GJ) για αιθανόλη παραγμένη από ζαχαρότευτλα στη Β.Δ. Ευρώπη.

Επίσης από τα παρατιθέμενα στον πίνακα προκύπτει ότι όπως στο *biodiesel* έτσι και στην περίπτωση της βιοαιθανόλης το κόστος τροφοδοσίας αντιστοιχεί σε 50%-80% του συνολικού κόστους.

Πίνακας 2.14: Ανάλυση του κόστους της βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. για δυο τυπικές περιπτώσεις

| | Σιτάρι | | | Ζαχαρότευτλα | | |
|--------------------------------------|--------|------|-------|--------------|------|-------|
| | €/l | €/GJ | E/toe | €/l | €/GJ | E/toe |
| Τροφοδοσία α' ύλης | 0.40 | 18.9 | 790 | 0.26 | 12.3 | 513 |
| Έσοδα από παραπροϊόντα | 0.15 | 7.1 | 296 | 0.03 | 1.4 | 59 |
| Μερικό κόστος τροφοδοσίας | 0.25 | 11.8 | 493 | 0.23 | 10.9 | 454 |
| Κόστος μετατροπής | 0.28 | 13.3 | 553 | 0.22 | 10.4 | 434 |
| Μερικό κόστος παραγωγής | 0.53 | 25 | 946 | 0.45 | 21.3 | 888 |
| Κόστος ανάμιξης με συμβατική βενζίνη | 0.05 | 2.4 | 99 | 0.05 | 2.4 | 99 |
| Κόστος διανομής | 0.01 | 0.5 | 20 | 0.1 | 4.7 | 197 |

| | | | | | | |
|--|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| Συνολικό κόστος στο πρατήριο καυσίμων | 0.59 | 27.9 | 1,165 | 0.6 | 28.4 | 1,184 |
|--|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|

Πηγή: ("European Biomass Industry Association," 2014)

Το *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* των ΗΠΑ έχει ερευνήσει διεξοδικά την παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα και ειδικότερα από υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας εστιάζοντας τόσο στην τεχνολογία παραγωγής όσο και στην οικονομικότητά της. Στον Πίνακα 2.15 παρατίθενται τα αποτελέσματα σχετικά με το κόστος παραγωγής της αιθανόλης από το *NREL* για το έτος 2002 (Aden et al., 2002) και το 2011 (Humbird et al., 2011). Όπως προκύπτει η ελάχιστη τιμή πώλησης της αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα μπορεί να ανταγωνιστεί την αντίστοιχη της αιθανόλης από καλαμπόκι. Επίσης το κόστος τροφοδοσίας της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας αντιστοιχεί στο 1/3 περίπου της τιμής πώλησης της αιθανόλης.

Πίνακας 2.15: Κόστος τροφοδοσίας και ελάχιστη τιμή πώλησης αιθανόλης παραγμένης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα

(\$/l)

| | Κόστος τροφοδοσίας παραγόμενης αιθανόλης | Ελάχιστη τιμή πώλησης παραγόμενης αιθανόλης |
|------------------|---|--|
| <i>NREL</i> 2002 | 0.09 | 0.28 |
| <i>NREL</i> 2011 | 0.19 | 0.57 |

Πηγή: (Aden et al., 2002), (Humbird et al., 2011)

Μια άλλη ομάδα ερευνητών συνέκρινε την οικονομικότητα παραγωγής αιθανόλης από υπολείμματα δασικής ξυλείας (ιτιάς και ελάτου) ή και υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας μέσω της κλασικής τεχνολογίας σακχαροποίησης (βασικό σενάριο) και ζύμωσης και μέσω μιας βελτιωμένης μεθόδου που επιτρέπει και τη ζύμωση ημικυτταρινών (σενάριο ζύμωσης πεντοζών) (Sassner, Galbe, & Zacchi, 2008). Τα αποτελέσματα της μελέτης όσον αφορά το κόστος της αιθανόλης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.16. Όπως προκύπτει από την έρευνα το συνολικό κόστος της αιθανόλης κυμαίνεται από €0.45/l έως €0.59/l. Στο σενάριο όπου ζυμώνονται και οι ημικυτταρίνες το κόστος παραγωγής παρουσιάζεται βελτιωμένο κατά 5% (στην περίπτωση τροφοδοσίας με υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας) και 22% (στην περίπτωση τροφοδοσίας με υπολείμματα ελάτου). Παράλληλα όπως προκύπτει από τις τιμές του Πίνακα 2.16 το κόστος τροφοδοσίας κυμαίνεται από 38% έως και 43% του συνολικού κόστους παραγωγής της αιθανόλης.

Πίνακας 2.16: Κόστος παραγωγής αιθανόλης από υπολείμματα δασικής ξυλείας και καλαμποκοκαλλιέργειας

(€/l)

| Α' ύλη | Βασικό σενάριο | | Σενάριο ζύμωσης πεντοζών | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
| | Κόστος τροφοδοσίας | Συνολικό Κόστος | Κόστος τροφοδοσίας | Συνολικό Κόστος |
| Υπολείμματα ιτιάς | 0.23 | 0.59 | 0.20 | 0.49 |
| Υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας | 0.20 | 0.47 | 0.19 | 0.45 |
| Υπολείμματα ελάτου | 0.23 | 0.59 | 0.17 | 0.46 |

Πηγή: (Sassner et al., 2008)

Από τα προαναφερόμενα σχετικά με το κόστος τροφοδοσίας της α' ύλης για την παραγωγή της αιθανόλης συνάγεται ότι αυτό κυμαίνεται από 30-40% για την περίπτωση υπολειμμάτων λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας έως και 80% για την περίπτωση τροφοδοσίας με καλαμπόκι ή και σιτάρι.

Η αιθανόλη που παράγεται από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα σύμφωνα με την EUBIA παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τους παρακάτω λόγους.

- Τα λιγνοκυτταρινούχα υλικά βρίσκονται σε αφθονία, σχεδόν παντού, και είναι φθηνότερα σε σχέση με τα αγροτικά προϊόντα-τρόφιμα. Το συνολικό παγκόσμιο δυναμικό τους υπολογίζεται ότι είναι αρκετό για την παραγωγή 442 Gt αιθανόλης/έτος. Σε αυτό το δυναμικό θα πρέπει να προστεθεί και το δυναμικό των αγροτικών παραπροϊόντων που υπολογίζεται ότι μπορεί να παράγει 49.1 Gt αιθανόλης/έτος που ανεβάζει τη συνολική δυναμικότητα παραγωγής στα 491.1 Gt/έτος (Kim & Dale, 2004).
- Η παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα είναι ενεργειακά αποδοτικότερη από την περίπτωση παραγωγής από καλαμπόκι ή άλλα δημητριακά (βλ. και Πίνακα 2.13).
- Με την παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα μπορεί να εξοικονομούνται έως και κατά 90% οι εκπομπές CO₂ σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Για τη διερεύνηση της περιβαλλοντικής επίδοσης της βιοαιθανόλης αρκετές έρευνες έχουν γίνει χρησιμοποιώντας την Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (von Blottnitz & Curran, 2007). Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών διαφέρουν σημαντικά, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.17, ενώ συγκλίνουν μόνο στις θετικές επιδόσεις που φαίνεται να έχει η βιοαιθανόλη στις κατηγορίες της εξάντλησης μη ανανεώσιμων πόρων, των εκπομπών αερίων CO₂ και στη παγκόσμια θέρμανση. Από την άλλη πλευρά η παραγωγή και χρήση βιοαιθανόλης έχει αρνητική επίδοση στις κατηγορίες εκπομπών SO₂ και στην οξίνιση, ενώ η επίδοση σε

άλλες κατηγορίες δεν έχει ακόμα διερευνηθεί ή είναι εξαιρετικά αβέβαιη. Σε μερικές περιπτώσεις η συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα συστήματα παραγωγής βιοαιθανόλης αναμένεται να συμβάλει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων.

Το μεγάλο εύρος τιμών επί των προαναφερόμενων αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλεται κατά περίπτωση σε:

- χρήση διαφορετικής α' ύλης για την παραγωγή της αιθανόλης,
- χρήση διαφορετικών καλλιεργητικών τεχνικών στην παραγωγή της βιομάζας τροφοδοσίας,
- χρήση διαφορετικών βιομηχανικών τεχνολογιών παραγωγής της αιθανόλης,
- ορισμό διαφορετικών ορίων του εξεταζόμενου συστήματος με την Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής από τους ερευνητές. Ειδικότερα, άλλοι ερευνητές περιλαμβάνουν και άλλοι όχι συγκεκριμένα τμήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας (π.χ. την τροφοδοσία της α' ύλης ή το κανάλι διανομής της αιθανόλης) στο υπό εξέταση σύστημα.

Πίνακας 2.17: Ανασκόπηση της επίδοσης συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης σε συνήθεις κατηγορίες επιπτώσεων και εκπομπές συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα

| | Τροφοδοσία αγροτικών προϊόντων | | | | Τροφοδοσία απορριμμάτων | | |
|----------------------|---|--|--|----------------------------|---|---|--|
| | Ερευνητής/ α' ύλη/ Χώρα | | | | | | |
| | Kaltshmit 1997 Ζαχαρότευτλα, Στάρι, Πατάτες Γερμανία | Purpan 2001 Ζαχαρότευτλα, Στάρι, Πατάτες Γερμανία | Reinhardt2002 Ζαχαρότευτλα, Στάρι, Πατάτες Ευρώπη | Hu 2004 Ταπιόκα Κίνα | Kadam 2002 Υπολείμματα ζαχαροκάλαμου Ινδία | Sheehan 2004 Υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέ ργειας ΗΠΑ | Tan & Culuba 2002 Κυτταρινούχα αγροτικά υπολείμματα Φιλιππίνες |
| Εξάντληση Πόρων | + | + | + | + | + | + | + |
| Παγκόσμια Θέρμανση | + | + | + | NA | + | + | + |
| CO ₂ | NA | NA | + | + | NA | NA | NA |
| Οξίνιση | 0 | 0 | - | NA | + | - | - |
| SO _x | - | NA | - | NA | NA | NA | NA |
| NO _x | + | NA | - | - | NA | NA | NA |
| Ευτροφισμός | NA | NA | - | NA | + | NA | - |
| Ανθρώπινη τοξικότητα | NA | 0 | NA | NA | + | NA | - |
| CO | NA | NA | - | + | NA | NA | NA |
| Αιωρούμενα σωματίδια | NA | NA | - | + | NA | NA | NA |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Οικοτοξικότητα | NA | 0 | NA | NA | NA | NA | NA |
| Φωτοχημικό Νέφος | NA | NA | + | NA | NA | - | + |
| Υδρογονάνθρακες | NA | NA | + | + | NA | NA | NA |
| Στερεά Απόβλητα | NA | NA | NA | NA | + | NA | NA |
| Χρήση Γης | NA | NA | NA | NA | NA | 0 | NA |
| Χρήση Νερού | NA | NA | NA | NA | 0 | NA | NA |
| Εξάντληση Στρατοσφαιρικού Οζοντος | - | - | NA | NA | NA | + | NA |
| Οσμές | NA | NA | NA | NA | + | NA | NA |

- (+): Αυξημένη επίπτωση σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα
- (-): Μειωμένη επίπτωση σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα
- NA: Δεν έχει διερευνηθεί
- (0): Δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα

Πηγή: (von Blottnitz & Curran, 2007)

Αέρια βιοκαύσιμα

Στον Πίνακα 2.18 παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (αποδιδόμενες στην ηλεκτροπαραγωγή) που παράγονται σε σύστημα που χρησιμοποιεί γεωργικά υπολείμματα ως καύσιμο για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 86 KW και θερμικής ενέργειας 148 KW, όπως υπολογίστηκαν από τους (Chevalier & Meunier, 2005). Σε αυτή τη μελέτη οι συγκεκριμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις συγκρίνονται με αυτές ενός αντίστοιχου συμβατικού σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων έχει συμπεριληφθεί στο σύστημα και η μεταφορά της απαραίτητης βιομάζας στο σταθμό παραγωγής από απόσταση 60 km.

Πίνακας 2.18: Σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με καύσιμο βιοαέριο και αντίστοιχων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με συμβατικά καύσιμα

| Κατηγορία επιπτώσεων Εφαρμοζόμενη τεχνολογία | Εξάντληση Πόρων (MJ ισοδύναμου συμβατικού καυσίμου) | Κλιματική Αλλαγή (ισοδύναμα g CO ₂) | Οξίνιση (ισοδύναμα mg SO ₂) | Ευτροφισμός (ισοδύναμα mg NO _x) |
|--|---|--|---|---|
| Συμβατικός σταθμός (ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο / Γερμανία) | 4.72 | 281 | 1,170 | 539 |
| Συμβατικός σταθμός (ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο / Αυστρία) | 3.24 | 193 | 604 | 328 |
| Συμβατικός σταθμός (ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο / Γαλλία) | 2.52 | 142 | 350 | 249 |
| Σταθμός συμπαραγωγής με καύσιμο βιοαέριο | 0.23 | -112 | 515 | 838 |

Πηγή: (Chevalier & Meunier, 2005)

Όπως προκύπτει από την συγκεκριμένη έρευνα και παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.18, οι επιπτώσεις του συστήματος συμπαραγωγής με καύσιμο βιοαέριο στις κατηγορίες της κλιματικής αλλαγής και της εξάντλησης πόρων είναι σαφώς μικρότερες από αυτές των αντίστοιχων συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Στις κατηγορίες όμως της οξίνισης και του ευτροφισμού οι επιπτώσεις του είναι χειρότερες από τους συμβατικούς σταθμούς. Αυτό οφείλεται πιθανόν στις μεγαλύτερες εκπομπές NO_x του συστήματος συμπαραγωγής με βιοαέριο. Παρ' όλα αυτά η συνολική περιβαλλοντική επίδοσή του εκφρασμένη στο *Eco-Indicator 99 (hierarchical perspective)* είναι καλύτερη από τις επιδόσεις των αντίστοιχων συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Οι επιδόσεις αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.19.

Πίνακας 2.19: Σύγκριση της συνολικής περιβαλλοντικής επίδοσης (*Eco-Indicator 99*) σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με καύσιμο βιοαέριο και αντιστοίχων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με συμβατικά καύσιμα

| <i>Τεχνολογία</i> | <i>Eco-Indicator 99</i> |
|---|-------------------------|
| Συμβατικός σταθμός (ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο / Γερμανία) | 0.013 |
| Συμβατικός σταθμός (ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο / Αυστρία) | 0.010 |
| Συμβατικός σταθμός (ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο / Γαλλία) | 0.009 |
| Σταθμός συμπαραγωγής με καύσιμο βιοαέριο | 0.0025 |

Πηγή: (Chevalier & Meunier, 2005)

Η περίπτωση ενός ολοκληρωμένου συστήματος αεριοποίησης βιομάζας για την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και δέσμευση των παραγόμενων αερίων (*IBGCC-DeCO₂*) στο οποίο χρησιμοποιείται βιομάζα χαμηλής θερμικής αξίας (18,000 KJ/Kg) είναι το αντικείμενο μιας άλλης έρευνας (Carpentieri, Corti, & Lombardi, 2005). Μετά την παραγωγή του βιοαερίου το περιεχόμενο σε αυτό CO₂ απομακρύνεται με δέσμευσή του σε διάλυμα διαιθανολαμίνης/μεθυλ- διαιθανολαμίνης. Το εναπομένον βιοαέριο οδηγείται σε καύση μέσω ενός συνδυασμένου θερμοδυναμικού κύκλου (*Brayton/Hirn*) με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Η χρησιμοποιούμενη βιομάζα συλλέγεται σε απόσταση περίπου 75km από τον σταθμό και μεταφέρεται σε αυτό με φορτηγά.

Στη συγκεκριμένη μελέτη μέσω Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής μετρήθηκαν οι επιπτώσεις του συστήματος σε διάφορες κατηγορίες καθώς και η συνολική του επίδοση εκφρασμένη στον *Eco-Indicator 95* και συγκρίθηκαν με τις επιπτώσεις και την επίδοση αντίστοιχου σταθμού συμπαραγωγής με καύσιμο άνθρακα στον οποίο επίσης δεσμεύεται το παραγόμενο από την αεριοποίηση CO₂ (*ICGCC – De CO₂*). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.20.

Πίνακας 2.20: Σύγκριση των επιπτώσεων σε συγκεκριμένες κατηγορίες και της συνολικής περιβαλλοντικής επίδοσης (*Eco-Indicator 95*) σταθμού συμπαραγωγής με αεριοποίηση βιομάζας (*IBGCC-DeCO₂*) και συμβατικού σταθμού αεριοποίησης άνθρακα (*ICGCC- DeCO₂*)

| Κατηγορία | <i>IBGCC-DeCO₂</i> <i>Eco-Indicator 95</i> | <i>ICGCC- DeCO₂</i> <i>Eco-Indicator 95</i> |
|--|--|---|
| Φαινόμενο Θερμοκηπίου (Kg CO _{eq} / MJ) | -0.165 | 0.1 |
| Εξάντληση Όζοντος (Kg/MJ) | 3.26χ10 ⁻⁸ | 1χ10 ⁻⁸ |

| | | |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Οξίνιση (Kg/MJ) | 0.00251 | 0.0022 |
| Ευτροφισμός (Kg/MJ) | 4.62×10^{-4} | 4.9×10^{-4} |
| Βαρέα Μέταλλα (Kg/MJ) | 1.54×10^{-7} | 6×10^{-8} |
| Καρκινογόνα συστατικά (Kg/MJ) | 4.89×10^{-5} | $0.00 * 10^{00}$ |
| Φυτοφάρμακα (Kg/MJ) | 1.17×10^{-6} | - |
| Ενέργεια (MJ) | 0.296 | 4 |
| <i>Eco-Indicator 95</i> | 0.00026 | 0.0025 |

Πηγή: (Carpentieri et al., 2005)

Η συγκεκριμένη έρευνα έδειξε ότι ο σταθμός *IBGCC-DeCO₂* έχει χειρότερη επίδοση από τον αντίστοιχο *ICGCC- DeCO₂* σε μια σειρά κατηγορίες όπως ο ευτροφισμός, η εξάντληση του όζοντος, τα καρκινογόνα συστατικά, τα φυτοφάρμακα, η οξίνιση κλπ. Η συνολική περιβαλλοντική επίδοση όμως του *IBGCC-DeCO₂* είναι καλύτερη από αυτή του *ICGCC- DeCO₂* και αυτό προφανώς οφείλεται στην πολύ καλύτερη επίδοση του πρώτου στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η αεριοποίηση της βιομάζας έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στις αναπτυσσόμενες χώρες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου δεν υπάρχει σύνδεση με εθνικό ή άλλο ηλεκτρικό δίκτυο (μη διασυνδεδεμένες περιοχές). Η οικονομικότητα μιας τυπικής τέτοιας μονάδας στην περιοχή *Chottomollakhali (Chottomollakhali Island)* της Ινδίας διερευνήθηκε από τον *Mukhopadhyay (Mukhopadhyay, 2004)*. Στη συγκεκριμένη περιοχή, πριν την εγκατάσταση της μονάδας, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνταν μικρές γεννήτριες πετρελαίου (*diesel*). Η μονάδα έχει ισχύ 400KW. Τροφοδοτείται με βιομάζα (400 kg/ημέρα) στην τιμή των \$0.02/kg. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτεί μια βιομηχανική μονάδα, 150 εμπορικές επιχειρήσεις και 74 νοικοκυριά. Οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τις προαναφερόμενες κατηγορίες πελατών παρατίθενται στον Πίνακα 2.21.

Πίνακας 2.21: Τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας με αεριοποίηση βιομάζας (Chottomollakhali, Ινδία)

| Κατηγορία Πελατών | Τιμή πώλησης (\$/μονάδα κατανάλωσης) |
|------------------------|---|
| Βιομηχανία | 0.1 |
| Εμπορικές επιχειρήσεις | 0.09 |
| Νοικοκυριά | 0.08 |

Πηγή: (Mukhopadhyay, 2004)

Οι τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από τον σταθμό αεριοποίησης της βιομάζας συγκρινόμενες με το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις γεννήτριες πετρελαίου (\$0.49/μονάδα κατανάλωσης) είναι σημαντικά μικρότερες. Οι χαμηλές αυτές τιμές έχουν οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση στους λογαριασμούς, οι οποίες για τις διάφορες κατηγορίες πελατών παρατίθενται στον Πίνακα 2.22.

Πίνακας 2.22: Εξοικονόμηση για τις διάφορες κατηγορίες πελατών από την εγκατάσταση σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας με αεριοποίηση βιομάζας (Chottomollakhali, Ινδία)

| Εμπορικές Επιχειρήσεις | | Νοικοκυριά | |
|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| Μηνιαία Εξοικονόμηση (\$) | % πελατών | Μηνιαία Εξοικονόμηση (\$) | % πελατών |
| 0.02-1.02 | 18 | 0.02-1.02 | 0 |
| 1.02-2.04 | 20 | 1.02-2.04 | 32 |
| 2.04-3.07 | 30 | 2.04-3.07 | 36 |
| 3.07-4.09 | 18 | 3.07-4.09 | 22 |
| >4.09 | 14 | >4.09 | 10 |

Πηγή: (Mukhopadhyay, 2004)

2.4. Επιπτώσεις Βιοκαυσίμων

Στα επόμενα παρατίθενται σειρά επιπτώσεων από την παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων με βάση τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνητικών εργασιών έως σήμερα αλλά και την ανάλυση που έχει παρατεθεί στα προηγούμενα.

Οι επιπτώσεις παρουσιάζονται με βάση την κατηγοριοποίηση τους σε θετικές και αρνητικές.

2.4.1. Θετικές επιπτώσεις

Μείωση εκπομπών φαινομένου θερμοκηπίου

Η πιο κοινά αναφερόμενη θετική επίπτωση των βιοκαυσίμων ανάμεσα στους ερευνητές είναι η μείωση των εκπομπών αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα των εκπομπών CO₂. Αυτό συμβαίνει γιατί θεωρητικά οι οργανισμοί (φυτά) από τους οποίους προέρχεται η βιομάζα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των βιοκαυσίμων απορροφούν κατά τη διάρκεια της ζωής τους ποσότητα CO₂ (προκειμένου να υποστηρίξουν τις λειτουργικές τους ανάγκες μέσω της φωτοσύνθεσης) ίση με αυτή που εκπέμπεται κατά τη χρήση (καύση) των παραγόμενων βιοκαυσίμων. Βεβαίως αυτή η θεώρηση προαπαιτεί ότι:

- Η χρησιμοποιούμενη βιομάζα είναι 100% ανανεώσιμη. Δηλαδή ότι ο ρυθμός παραγωγής της κατά μια συγκεκριμένη περίοδο είναι ίσος με το ρυθμό συγκομιδής της.
- Η συγκομιζόμενη βιομάζα και η βιομάζα που την αναπληρώνει απορροφούν CO₂ με τον ίδιο ρυθμό. Αυτό συνήθως εξασφαλίζεται με την αναπλήρωση των συγκομιζόμενων φυτών από φυτά του ίδιου είδους.

Η εκπλήρωση των ανωτέρω απαιτήσεων φαίνεται ότι αγνοείται (ή παραγνωρίζεται σιωπηρά η σημασία τους) από τους περισσότερους ερευνητές κατά τη διερεύνηση των επιπτώσεων από την παραγωγή και την χρήση των βιοκαυσίμων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, η μαζική παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει ακόμα και σε αύξηση των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εξαιτίας κυρίως:

- της χρήσης ορυκτών καυσίμων για τη μεταφορά της απαιτούμενης βιομάζας καθώς και των παραγόμενων βιοκαυσίμων μέσω πολύπλοκων συστημάτων εφοδιασμού και διανομής,
- της αποδάσωσης (*deforestation*) και του καθαρισμού χορτολιβαδικών εκτάσεων για τη χρήση τους για την καλλιέργεια βιομάζας προοριζόμενης για παραγωγή βιοκαυσίμων. Αυτά οδηγούν στην απελευθέρωση του δεσμευμένου στο έδαφος CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Μείωση εκπομπών SO₂

Πιθανή θετική επίπτωση των βιοκαυσίμων είναι η μείωση των εκπομπών SO₂ εξαιτίας της εν γένει χαμηλής περιεκτικότητας των φυτικών οργανισμών σε S. Αλλά η χρήση ορυκτών καυσίμων για την καλλιέργεια, συγκομιδή και μεταφορά της βιομάζας μπορούν να ακυρώσουν μέρος της θετικής αυτής επίπτωσης.

Εξάντληση ορυκτών πόρων

Η συμβολή των βιοκαυσίμων στην αντιμετώπιση της εξάντλησης των ορυκτών πόρων (κυρίων ορυκτών καυσίμων) εξαρτάται από την τιμή καθαρής ενεργειακής απόδοσης (*Net Energy Ratio -NER*) που χαρακτηρίζει το καθένα από αυτά. Η τιμή *NER* ορίζεται ως το πηλίκο του ενεργειακού περιεχομένου του βιοκαυσίμου προς το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή του. Σημειώνεται ότι αρκετό μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται αντιστοιχεί σε ορυκτά καύσιμα ιδίως στα στάδια της καλλιέργειας της βιομάζας, της μεταφοράς, της διανομής κλπ. Στις περισσότερες των περιπτώσεων των βιοκαυσίμων υπολογίζεται ως τιμή *NER* μεγαλύτερη του 1. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως (π.χ. παραγωγή βιοαιθανόλης από καλαμπόκι) έχουν υπολογιστεί τιμές *NER* μικρότερες του 1 (Johnson, 2006), γεγονός που καθιστά την παραγωγή και τη χρήση αυτών των βιοκαυσίμων μη αποδεκτή από ενεργειακής άποψης. Σημειώνεται πάντως ότι τα οριζόμενα όρια του συστήματος κατά την εξέταση του συστήματος καθώς επίσης και άλλες παράμετροι, όπως οι καλλιεργητικές τεχνικές και οι μέθοδοι παραγωγής, επηρεάζουν την υπολογιζόμενη τιμή *NER*.

Αειφορία και Τοπική Ανάπτυξη

Σε μερικές περιπτώσεις η συμβολή των βιοκαυσίμων στην τοπική ανάπτυξη και την αειφορία, όπως στην περίπτωση των σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με καύση βιοαερίου παραγόμενου από βιομάζα. Δυο τέτοιες ενδεικτικές περιπτώσεις σταθμών ευρίσκονται στην Ινδία (*Chottomollakhali Island*) και στην Κούβα (*Isla de Juventud*) και διερευνήθηκαν ως προς την επίδοσή τους από τους *Mukhopadhyay* (Mukhopadhyay, 2004) και τον Ο.Η.Ε. (*United Nations Environment Programme: Project GEF ID 1361 Executive Summary*, 2005). Οι συγκεκριμένοι σταθμοί λειτουργούν με βιομάζα που παράγεται τοπικά και συνεισφέρουν τόσο στη τροφοδοσία των τοπικών κοινωνιών με ηλεκτρική ενέργεια και κατ' επέκταση στην τοπική ανάπτυξη. Η χρησιμοποιούμενη βιομάζα αντικαθιστά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ορυκτά καύσιμα όπως η κηροζίνη και το *diesel*. Όπως υπολογίστηκε στην περίπτωση του σταθμού στην Ινδία, το 80% των νοικοκυριών καταναλωτών της παραγόμενης ενέργειας εξοικονόμησε περισσότερο από \$1 στα μηνιαία έξοδά τους τη στιγμή που το 40% του πληθυσμού της περιοχής έχει μηνιαίο εισόδημα \$20. Σε κάθε περίπτωση η συμβολή των βιοκαυσίμων στην τοπική ανάπτυξη και βιωσιμότητα εξαρτάται από τον τύπο της χρησιμοποιούμενης βιομάζας και ιδιαίτερα από το εάν πρόκειται για ενεργειακή καλλιέργεια ή υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών.

2.4.2. Αρνητικές Επιπτώσεις

Επίπτωση στις τιμές αγοράς των τροφίμων

Σήμερα το πιο σοβαρό πρόβλημα που προκύπτει από την παραγωγή των βιοκαυσίμων σχετίζεται με την επίπτωση που έχουν αυτά στις τιμές αγοράς των τροφίμων. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μερικώς εάν ληφθεί υπ' όψιν η μείωση της καλλιέργειας αγροτικών προϊόντων από τους αγρότες προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η γη για ενεργειακές καλλιέργειες.

Επιπρόσθετα η διαπραγμάτευση των αγροτικών προϊόντων τροφίμων στις χρηματιστηριακές αγορές δημιουργεί μια αυξητική τάση στις τιμές τους και μάλιστα με μη αναμενόμενο τρόπο.

Την ίδια στιγμή η παγκόσμια ζήτηση τροφίμων αγροτικών προϊόντων ικανοποιείται μόνο μερικώς, ενώ η πείνα μαστίζει χώρες του τρίτου κόσμου, αλλά και εσχάτως, με την εκδήλωση της οικονομικής κρίσης, πληθυσμούς των αναπτυσσόμενων και ανεπτυγμένων χωρών.

Οι κρατικές ενισχύσεις των βιοκαυσίμων επίσης επιτείνουν το πρόβλημα αύξησης των τιμών των αγροτικών προϊόντων τροφίμων αφού οι αγρότες, προκειμένου να εισπράξουν τις συγκεκριμένες επιδοτήσεις, προτιμούν να καλλιεργούν ενεργειακά φυτά σε συγκεκριμένες τιμές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του προβλήματος είναι οι τιμές του καλαμποκιού στις Η.Π.Α. Το καλαμπόκι στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Οι τιμές του καλαμποκιού την περίοδο 2000 -2012 εξελίχθηκαν όπως ο Πίνακας 2.23 δείχνει.

Πίνακας 2.23: Τιμές πώλησης από τους αγρότες καλαμποκιού στις Η.Π.Α. (2000-2012)

| Έτος | Τιμή (\$/bushel) |
|-----------|------------------|
| 2000-01 | 1.82 |
| 2001-02 | 1.85 |
| 2002-03 | 1.97 |
| 2003-04 | 2.32 |
| 2004-05 | 2.42 |
| 2005-06 | 2.06 |
| 2006-07 | 3.04 |
| 2007-08 | 4.20 |
| 2008-2009 | 4.06 |
| 2009-2010 | 3.55 |
| 2010-2011 | 5.18 |
| 2011-2012 | 6.22 |

Πηγή : (“United States Department of Agriculture, Economic Research Service,” 2014)

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.23, η τιμή του καλαμποκιού από το 2000 έως το 2012 έχει αυξηθεί κατά 340%.

Η εξέλιξη της παραγωγής καλαμποκιού και της χρήσης του για παραγωγή αιθανόλης την περίοδο 2007-2012 στις Η.Π.Α. παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.24. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2.24, το καλαμπόκι που χρησιμοποιείται στις Η.Π.Α. για την παραγωγή αιθανόλης ήδη από το 2007 αντιστοιχούσε στο 30% της συνολικής του παραγωγής, ενώ το 2012 διαμορφώθηκε στο 36%. Την ίδια περίοδο η παραγωγή καλαμποκιού στις Η.Π.Α. αυξήθηκε κατά 1% περίπου ενώ η χρήση του για την παραγωγή αιθανόλης κατά 21%. Έτσι γίνεται φανερό ότι η αύξηση των τιμών αγοράς του καλαμποκιού οφείλεται κατά κύριο λόγο στη ζήτησή του για την παραγωγή αιθανόλης. Βεβαίως δεν πρέπει να παραγνωρίζεται η επίδραση παραμέτρων όπως οι περίοδοι ξηρασίας στη διαμόρφωση των τιμών αλλά σαφώς στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι δευτερευούσης σημασίας.

Πίνακας 2.24: Παραγωγή καλαμποκιού στις Η.Π.Α. (2000-2012)

| Έτος | Παραγωγή Καλαμποκιού (000.000 bushels) | Χρήση καλαμποκιού για παραγωγή αιθανόλης (000.000 bushels) | Χρήση καλαμποκιού για παραγωγή αιθανόλης (% της παραγωγής καλαμποκιού) |
|------|--|--|--|
| 2007 | 13,620 | 4,075 | 30% |
| 2008 | 13,820 | 4,600 | 33% |
| 2009 | 13,660 | 4,650 | 34% |
| 2010 | 13,695 | 4,825 | 35% |
| 2011 | 13,925 | 4,975 | 36% |
| 2012 | 13,745 | 4,925 | 36% |

Πηγή :("United States Department of Agriculture, Economic Research Service," 2014)

Επίπτωση στις τιμές της μη βρώσιμης βιομάζας

Παρόμοια επίδραση αύξησης της τιμής παρατηρείται και στην περίπτωση των μη βρώσιμων αγροτικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Εδώ ο μηχανισμός επίδρασης είναι το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ που καθιερώθηκε στο πλαίσιο των αποφάσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂. Με βάση το Πρωτόκολλο προβλεπόταν ότι μέσω του συστήματος οι επιχειρήσεις θα αντικαθιστούσαν τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούσαν στις παραγωγικές διαδικασίες τους με βιοκαύσιμα που θεωρούνται ουδέτερα ως προς τις εκπομπές CO₂ ώστε να μπορούν να εμπορεύονται το πλεόνασμα των δικαιωμάτων τους σε CO₂, αποκομίζοντας έτσι επιπλέον εισόδημα ή, σε δυσμενέστερη περίπτωση, να μην χρειάζεται να αποκτήσουν επιπλέον δικαιώματα καταβάλλοντας το αντίστοιχο τίμημα σε

χρήμα. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά των επιχειρήσεων οδήγησε σε αύξηση της ζήτησης βιομάζας, συμπεριλαμβανομένης και της μη βρώσιμης βιομάζας. Η τελευταία παραδοσιακά χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς όπως η βιομηχανία χαρτιού, η βιομηχανία επεξεργασίας και παραγωγής προϊόντων από ξύλο κλπ, και η αύξηση της ζήτησής της οδήγησε σε αύξηση των τιμών αγοράς της. Επιχειρήσεις οι οποίες δεν συμμετέχουν στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ (δηλαδή επιχειρήσεις που δεν τους έχουν αποδοθεί δικαιώματα CO₂ γιατί η φύση της παραγωγικής τους διαδικασίας δεν είναι σχετική με εκπομπές CO₂) αλλά χρησιμοποιούν για διάφορους σκοπούς τέτοια βιομάζα, υφίστανται με αυτό τον τρόπο επιπλέον ανταγωνισμό που μπορεί με τη σειρά του να τις οδηγήσει σε αύξηση των τιμών των προϊόντων τους ή μείωση της κερδοφορίας τους. Ερευνητές διερεύνησαν την επίδραση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ στις τιμές της βιομάζας ξύλου στην Φινλανδία (Ranta T., Lahtinenb P., Elo J., 2007). Συγκεκριμένα στη μελέτη τους προσδιόρισαν τις τιμές νεκρού σημείου για τα δικαιώματα CO₂, που είναι οι τιμές πάνω από τις οποίες είναι αποδοτικότερο για τους παραγωγούς να πωλούν τη βιομάζα σε επιχειρήσεις που είναι μέλη του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ παρά σε επιχειρήσεις που δεν είναι. Αυτές οι τιμές νεκρού σημείου για διάφορους βιομηχανικούς τομείς παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.25.

Πίνακας 2.25: Τιμές νεκρού σημείου CO₂ τιμές διάφορων βιομηχανικών τομέων στην Φινλανδία

| Τομέας | Τιμή νεκρού σημείου δικαιώματος CO ₂ (€/t CO ₂) |
|---|--|
| Βιομηχανία μορισανίδας | 5 |
| Βιομηχανία χαρτοπολτού (α' ύλη ξύλο) | 15 |
| Βιομηχανία χαρτοπολτού (α' ύλη υπολείμματα ξύλου) | 20 |

Πηγή: (Ranta T., Lahtinenb P., Elo J., 2007)

Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ εν τέλει δεν είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα ως προς το στόχο της μείωσης των εκπομπών CO₂ κατά την περίοδο εφαρμογής του. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.4, η τιμή διαπραγμάτευσης του δικαιώματος 1 t CO₂ στην αγορά έχει καταποντιστεί από το επίπεδο των €25/t CO₂ το 2008 στα €5/t CO₂. Επομένως το οικονομικό κίνητρο για αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με βιοκαύσιμα από τις επιχειρήσεις έχει υπονομευτεί.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η υπερπροσφορά δικαιωμάτων CO₂ στην αγορά εξαιτίας κακού υπολογισμού των αρχικών δικαιωμάτων κάθε επιχείρησης από πλευράς των κρατών που συμμετέχουν στο σύστημα εμπορίας έχει συντελέσει σε μεγάλο βαθμό στον καταποντισμό των τιμών των δικαιωμάτων.

Επιπτώσεις σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές κατηγορίες ή εκπομπές

Αρνητικές επιπτώσεις από την παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων έχουν παρατηρηθεί σε μια σειρά περιβαλλοντικών κατηγοριών (π.χ. εξάντληση του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος και οξίνιση των υδάτων). Συγκεκριμένα σε κάποιες περιπτώσεις βιοκαυσίμων π.χ. στο *biodiesel* (Frondel & Peters, 2007), στην παραγωγή βιοαιθανόλης από αμυλούχες α' ύλες (von Blottnitz & Curran, 2007) και στη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με αεριοποίηση λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας και δέσμευση του παραγόμενου CO₂ (*IBGCC-DeCO₂*) (Carpentieri et al., 2005), αποδείχτηκε ότι αυτά έχουν δυσμενέστερη επίπτωση στην εξάντληση του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος και στην οξίνιση των υδάτων από τα αντίστοιχα συμβατικά καύσιμα. Οι συγκεκριμένες επιπτώσεις βέβαια διαφέρουν από έρευνα σε έρευνα και εξαρτώνται από τον ορισμό των ορίων του εξεταζόμενου συστήματος, τις εφαρμοζόμενες καλλιεργητικές τεχνικές κλπ.

Άλλη αρνητική επίπτωση αφορά τα στερεά βιοκαύσιμα και σχετίζεται με την εκπομπή βαρέων μετάλλων (Pb, Hg κλπ) και διοξεινών. Το πρόβλημα αφορά κυρίως την χρήση του *RDF* ως καυσίμου αλλά και της παρθένας ξυλώδους βιομάζας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (θερμοκρασίας καύσης και περιεκτικότητας σε χλώριο) (Obernberger et al., 2006).

Επίσης τα ενεργειακά φυτά καλλιεργούνται συνήθως με εντατικό τρόπο κατά τον οποίο αρκετά φυτοφάρμακα, λιπάσματα και άλλα χημικά χρησιμοποιούνται κατά κόρον. Το συγκεκριμένο γεγονός οδηγεί στην επιμόλυνση των επιφανειακών υδάτων με τα υπολείμματα αυτών προκαλώντας προβλήματα οικοτοξικότητας αλλά και ευτροφισμού.

Διάγραμμα.2.4: Εξέλιξη της τιμής διαπραγμάτευσης δικαιώματος 1t CO₂ στην χρηματιστηριακή αγορά την περίοδο 2008-2014



Πηγή: ("Carbon Dioxide Emission Allowances Electronic Trading System," 2014)

2.5. Το μέλλον των βιοκαυσίμων

Η χρήση των βιοκαυσίμων συνδέεται στενά με την έρευνα που ενεργείται τα τελευταία χρόνια σχετικά με τις τεχνολογίες παραγωγής τους και τις προσπάθειες για βελτίωση της οικονομικότητας και της περιβαλλοντικής επίδοσης των παραγωγικών συστημάτων τους. Ανάμεσα στις κυριότερες σχετικές κατευθύνσεις της διεξαγόμενης έρευνας είναι οι παρακάτω.

i. Η παραγωγή *biodiesel* από άλγη (φύκη) είναι μια υποσχόμενη δυνατότητα. Τα φύκη μπορούν να καλλιεργούνται σε υδάτινες φάρμες απορροφώντας CO₂ από τον αέρα. Περιέχουν έλαια τα οποία, αφού εξαχθούν με πίεση από αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως α΄ ύλη για την παραγωγή του *biodiesel*. Το κυριότερο πλεονέκτημά τους είναι ότι η καλλιέργειά τους δεν ανταγωνίζεται την παραγωγή τροφίμων. Επιπλέον έχουν και το δυναμικό να καλύψουν την παγκόσμια ζήτηση σε καύσιμα μεταφοράς (Chisti, 2008). Η παραγωγή *biodiesel* από άλγη σε βιομηχανική κλίμακα δεν έχει έως σήμερα επιτευχθεί. Πολλές εταιρείες όμως έχουν μελετήσει σε πιλοτική κλίμακα την παραγωγή τους, ενώ αρκετές κυβερνήσεις τις έχουν ήδη χρηματοδοτήσει με σκοπό τη δημιουργία εγκαταστάσεων προ-εμπορικής κλίμακας.

Πρόσφατες τεχνολογικές καινοτομίες στην παραγωγή *biodiesel* από άλγη όπως:

- η δημιουργία από το *Pacific Northwest National Laboratory* των Η.Π.Α. μιας συνεχούς χημικής διεργασίας μέσω της οποίας παράγεται βιο-αργό έλαιο μέσα σε λίγα μόνο λεπτά της ώρας (“Pacific Northwest National Laboratory,” 2014) και
- η δημιουργία από ερευνητές του *Scripps Institute of Oceanography* μιας σημαντικής προόδου στην μηχανική μεταβολισμού των φυκών που έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης στην παραγωγή λιπιδίων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του *biodiesel* (Trentacoste et al., 2013),

βοηθούν στην κατεύθυνση της δημιουργίας οικονομικών συστημάτων παραγωγής *biodiesel* που θα είναι ευρέως διαθέσιμα.

Την ίδια στιγμή διερευνώνται οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις από την παραγωγή *biodiesel* από φύκη και ιδιαίτερα αυτές που σχετίζονται με την περιβαλλοντική κατηγορία της εξάντλησης του στρατοσφαιρικού όζοντος αλλά και των εκπομπών μεθανίου.

ii. Το *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* των Η.Π.Α. έχει διερευνήσει σε βάθος των σύνολο των διεργασιών και την οικονομικότητα συστήματος παραγωγής βιοαιθανόλης με ζύμωση σακχάρων που αποσπώνται από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα (υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας), ενώ η υπολειπόμενη λιγνίνη καίγεται για την ικανοποίηση των θερμικών αναγκών του συστήματος και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς ιδιοκατανάλωση και προς διανομή στο δημόσιο δίκτυο. Η τεχνολογία που προτείνεται είναι καινοτόμα και συντείνει στη βελτίωση της οικονομικότητας των συστημάτων παραγωγής αιθανόλης και στην ανάπτυξη βιομηχανικών συστημάτων παραγωγής, ενώ παράλληλα εντείνεται και η έρευνα για παραπέρα μείωση του κόστους παραγωγής. Παραδείγματα εμπορικών βιομηχανικών συστημάτων παραγωγής αιθανόλης που χρησιμοποιούν παρόμοια τεχνολογία είναι μεταξύ άλλων η εγκατάσταση της *DuPont* στη Νεβάδα (“DuPont Nevada Site Cellulosic Ethanol Facility,” 2014) και η εγκατάσταση της κοινοπραξίας *POET-DSM* στην Αϊόβα (POET-DSM, 2014).

Τα τελευταία χρόνια άλλη μια τεχνολογία παραγωγής βιοαιθανόλης βρίσκεται στο στάδιο ανάπτυξης για εμπορική εφαρμογή. Συγκεκριμένα, αυτή παράγεται από κυανοφύκη με την χρήση ελαστικών φωτοβιοαντιδραστήρων μεμβράνης οι οποίοι τροφοδοτούνται επίσης με CO₂ και ηλιακό φως και οι οποίοι διευκολύνουν την παραγωγή και συλλογή της αιθανόλης. Από την υπολειπόμενη βιομάζα μετά την παραγωγή αιθανόλης μπορεί να παραχθεί βενζίνη ή *biodiesel* μέσω υδροθερμικής επεξεργασίας της και υδρογόνωσης του ενδιάμεσου παραγόμενου προϊόντος (“Algenol Biofuels,” 2014).

iii. Όπως έχει γίνει αντιληπτό, μεγάλο μέρος της έρευνας αφιερώνεται και καταναλώνεται στη βελτίωση της οικονομικότητας των συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων. Η διερεύνηση των βιοδιύλιστηρίων αποτελεί αιχμή στις προσπάθειες αυτές. Τα βιοδιύλιστήρια είναι βιομηχανικές μονάδες στις οποίες παράγονται κατά περίπτωση στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα μαζί με ηλεκτρική και θερμική ενέργεια ή/και άλλα διάφορα χημικά προϊόντα. Εξ ορισμού τα βιοδιύλιστήρια επεξεργάζονται μαζικά τεράστιες ποσότητες λιγνίνης και έτσι προκύπτει το ερώτημα σχετικά με την αξιοποίηση της. Σε μια προσπάθεια σύνοψης των δυνατοτήτων σχετικά με την αξιοποίηση της λιγνίνης, αυτές που έχουν προταθεί έως σήμερα μπορούν να ταξινομηθούν όπως παρακάτω (Holladay, White, Bozell, & Johnson, 2007):

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων. Η υπολειπόμενη λιγνίνη απλώς χρησιμοποιείται μέσω διεργασιών όπως η απλή καύση- πυρόλυση, η αεριοποίηση κλπ, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας ή/και καυσίμων όπως η αιθανόλη και η βενζίνη.
- Παραγωγή χημικών προϊόντων μακρομορίων. Στην περίπτωση αυτή η μακρομοριακή δομή της λιγνίνης λαμβάνεται ως αφετηρία για την παραγωγή άλλων χημικών προϊόντων με μεγάλο μοριακό βάρος, π.χ. ίνες άνθρακα ρητίνες, τροποποιητές πολυμερών, κόλλες, θειώδης λιγνίνη κλπ.
- Παραγωγή αρωματικών χημικών προϊόντων. Η λιγνίνη είναι η μόνη ανανεώσιμη πηγή με μεγάλη περιεκτικότητα σε αρωματικά συστατικά. Στην κατηγορία αυτή η λιγνίνη υφίσταται επεξεργασία μέσω διαφορών τεχνολογιών όπως οι καταλυτικές διασπάσεις, οι καταλυτικές οξυγονώσεις κλπ με σκοπό την απομόνωση διαφόρων αρωματικών ουσιών εμπορικής σημασίας (π.χ. το βενζόλιο, το τολουόλιο, το ξυλένιο, μονομερή της λιγνίνης όπως η προπυλφαινόλη, οξειδωμένα μονομερή της λιγνίνης όπως η βανιλίνη κλπ).

iv. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω έχει προταθεί από άλλους και η χρήση της υπολειπόμενης λιγνίνης σε εφαρμογές δομικών έργων, π.χ. η χρήση της για ανάμιξη με εδάφη προς σταθεροποίησή τους (αεροδρόμια, δρόμοι βαριάς κυκλοφορίας κλπ) (Ceylan, Gopalakrishnan, & Kim, 2010).

v. Η χρήση των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών στην καλλιέργεια βιομάζας και στις τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων έχει διερευνηθεί τα τελευταία χρόνια και προβάλλεται ως λύση για την αύξηση των αποδόσεων και της οικονομικότητας των συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων. Ερευνητές επεμβαίνουν στη δομή οργανισμών για την παραγωγή φυτών που θα διευκολύνουν τεχνικά και οικονομικά την παραγωγή βιοκαυσίμων. Για παράδειγμα, η παραγωγή βιομάζας με μειωμένη περιεκτικότητα σε λιγνίνη ή που περιέχει λιγνίνη εύκολα διασπώμενη εξασφαλίζει καλύτερη απόδοση και

οικονομικότητα στην παραγωγή αιθανόλης ή άλλων χημικών από αυτή. Ερευνητές κατόρθωσαν να τροποποιήσουν το είδος *Arabidopsis* με τη βοήθεια του ενζύμου *Caffeoyl Shikimate Esterase* προς την κατεύθυνση αυτή (Vanholme et al., 2013). Επίσης η απελευθέρωση γενετικά τροποποιημένων μικροφυκών για εμπορική εφαρμογή βρίσκεται σήμερα στην ημερήσια διάταξη χωρίς επαρκή δημόσια πληροφόρηση ή διερεύνηση για τους πιθανούς κινδύνους (Snow & Smith, 2012).

2.6. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι τα βιοκαύσιμα παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθώς και θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στα ανθρωπογενή και στα φυσικά συστήματα, ενώ ενέχουν και κάποιους κινδύνους. Η απόφαση για την παραγωγή και τη χρήση τους θα πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια σχετικά με αυτές τις επιπτώσεις και τους κινδύνους.

Η σύγκρουση συμφερόντων μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών όπως επιχειρήσεις, τοπικές διοικήσεις, τελικοί καταναλωτές κλπ είναι εμφανής, αλλά δεν συμμετέχουν όλα τα μέρη στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τα βιοκαύσιμα. Για παράδειγμα, οι καταναλωτές βιοκαυσίμων ή τροφίμων, αν και επωμίζονται το μεγάλο κόστος τους (άμεσα ή έμμεσα μέσω των κρατικών ενισχύσεων), δεν συμμετέχουν στη λήψη των σχετικών αποφάσεων. Αντίθετα οι επιχειρήσεις οι οποίες συσσωρεύουν τεράστια κέρδη εξασφαλίζουν τα έσοδά τους μέσω μηχανισμών όπως η καθιέρωση σε κάθε χώρα ελάχιστης ποσότητας κατανάλωσης βιοκαυσίμων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση είχε θέσει ως στόχο το 2010 τα βιοκαύσιμα να αποτελούν το 5.7% της συνολικής κατανάλωσης των καυσίμων μεταφοράς και αναθεώρησε αυτό τον στόχο σε 10% για το έτος 2020, επιμερίζοντας ταυτόχρονα την υποχρέωση αυτή στις χώρες μέλη της.

Αυτή η σύγκρουση συμφερόντων γίνεται μεγαλύτερη εάν ληφθεί υπ' όψιν ότι οι επιδόσεις του *biodiesel* και της βιοαιθανόλης σε μερικές περιβαλλοντικές κατηγορίες είναι τουλάχιστον διαφιλονικούμενη.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επιβολή της χρήσης βιοκαυσίμων σε συνδυασμό με άλλα μέτρα (π.χ. ο έλεγχος των πληθυσμών των ιδιωτικής χρήσεως αυτοκινήτων) θα φαινόταν λογική από τη σκοπιά της προστασίας του περιβάλλοντος αλλά τέτοιου είδους μέτρα φαίνονται ξένα στις κοινωνίες που βασίζονται στο μοντέλο της συνεχούς αύξησης της κατανάλωσης.

Τα βασικά συμπεράσματα που μπορούν να προκύψουν με βάση τα προαναφερόμενα παρατίθενται στη συνέχεια (E. C. Petrou & Pappis, 2009).

- i. Η χρήση των υπολειμμάτων γεωργικών και δασικών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων φαίνεται να υπερτερεί σε σχέση με τη χρήση άλλου τύπου βιομάζας όπως τα βρώσιμα αγροτικά προϊόντα. Διαθέτουν μεγάλο δυναμικό και δεν ανταγωνίζονται την παραγωγή τροφίμων. Επιπλέον, αν δεν αξιοποιηθούν, αποσυντίθενται σε CO₂ συμβάλλοντας ούτως ή άλλως στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η χρήση των υπολειμμάτων (γεωργικών και δασικών) έχει πιθανώς τις λιγότερες αρνητικές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις στα ανθρωπογενή συστήματα συγκρινόμενη με την χρήση των προϊόντων των ενεργειακών καλλιεργειών. Βεβαίως η συλλογή και η μεταφορά τους από τους χώρους συγκομιδής στους χώρους παραγωγής των βιοκαυσίμων απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας και άλλων πόρων που συνεπάγεται αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρ' όλα αυτά, αυτές είναι λιγότερες από τις αρνητικές επιπτώσεις των βιοκαυσίμων που προέρχονται από βιομάζα ενεργειακών καλλιεργειών.
- ii. Όσο περισσότερο ολοκληρωμένα είναι τα συστήματα παραγωγής των βιοκαυσίμων, δηλαδή όσο περισσότερα προϊόντα και παραπροϊόντα παράγονται από αυτά, τόσο μικρότερες είναι οι οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές αρνητικές επιπτώσεις. Αυτό

συμβαίνει επειδή οι συνολικές επιπτώσεις επιμερίζονται αναλόγως σε κάθε παραγόμενο προϊόν ή παραπροϊόν που έχει αξία. Κάποιοι ερευνητές επίσης έχουν δείξει ότι η παραγωγή βιοκαυσίμων από γεωργικά ή δασικά υπολείμματα είναι περισσότερο δυνατή στις περιπτώσεις που αυτή πραγματοποιείται από μικρές συνεταιριστικές επιχειρήσεις όπως από συνεταιριστικά σχήματα καλλιεργητών σόγιας, εξαιτίας της δυνατότητας που έχουν τέτοια σχήματα στο να συλλέξουν και να αξιοποιήσουν στο σύνολό της την ποσότητα των υπολειμμάτων, γεγονός που δεν συμβαίνει στις περιπτώσεις όπου στην εφοδιαστική αλυσίδα παρεμβάλλονται έμποροι, μεσάζοντες κλπ (Van Dyne, Weber, & Braschler, 1996).

iii. Η μέτρηση των περιβαλλοντικών και άλλων επιπτώσεων των βιοκαυσίμων από διάφορους ερευνητές χαρακτηρίζεται από μεγάλη διασπορά τιμών και μεγάλη αβεβαιότητα. Αυτά οφείλονται μεταξύ άλλων:

- Στα διαφορετικά όρια των συστημάτων όπως κάθε φορά ορίζονται από τους ερευνητές.
- Στις διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές της βιομάζας (βαθμός εκμηχάνισης, χρήση φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων κλπ).
- Στις διαφορετικές μεθόδους και τεχνολογίες παραγωγής των βιοκαυσίμων.
- Στη διαφοροποίηση των εκάστοτε επικρατουσών οικονομικών συνθηκών (τιμές αγοράς, μισθοί κλπ).
- Στη διαφοροποίηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στον τόπο παραγωγής (θερμοκρασία, υγρασία, βροχοπτώσεις κλπ).

Αυτή η διαφοροποίηση κάνει την εκτίμηση των πραγματικών περιβαλλοντικών και άλλων επιπτώσεων και την επακόλουθη λήψη αποφάσεων αρκετά δύσκολες υποθέσεις.

iv. Ένα άλλο πρόβλημα που συμβάλλει στη δυσκολία λήψης αποφάσεων σχετικά με τα βιοκαύσιμα είναι ότι η πλειοψηφία των ερευνητών υλοποιεί την Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής σε μερικές μόνο περιβαλλοντικές κατηγορίες και όχι στο σύνολό τους. Επιπλέον, οι υπολογιζόμενες περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις δεν συνδυάζονται πάντα σε ένα συνολικό δείκτη επίδοσης. Έτσι διάφοροι ερευνητές αξιολογούν τα βιοκαύσιμα από περιβαλλοντική ή από οικονομική ή από κοινωνική σκοπιά ή σε άλλες περιπτώσεις δίνουν διάφορες μεμονωμένες τιμές συγκρίνοντας τις με τις αντίστοιχες των ορυκτών καυσίμων για να δείξουν ή όχι ότι τα βιοκαύσιμα υπερτερούν των ορυκτών. Αυτού του είδους η αξιολόγηση όμως είναι μεροληπτική και τουλάχιστον μη αξιόπιστη.

v. Η οικονομικότητα των βιοκαυσίμων εξαρτάται από τις τιμές των ορυκτών καυσίμων που καλούνται να αντικαταστήσουν. Όσο μικρότερο είναι το κόστος παραγωγής συγκεκριμένου βιοκαυσίμου σε σχέση με την τιμή αγοράς του προς αντικατάσταση ορυκτού καυσίμου τόσο περισσότερο βιώσιμο είναι το σύστημα παραγωγής του βιοκαυσίμου. Με άλλα λόγια, όσο αυξάνει η τιμή των ορυκτών καυσίμων τόσο περισσότερο ελκυστικά γίνονται από οικονομική σκοπιά τα βιοκαύσιμα. Σημειώνεται ότι τα βιοκαύσιμα εισήχθησαν την περίοδο της δεκαετίας 1990 που η τιμή του αργού ήταν περίπου στα \$50-60/barrel, ενώ σήμερα (Απρίλιος 2014) η τιμή αυτή είναι στα \$105/barrel. Από την άλλη πλευρά οι ψηλές τιμές των ορυκτών καυσίμων συμβάλλουν σε αυξημένο κόστος των βιοκαυσίμων αφού αυτά (βενζίνη και πετρέλαιο) χρησιμοποιούνται σε διάφορες λειτουργίες για την παραγωγή τους όπως για τη συλλογή βιομάζας, τη διανομή τους κλπ.

- vi. Η παραγωγή ή η συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με αεριοποίηση της χρησιμοποιούμενης βιομάζας μπορεί να είναι περιβαλλοντικά και οικονομικά αποδεκτή και να συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη και αειφορία. Η περιβαλλοντική επίδοση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ελκυστική και γίνεται περισσότερο ελκυστική όταν εφαρμόζεται και το στάδιο της δέσμευσης και απομάκρυνσης του παραγόμενου CO₂.
- vii. Οι κρατικές ενισχύσεις των αγροτικών καλλιεργειών βιομάζας για χρήση της σε παραγωγή βιοκαυσίμων δρουν ενάντια στην παραγωγή βρώσιμων αγροτικών προϊόντων. Επιπλέον δεν συμβάλλουν στην τοπική ανάπτυξη αφού απέτυχαν να κρατήσουν τους αγρότες στις περιοχές τους. Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ έχει παρόμοια επίδραση. Επιπλέον καθιστά τις ενεργειακές καλλιέργειες περισσότερο ελκυστικές στους αγρότες από οικονομική πλευρά από την καλλιέργεια αντίστοιχων προϊόντων α' υλών για τη βιομηχανία (χαρτοβιομηχανία, βιομηχανία ξύλου κλπ). Αυτή η προτίμηση των αγροτών μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες τιμές αγοράς των προϊόντων αυτών των τομέων της βιομηχανίας.
- viii. Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ έχει αποτύχει να ελέγξει την αύξηση των εκπομπών και των επιπέδων συγκέντρωσης του αερίου στην ατμόσφαιρα που είναι κυρίως υπεύθυνο για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτό μαρτυρούν τόσο η συνεχής αύξηση των επιπέδων συγκέντρωσης του αερίου στην ατμόσφαιρα από τότε που ενεργοποιήθηκε το σύστημα (το έτος 2000 η συγκέντρωση ήταν 270 ppm ενώ το Φεβρουάριο του 2014 έφτασε τα 398 ppm) όσο και ο καταποντισμός της χρηματιστηριακής τιμής του δικαιώματος εκπομπής CO₂ που αφαιρέσει οποιοδήποτε οικονομικό κίνητρο από τις επιχειρήσεις για χρήση τεχνολογιών και καυσίμων που θα μείωναν τις αντίστοιχες εκπομπές τους.
- ix. Η εφοδιαστική αλυσίδα των βιοκαυσίμων περιλαμβάνει σε αρκετές περιπτώσεις πολύπλοκα συστήματα *logistics*, ιδιαίτερα για τα τμήματα που αφορούν τον εφοδιασμό των παραγωγικών μονάδων με τις απαιτούμενες ποσότητες βιομάζας. Αυτό είναι περισσότερο έντονο στις περιπτώσεις όπου έχουμε κατακερματισμό της γης και σύντομες περιόδους συλλογής της βιομάζας. Σε αυτά τα συστήματα εφοδιασμού χρησιμοποιούνται κατά κόρον γεωργικά μηχανήματα και οχήματα μεταφοράς που συμβάλλουν αρνητικά στη συνολική περιβαλλοντική επίδοση του συστήματος αφού αυτά λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Το ερώτημα που προβάλλει είναι εάν αυτά τα συστήματα μπορούν να γίνουν αειφόρα, δηλαδή εάν μπορούν να παράγουν αρκετά καύσιμα ώστε να υπερκαλύπτουν την δική τους κατανάλωση σε καύσιμα μεταφοράς.
- x. Τα βιοδιυλιστήρια αποτελούν μια υποσχόμενη τεχνολογία. Επειδή είναι ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής, έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν στο ελάχιστο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους αλλά και το κόστος παραγωγής. Η εξοικονόμηση υλικών, χώρων, κεφαλαίων και ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί σε τέτοιου είδους βιομηχανικές μονάδες είναι πολύ μεγάλη. Επίσης υποσχόμενη τεχνολογία είναι η παραγωγή *biodiesel* από μικροφύκη. Τα συγκεκριμένα συστήματα δεν ανταγωνίζονται την παραγωγή βρώσιμων αγροτικών προϊόντων και ως εκ τούτου φαίνεται να έχουν τις μικρότερες κοινωνικές αρνητικές επιπτώσεις. Παρ' όλα αυτά υπάρχει περιθώριο στη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

Συνοψίζοντας, θεματικές περιοχές των βιοκαυσίμων προς περαιτέρω διερεύνηση είναι:

- Η αξιολόγηση και κατάταξη των κυριοτέρων συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων (*biodiesel*, βιοαιθανόλης κλπ) με βάση τη συνολική τους επίδοση που προκύπτει ως συνδυασμός των επιμέρους επιδόσεων στις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις τους.
- Η περιβαλλοντική και οικονομική αποτίμηση των βιοδιύλιστηρίων.
- Η συσχέτιση της εξέλιξης των ενεργειακών καλλιεργειών (έκταση, ποσότητες βιομάζας κλπ) στην Ε.Ε. και στις αναπτυσσόμενες χώρες με την εξέλιξη των τιμών των αγροτικών προϊόντων.
- Η ποσοτικοποίηση της επίδρασης των τιμών των ορυκτών καυσίμων μεταφοράς στο κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας των βιοκαυσίμων.
- Ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας που αντιστοιχεί στον υπολογισμό των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων των συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων.

4. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, η παραγωγή και κατανάλωση βιοκαυσίμων στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές του πλανήτη σχετίζεται με σημαντικά ζητήματα όπως το εμπόριό τους και οι τρόποι με τους οποίους αυτό διεκπεραιώνεται, οικονομικές πλευρές που σχετίζονται με τις τιμές διάθεσής τους αλλά και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση τους. Στα επόμενα θα αναπτυχθούν τέτοια ζητήματα αναφορικά με τα βιοκαύσιμα μεταφοράς στην Ευρωπαϊκή Ένωση, και πιο συγκεκριμένα με το *biodiesel* και την βιοαιθανόλη.

4.1. Η παραγωγή βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ευρώπη

Η παραγωγή *biodiesel* στις χώρες της Ε.Ε. σχεδόν δεκαπλασιάστηκε σε μια δεκαετία περίπου αφού από 1,065,000 t το 2002 έφτασε στους 9,550,000 t το 2012. Η παραγωγή του 2012 καθιστά την Ε.Ε. τον μεγαλύτερο παραγωγό *biodiesel* στον πλανήτη αφού είναι μεγαλύτερη κατά 2.5 φορές περίπου από την παραγωγή των ΗΠΑ (1.1×10^9 gal το 2012), (National Biodiesel Board, Production Statistics, 2014). Η εξέλιξη της παραγωγής των χωρών της Ε.Ε. παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1. Η παραγωγή του 2012 ισοδυναμεί με ενέργεια 10.022 Mtoe και αντιστοιχεί στο 3.5% των ενεργειακών αναγκών των οδικών μεταφορών του 2020 (281 Mtoe) σύμφωνα με την πρόβλεψη της Directorate General - Joint Research Centre της Ε.Ε. (Lonza L.; Hass H.; Maas H.; Reid A.; Rose K.D, 2011).

Πίνακας 3.1: Εξέλιξη της παραγωγής *biodiesel* στην Ε.Ε. κατά το διάστημα 2002-2012

(000 t)

| | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 ^(*) |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Γερμανία | 450 | 715 | 1,035 | 1,669 | 2,662 | 2,890 | 2,819 | 2,639 | 2,861 | 2,800 | 2,670 |
| Γαλλία | 366 | 357 | 348 | 492 | 743 | 872 | 1,815 | 1,959 | 1,910 | 1,559 | 2,390 |
| Ιταλία | 210 | 273 | 320 | 396 | 447 | 363 | 595 | 737 | 706 | 479 | 680 |
| Αυστρία | 25 | 32 | 57 | 85 | 123 | 267 | 213 | 310 | 289 | 226 | n.a. |
| Δανία/Σουηδία | 10 | 40 | 71 | 72 | 93 | 147 | 231 | 233 | 246 | 225 | n.a. |
| Ηνωμένο Βασίλειο | 3 | 9 | 9 | 51 | 192 | 150 | 192 | 137 | 145 | 218 | n.a. |
| Τσεχία | - | - | 60 | 133 | 107 | 61 | 104 | 164 | 181 | 154 | n.a. |
| Ελλάδα | - | - | - | 3 | 42 | 100 | 107 | 77 | 33 | 78 | n.a. |
| Λοιπές Χώρες | 1 | 8 | 34 | 284 | 494 | 925 | 1,679 | 2,890 | 3,199 | 2,868 | n.a. |
| Σύνολο | 1,065 | 1,434 | 1,933 | 3,184 | 4,890 | 5,713 | 7,755 | 9,046 | 9,570 | 8,607 | 9,550 |

Πηγή: ("National Biodiesel Board, Production Statistics," 2014), (Smith, Flach, Bendz, Krautgartner, & Lieberz, 2013)

(*) Εκτιμήσεις

Η συμβολή των διαφόρων γεωγραφικών και οικονομικών ζωνών του πλανήτη στην παραγωγή *biodiesel* δίνεται στον Πίνακα 3.2. Η Ευρώπη συμβάλει κατά 44% στην παγκόσμια παραγωγή *biodiesel* ενώ ακολουθεί η Κεντρική & Νότια Αμερική (κατά το μέγιστο μέρος η Βραζιλία) με 26%.

Πίνακας 3.2: Παγκόσμια παραγωγή *biodiesel* (2011)

| Περιοχή | Παραγωγή (barrel /ημέρα) | % συμβολή |
|--------------------------|--------------------------|-----------|
| Βόρεια Αμερική | 65.90959 | 16 |
| Ευρώπη | 177.6900 | 44 |
| Κεντρική & Νότια Αμερική | 103.2490 | 26 |
| Αφρική | 0.1700 | 0 |
| Ευρασία | 3.2500 | 1 |
| Ασία & Ωκεανία | 53.3705 | 13 |
| Σύνολο | 403.7391 | 100 |

Πηγή: (“US Energy Information Agency Renewable and Alternative Fuels,” 2014)

Στον Πίνακα 3.3 δίνεται η εξέλιξη της δυναμικότητας των μονάδων *biodiesel* στην Ε.Ε. την αντίστοιχη περίοδο.

Ως κύριο συμπέρασμα από την ανάγνωση των πινάκων 3.1 και 3.3 προκύπτει η μειωμένη εκμετάλλευση της δυναμικότητας των εγκαταστάσεων. Χαρακτηριστικά, αυτή τα τελευταία έτη ανέρχεται σε 45% περίπου με μικρές αυξομειώσεις, ενώ παράλληλα ο αριθμός των μονάδων παραγωγής από 119 που ήταν το 2006 ανήλθε στις 260 το 2010 και το 2012 έπεσε στις 256.

Πίνακας 3.3: Δυναμικότητα εγκαταστάσεων παραγωγής *biodiesel* στην Ε.Ε.

(000 t)

| Έτος | Αριθμός Μονάδων Παραγωγής | Δυναμικότητα |
|------|---------------------------|--------------|
| 2004 | n.a. | 2,246 |

| | | |
|-------------|------|--------|
| 2005 | n.a. | 4,228 |
| 2006 | 119 | 6,069 |
| 2007 | 187 | 10,289 |
| 2008 | 240 | 16,000 |
| 2009 | 248 | 20,900 |
| 2010 | 260 | 21,900 |
| 2011 | 256 | 22,100 |
| 2012 | 256 | 23,538 |

Πηγή: ("European Biodiesel Board Statistics," 2014)

n.a.: Μη διαθέσιμα στοιχεία

Ανάλογη είναι και η εικόνα στην εκμετάλλευση της δυναμικότητας της βιοαιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε.

Η παραγωγή της βιοαιθανόλης παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4 ενώ η εξέλιξη της δυναμικότητας των μονάδων παραγωγής βιοαιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε. παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5. Η παραγωγή από 526,000,000 l το 2004 ανήλθε στα 5,380,000,000 l το 2013. Η παραγωγή του 2013 ισοδυναμεί με 3.436 Mtoe που αντιστοιχεί στο 1.2% των ενεργειακών αναγκών των οδικών μεταφορών του 2020 σύμφωνα με την πρόβλεψη της Ε.Ε. (Lonza L.; Hass H.; Maas H.; Reid A.; Rose K.D, 2011). Η παραγωγική ικανότητα βιοαιθανόλης των χωρών της Ε.Ε. από 2,066,000,000 l το 2006 ανήλθε στα 8,481,000,000 l το έτος 2013 ενώ το ίδιο χρονικό διάστημα οι παραγωγικές μονάδες διπλασιάστηκαν (από 36 ανήλθαν στις 71). Η παραγωγική ικανότητα και στην περίπτωση της βιοαιθανόλης παραμένει ανεκμετάλλευτη αφού κυμαίνεται τα τελευταία έτη από 50% έως και 60% περίπου με συνεχείς μικρές διακυμάνσεις.

Πίνακας 3.4: Παραγωγή βιοαιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε.

(000,000 l)

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|----------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Γαλλία | 101 | 144 | 293 | 539 | 1,000 | 906 | 942 | 846 | 759 | 759 |
| Γερμανία | 25 | 165 | 431 | 394 | 568 | 752 | 765 | 730 | 776 | 823 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ισπανία | 254 | 303 | 396 | 348 | 317 | 465 | 471 | 462 | 381 | 450 |
| Πολωνία | 48 | 64 | 161 | 155 | 200 | 165 | 194 | 167 | 211 | 215 |
| Υπόλοιπες Χώρες | 98 | 237 | 312 | 295 | 731 | 1,265 | 1,896 | 2,187 | 2,493 | 2,943 |
| Σύνολο | 526 | 913 | 1,593 | 1,731 | 2,816 | 3,553 | 4,268 | 4,392 | 4,620 | 5,190 |

Πηγή: (Smith et al., 2013)

**Πίνακας 3.5: Δυναμικότητα εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαιθανόλης στην Ε.Ε.
(000,000 l)**

| Έτος | Αριθμός Μονάδων Παραγωγής | Δυναμικότητα |
|-------------|---------------------------|--------------|
| 2006 | 36 | 2,066 |
| 2007 | 51 | 3,458 |
| 2008 | 60 | 5,138 |
| 2009 | 66 | 6,234 |
| 2010 | 68 | 7,570 |
| 2011 | 68 | 7,759 |
| 2012 | 69 | 8,468 |
| 2013 | 71 | 8,481 |

Πηγή: (Smith et al., 2013)

Με βάση τα προηγούμενα αλλά και στοιχεία της παγκόσμιας παραγωγής βιοαιθανόλης που προορίζεται για καύσιμο ("US Energy Information Agency Renewable and Alternative Fuels," 2014), η παραγωγή αιθανόλης στην Ευρώπη περιορίζεται στο 5% της παγκόσμιας παραγωγής, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6: Παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης (2011)

| Περιοχή | Παραγωγή (barrel /ημέρα) | % συμβολή |
|--------------------------|--------------------------|-----------|
| Βόρεια Αμερική | 938.9192 | 63 |
| Ευρώπη | 72.801 | 5 |
| Κεντρική & Νότια Αμερική | 415.903 | 28 |
| Αφρική | 0.62 | 0 |
| Ευρασία | 0.42 | 0 |
| Ασία & Ωκεανία | 64.8 | 4 |
| Σύνολο | 1493.463 | 100 |

Πηγή: ("US Energy Information Agency Renewable and Alternative Fuels," 2014)

4.2. Α' ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε.

Για την παραγωγή του biodiesel έχει αναφερθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως α' ύλη οποιαδήποτε λιπαρή ουσία (φυτικής ή ζωικής προέλευσης, παρθένα ή ανακυκλωμένη). Η κατανομή και εξέλιξη της χρήσης α' υλών για την παραγωγή *biodiesel* στην Ε.Ε. έχει όπως αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Κατανομή και εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων α' υλών για την παραγωγή *biodiesel* στην Ε.Ε. την περίοδο 2006-2012

(000 t)

| | 2006 | 2004 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Κραμβέλαιο | 3,710 | 4,230 | 6,040 | 6,050 | 6,220 | 6,550 | 6,050 |
| Σογιέλαιο | 570 | 830 | 960 | 1,050 | 1,100 | 850 | 500 |
| Ηλιέλαιο | 30 | 70 | 130 | 170 | 150 | 160 | 150 |
| Φοινικέλαιο | 280 | 390 | 600 | 660 | 910 | 650 | 430 |
| Ζωικά λίπη | 60 | 140 | 350 | 360 | 390 | 420 | 400 |
| Ανακυκλωμένες λιπαρές ουσίες | 100 | 200 | 320 | 380 | 650 | 980 | 980 |
| Άλλα | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 85 | 110 |
| Σύνολο | 4,760 | 5,870 | 8,410 | 7,631 | 8,331 | 9,695 | 8,620 |

Πηγή: (Smith et al., 2013)

Η χρήση κραμβέλαιου κυριαρχεί στην παραγωγή biodiesel στην Ε.Ε. Περίπου τα 2/3 της ποσότητας των συνολικών α' υλών αντιστοιχούν στο κραμβέλαιο. Η συγκεκριμένη λιπαρή ουσία προέρχεται κυρίως από ελαιοκράμβη που καλλιεργείται στις χώρες της Ε.Ε. αλλά και όμορες χώρες της Ευρώπης ή της Ανατολικής Ευρώπης. Σημειώνεται ότι το κραμβέλαιο είναι βρώσιμο έλαιο.

Το σογιέλαιο δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην Ε.Ε. για τεχνικούς λόγους. Ο Αριθμός Ιωδίου του παραγόμενου από αυτό *biodiesel* δεν πληροί τις προδιαγραφές του ευρωπαϊκού προτύπου EN 14124. Ο Αριθμός Ιωδίου είναι μια παράμετρος με την οποία χαρακτηρίζεται η σταθερότητα στην οξείδωση ενός καυσίμου.

Το φοινικέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως σε μίγματα τροφοδοσίας (μαζί με κραμβέλαιο και σογιέλαιο) σε μονάδες παραγωγής *biodiesel* αφού παρουσιάζει προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες όταν χρησιμοποιείται μόνο του.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση ζωικών λιπών αν και αυτή είναι περιορισμένη. Πρόκειται για λίπη που δεν προορίζονται για βρώση. Τα συγκεκριμένα λίπη χρησιμοποιούνται κυρίως σε χώρες όπως η Αυστρία, η Δανία, η Γερμανία, η Γαλλία κ.α. γιατί είναι σχετικά με τις άλλες α' ύλες φθηνά αλλά και γιατί οι ενεργειακές ποσότητες που χρησιμοποιούνται λογίζονται εις διπλούν στις υποχρεώσεις που απορρέουν από την εφαρμογή της σχετικής οδηγίας Ε.Ε. (*Directive 09/28/EC, 2009*).

Το ίδιο ισχύει και για τα ανακυκλωμένα έλαια.

Στην κατηγορία «άλλα» περιλαμβάνονται φυτικά έλαια όπως το βαμβακέλαιο (που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα) και το έλαιο πεύκων (που χρησιμοποιείται στην Σουηδία).

Για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. χρησιμοποιούνται κυρίως δημητριακά καθώς και σακχαρότευτλα ή προϊόντα αυτών (Smith et al., 2013). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.8 τα τελευταία έτη το μίγμα τροφοδοσίας των μονάδων παραγωγής βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. αποτελείται κατά 50% περίπου από δημητριακά (εκ των οποίων το σιτάρι και το καλαμπόκι είναι ιδιαίτερα δημοφιλή αντιστοιχώντας στο 80-90% αυτών των ποσοτήτων) και από 50% σακχαρότευτλα και υποπροϊόντα αυτών.

Οι ποσότητες του Πίνακα 3.8 αφορούν τόσο εντόπια παραγωγή όσο και εισαγωγές από άλλες χώρες. Επισημαίνεται ότι στις περιόδους όπου η παραγωγή σιτηρών δημητριακών στις χώρες της Ε.Ε. είναι κακή οι παραγωγοί βιοαιθανόλης στρέφονται στις εισαγωγές καλαμποκιού από άλλες χώρες.

Πίνακας 3.8: Κατανομή και εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων α' υλών για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. την περίοδο 2006-2012

(000 t)

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Σιτάρι | 1,358 | 1,360 | 1,782 | 2,736 | 4,111 | 4,368 | 4,195 |
| Καλαμπόκι | 377 | 506 | 1,278 | 2,414 | 2,589 | 3,073 | 4,215 |
| Κριθάρι | 1,204 | 1,002 | 577 | 661 | 658 | 875 | 387 |
| Σίκαλη | 1,019 | 664 | 773 | 959 | 1,138 | 685 | 453 |
| <i>Μερικό Σύνολο Σιτηρών Δημητριακών</i> | <i>3,958</i> | <i>3,532</i> | <i>4,410</i> | <i>6,770</i> | <i>8,496</i> | <i>9,001</i> | <i>9,250</i> |
| Σακχαρότευτλα | 2,928 | 5,280 | 10,198 | 9,209 | 9,915 | 8,927 | 9,206 |

Πηγή: (Smith et al., 2013)

Στην περίπτωση των α' υλών παραγωγής αιθανόλης είναι φανερό ότι αυτές απαρτίζονται αποκλειστικά και μόνο από βρώσιμα αγροτικά προϊόντα. Για το λόγο αυτό έχει αξία να ερευνηθεί η αναλογία των ποσοτήτων που χρησιμοποιούνται για παραγωγή αιθανόλης σε σχέση με τη συνολική αγροτική παραγωγή των αντίστοιχων προϊόντων στις χώρες της Ε.Ε. Οι ποσότητες αυτές παρατίθενται στον Πίνακα 3.9 Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.9, η ποσότητα δημητριακών που χρησιμοποιούνται για αιθανόλη στην Ε.Ε. αντιστοιχεί στο 3% περίπου της αντίστοιχης παραγωγής τους, ενώ για τα σακχαρότευτλα ο αντίστοιχος βαθμός χρήσης είναι περίπου 8-10%. Σε αδρές γραμμές και με δεδομένο ότι η κατά κεφαλή κατανάλωση δημητριακών στον κόσμο είναι 171 kg/έτος προκύπτει ότι οι ποσότητες δημητριακών που χρησιμοποιούνται για αιθανόλη θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες 50,000,000 ανθρώπων ("Food and Agricultural Organization of the UN Statistics," 2014). Σύμφωνα με την ίδια πηγή η παγκόσμια κατά κεφαλή κατανάλωση ζάχαρης είναι 25 kg/έτος και με δεδομένη μέση περιεκτικότητα των σακχαρότευτλων σε ζάχαρη 15% προκύπτει ότι οι ποσότητες σακχαρότευτλων που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ε.Ε. για την παραγωγή αιθανόλης θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες 54,000,000 ανθρώπων ετησίως.

Πίνακας 3.9: Σύγκριση αγροτικής παραγωγής προϊόντων και χρήσης τους για παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε.

| | Δημητριακά | | | Σακχαρότευτλα | | |
|------|----------------------|--------------------------------------|------|----------------------|--------------------------------------|-------|
| | Παραγωγή (*) (000 t) | Χρήση για παραγωγή αιθανόλης (000 t) | % | Παραγωγή (*) (000 t) | Χρήση για παραγωγή αιθανόλης (000 t) | % |
| 2006 | 245,191 | 3,958 | 1.6% | 109,480 | 2,928 | 2.7% |
| 2007 | 258,902 | 3,532 | 1.4% | 114,427 | 5,280 | 4.6% |
| 2008 | 314,227 | 4,410 | 1.4% | 102,470 | 10,198 | 10.0% |
| 2009 | 294,719 | 6,770 | 2.3% | 114,361 | 9,209 | 8.1% |
| 2010 | 277,247 | 8,496 | 3.1% | 103,916 | 9,915 | 9.5% |
| 2011 | 288,895 | 9,001 | 3.1% | 123,967 | 8,925 | 7.2% |
| 2012 | 278,580 | 9,250 | 3.3% | 113,910 | 9,206 | 8.1% |

Πηγή: (*):("European Commission, Eurostat, Statistics, Agriculture, Data," 2014)

Τέλος είναι άξια επισήμανσης η απουσία από τον Πίνακα 3.8 της χρήσης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας για την παραγωγή αιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε. κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Παρ' όλα αυτά μερικές επιδεικτικές μονάδες είναι ήδη σε λειτουργία σε χώρες της Ε.Ε., στις οποίες ελέγχονται και αξιολογούνται συγκεκριμένες τεχνολογίες παραγωγής με σκοπό την αριστοποίησή τους. Τέτοιες είναι η μονάδα της εταιρείας *Clarian* στο Αμβούργο της

Γερμανίας (“Clariant,” 2014) και η μονάδα της ερευνητικής κοινοπραξίας *BIOLYFE* (“Biolyfe Production Plant,” 2014) . Ως αποτέλεσμα της ερευνητικής προσπάθειας της κοινοπραξίας *BIOLYFE* ανακοινώθηκε από την κοινοπραξία εταιρειών *Beta Renewables* και *Novozymes* τον Οκτώβριο του 2013 η έναρξη λειτουργίας βιομηχανικής μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης δυναμικότητας 50,000,000 l στο *Crescentino* της Ιταλίας (“Biolyfe Production Plant,” 2014). Η μονάδα χρησιμοποιεί ως α΄ ύλη υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών και συγκεκριμένα άχυρο σιτηρών και ρυζιού ενώ ταυτόχρονα παράγει και ηλεκτρική ενέργεια 130 MW η οποία διανέμεται στο δίκτυο.

4.3. Η κατανάλωση βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ευρώπη

Η κατανάλωση *biodiesel* και η σύγκρισή της με την παραγωγή του στις χώρες της Ε.Ε. παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10. Η κατανάλωση του *biodiesel* το 2012 στην Ε.Ε. ήταν 12,330 εκατομμύρια λίτρα που ισοδυναμούν με 9.67 Mtoe. Η διαφορά μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης *biodiesel* είναι αρνητική και έχει παγιωθεί τα τελευταία χρόνια στο επίπεδο των 2,500 περίπου εκατομμυρίων λίτρων που ισοδυναμούν με 2 Mtoe. Εδώ θα πρέπει να υπενθυμιστεί ότι η Ε.Ε. είναι η μεγαλύτερη γεωγραφική και οικονομική ζώνη παραγωγής *biodiesel* στον πλανήτη.

Πίνακας 3.10: Σύγκριση της παραγωγής και κατανάλωσης του *Biodiesel* στις χώρες της Ε.Ε. (000,000 l)

| Έτος | Παραγωγή | Κατανάλωση | Διαφορά |
|------|----------|------------|---------|
| 2006 | 5,410 | 5,480 | -70 |
| 2007 | 6,670 | 7,730 | -1,060 |
| 2008 | 9,550 | 10,400 | -850 |
| 2009 | 9,860 | 12,270 | -2,410 |
| 2010 | 10,170 | 13,270 | -3,100 |
| 2011 | 10,920 | 13,920 | -3,000 |
| 2012 | 9,665 | 12,330 | -2,665 |

Πηγή: (Smith et al., 2013)

Αντίστοιχα η συσχέτιση κατανάλωσης και παραγωγής βιοαιθανόλης έχει όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.11. Η κατανάλωση βιοαιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε. το 2012 ήταν 5,663 εκατομμύρια λίτρα που ισοδυναμούν με 3.62 Mtoe. Η διαφορά μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ήταν αρνητική όλη την περίοδο από το 2007 έως το 2012 και έχει παγιωθεί τα τελευταία χρόνια στα 1,000 εκατομμύρια λίτρα περίπου που ισοδυναμούν με 0.638 Mtoe.

Πίνακας 3.11: Σύγκριση της παραγωγής και κατανάλωσης της βιοαιθανόλης στις χώρες της Ε.Ε.

(000,000 l)

| Έτος | Παραγωγή | Κατανάλωση | Διαφορά |
|------|----------|------------|---------|
| 2007 | 1,803 | 2,375 | -572 |

| | | | |
|------|-------|-------|--------|
| 2008 | 2,816 | 3,509 | -693 |
| 2009 | 3,553 | 4,603 | -1,050 |
| 2010 | 4,268 | 5,253 | -985 |
| 2011 | 4,392 | 5,506 | -1,114 |
| 2012 | 4,620 | 5,663 | -1,043 |

Πηγή: (Smith et al., 2013)

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας για τις μεταφορές (συμπεριλαμβανομένων όλων των τύπων μεταφορών, δηλαδή οδικών, σιδηροδρομικών, αεροπορικών, ναυσιπλοΐας εσωτερικών υδάτων και εξαιρουμένων των λοιπών ναυτιλιακών μεταφορών) των χωρών της Ε.Ε. παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.12. Η εν λόγω κατανάλωση από 351,556 Mtoe που ήταν το 2002 ακολούθησε μια ανοδική πορεία αυξανόμενη έως και κατά 10% το 2007 ενώ από το έτος αυτό άρχισε να μειώνεται και έπεσε στα 351,080 Mtoe το 2012. Η κατανάλωση βιοκαυσίμων μεταφοράς το 2012 αθροιζόταν στα 13.3 Mtoe περίπου (9.67 Mtoe για το *biodiesel* και 3.62 Mtoe για την βιοαιθανόλη) που αντιστοιχούν στο 3.8% της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων μεταφοράς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.12 για το έτος 2012.

Συγκριτικά αναφέρεται ότι με την έκδοση της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ η Ευρωπαϊκή Ένωση επαναβεβαίωσε τη δέσμευσή της για την ανάπτυξη ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε ολόκληρη την Κοινότητα μετά το 2010 και επικύρωσε υποχρεωτικό στόχο 20 % ως μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας της Κοινότητας και υποχρεωτικό ελάχιστο στόχο, τον οποίο πρέπει να επιτύχουν όλα τα κράτη μέλη, 10 % ως μερίδιο των βιοκαυσίμων στην κατανάλωση βενζίνης και *diesel* στις μεταφορές. Οι συγκεκριμένοι στόχοι έχουν ως αναφορά το έτος 2020.

Πίνακας 3.12: Εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στις μεταφορές της Ε.Ε.

(Μτοε)

| Έτος | Κατανάλωση |
|------|------------|
| 2002 | 351,556.2 |
| 2003 | 357,048.5 |
| 2004 | 366,495.5 |
| 2005 | 369,655.5 |
| 2006 | 377,147.5 |
| 2007 | 383,072.7 |
| 2008 | 378,498 |
| 2009 | 365,370.9 |
| 2010 | 363,792 |
| 2011 | 361,970.8 |
| 2012 | 351,080 |

Πηγή: ("European Commission, Eurostat, Statistics, Energy, Data," 2014)

4.4. Οικονομικές πλευρές της χρήσης βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και προκύπτει από τη σύγκριση της παραγωγής και κατανάλωσης *biodiesel* στον Πίνακα 3.9 η ζώνη της Ε.Ε. αν και είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός *biodiesel* παραμένει ελλειμματική στο σχετικό ισοζύγιο. Το έλλειμμα αυτό διαμορφώθηκε το 2012 στα 2,665,000 Ι.

Οι εισαγωγές *biodiesel* χρησιμοποιούνται για την κάλυψη του ελλείμματος. Στον Πίνακα 3.13 παρουσιάζεται η εξέλιξη των εισαγωγών την χρονική περίοδο 2006-2012.

Πίνακας 3.13: Εξέλιξη των εισαγωγών *biodiesel* στην Ε.Ε. (2007-2013)

(000,000 Ι)

| Έτος | Ποσότητα |
|------|----------|
| 2006 | 70 |
| 2007 | 1,060 |
| 2008 | 2,020 |
| 2009 | 2,190 |
| 2010 | 2,400 |
| 2011 | 3,050 |
| 2012 | 3,215 |

Πηγή: (Smith et al., 2013)

Οι συγκεκριμένες εισαγωγές προέρχονται κυρίως από χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Αργεντινή και η Ινδονησία. Κατά τα προηγούμενα έτη η Ε.Ε. προέβη στη λήψη μέτρων *anti dumping* ενάντια στις εισαγωγές από τις συγκεκριμένες χώρες.

Συγκεκριμένα, πρώτα ξεκίνησε με την επιβολή *countervailing* και *anti-dumping* φόρου στις εισαγωγές από συγκεκριμένους προμηθευτές των ΗΠΑ τον Μάιο του 2009 (*Regulation (EC) no. 599/2009*, 2009). Με τα μέτρα αυτά προσπάθησε να εμποδίσει την πρακτική που χρησιμοποιούσαν οι επιχειρήσεις των ΗΠΑ για την εξαγωγή *biodiesel* στην Ε.Ε. (γνωστή ως “*splash and dash*”). Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη περιγραφή της πρακτικής αυτής. Ειδικότερα, οι ΗΠΑ έχουν ορίσει συγκεκριμένη τιμή επιδότησης ανά μονάδα όγκου καθαρού *biodiesel* (περικεκτικότητας 100% που εν συντομία αναφέρεται ως B100) που αναμιγνύεται με οποιαδήποτε αναλογία με άλλο ορυκτό καύσιμο (*diesel*). Η συγκεκριμένη επιδότηση δίνεται στις επιχειρήσεις χωρίς ουσιαστικά να εξετάζεται εάν το *biodiesel* έχει παραχθεί ή όχι στις ΗΠΑ. Το γεγονός αυτό εκμεταλλεύονταν οι αμερικανικές επιχειρήσεις που ασχολούνται με την ανάμιξη και τη διάθεση του προϊόντος στην αγορά, οι οποίες εισήγαγαν *biodiesel* που δεν είχε παραχθεί στις ΗΠΑ (σε χαμηλή τιμή), το αναμίγνυαν με ελάχιστη ποσότητα συμβατικού

diesel (π.χ. 1%) εισέπρατταν για το λόγο αυτό την επιδότηση από την κυβέρνηση των ΗΠΑ και αμέσως εξήγαγαν το *biodiesel* στη ζώνη της Ε.Ε. Με την πρακτική αυτή οι συγκεκριμένες εταιρείες αποκόμιζαν επιπλέον όφελος ενώ οι αντίστοιχοι παραγωγοί στις χώρες της Ε.Ε. αντιμετώπιζαν αθέμιτο ανταγωνισμό. Η τιμή πώλησης του *biodiesel* από τις συγκεκριμένες επιχειρήσεις το έτος 2009 ήταν \$4/gal ενώ η επιδότηση που ελάμβαναν ήταν \$1/gal. Δηλαδή το επιπλέον οικονομικό όφελος ήταν της τάξης του 25% και έδινε τόσο μεγάλο κίνητρο που καταγράφηκε ακόμα και η πρακτική, Ευρωπαίοι παραγωγοί να εξάγουν το παραγόμενο από αυτούς *biodiesel* στις ΗΠΑ και να το επανεισάγουν αμέσως μετά την ανάμιξη του με ελάχιστη ποσότητα *diesel*.

Οι αντισταθμιστικοί (*countervailing*) φόροι που επέβαλε η Ε.Ε. σε συγκεκριμένους παραγωγούς *biodiesel* των ΗΠΑ με την προαναφερόμενη απόφαση της κυμαινόταν μεταξύ και \$211.2-\$237.0/t ενώ οι *anti-dumping* φόροι μεταξύ \$23.6-\$182.4/t.

Βέβαια, όπως αποδείχτηκε, αυτό το μέτρο που πήρε η Ε.Ε. έναντι των εταιρειών των ΗΠΑ δεν ήταν αρκετό αφού λίγα χρόνια αργότερα επανήλθε με άλλη οδηγία (*Regulation (EC) no. 490/2013*, 2013) επιβάλλοντας νέο *anti-dumping* φόρο στο *biodiesel* που εισάγεται από την Αργεντινή και την Ινδονησία. Ο λόγος για την λήψη του μέτρου αυτή τη φορά ήταν ο αθέμιτος ανταγωνισμός που υφίστανται οι ευρωπαϊοί παραγωγοί έναντι αυτών της Αργεντινής και Ινδονησίας. Οι τελευταίοι απολάμβαναν το πλεονέκτημα της μη καταβολής των υψηλών φόρων εξαγωγών των α' υλών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή *biodiesel* (σόγια και σογιέλαιο στην περίπτωση της Αργεντινής και φοινικέλαιο στην περίπτωση της Ινδονησίας) τους οποίους επωμίζονταν αναγκαστικά οι ευρωπαϊοί παραγωγοί που προμηθεύονται τις α' ύλες τους από αυτές τις χώρες. Σύμφωνα με την έρευνα που διεξήγαγε η Ε.Ε. τα αντίστοιχα *dumping margins* κυμαίνονταν για την μεν Αργεντινή μεταξύ 41.9% και 49.2% για τη δε Ινδονησία μεταξύ 8.8% και 23.3%. Έτσι οι *anti-dumping* φόροι που θέσπισε η Ε.Ε. για τις εισαγωγές *biodiesel* κυμαίνονται για μεν την Αργεντινή από \$75.97/t έως \$104.92/t για δε την Ινδονησία από \$24.95/t έως \$83.84/t.

Από τα προαναφερόμενα γίνεται αντιληπτό ότι στη διαμόρφωση της τελικής τιμής του *biodiesel* συνετέλεσαν ή/και συντελούν μεταξύ άλλων και οι κάτωθι δυο παράγοντες:

- ο αθέμιτος ανταγωνισμός που προέρχεται από διακίνηση *biodiesel* μεταξύ διαφόρων χωρών με στόχο την είσπραξη επιδοτήσεων, πριν την εισαγωγή του στις χώρες της Ε.Ε.,
- η θέσπιση υποχρεωτικού στόχου χρήσης του *biodiesel* στην εσωτερική αγορά της Ε.Ε. δεν μπορεί να καλυφθεί μόνο από εγχώριες α' ύλες με αποτέλεσμα οι παραγωγοί της Ε.Ε. να οδηγούνται στην αναζήτηση α' υλών σε τρίτες χώρες, γεγονός που ωθεί τις χώρες παραγωγούς των α' υλών να επιβάλλουν φόρους στις τιμές τους δημιουργώντας έτσι ακριβές προς εξαγωγή α' ύλες.

Με τη λήψη και αυτού του τελευταίου μέτρου φαίνεται ότι η κατάσταση όσον αφορά τις εισαγωγές διορθώθηκε αφού από το έτος 2012 οι ευρωπαίοι παραγωγοί *biodiesel* στράφηκαν στην εγχώρια αγορά α' υλών, μεταξύ άλλων και στο κραμβέλαιο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.7. Το γεγονός αυτό επιτείνει την ούτως ή άλλως αυξημένη τάση για την χρήση γης στις χώρες της Ε.Ε. για την καλλιέργεια ελαιοκράμβης προοριζομένης για παραγωγή *biodiesel*.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.7 η χρήση κραμβελαίου αντιστοιχεί στο 70% της παραγωγής *biodiesel* το έτος 2012 ενώ η χρήση του ηλιέλαιου στο 1.7% αυτής. Και οι δυο α' ύλες είναι δυνατόν να θεωρηθούν με αρκετό βαθμό ασφαλείας ως εντόπιες. Με βάση αυτή τη θεώρηση και τις αντίστοιχες τυπικές αποδόσεις παραγωγής *biodiesel* στην Ευρώπη που είναι 1.03 t *biodiesel*/ha καλλιεργούμενης ελαιοκράμβης και 0.8 t *biodiesel*/ha καλλιεργούμενου ηλίανθου ("Wikipedia, Table of biofuel crop yields," 2014) προκύπτει ότι η πιθανή δέσμευση γης για την παραγωγή *biodiesel* στην Ε.Ε. για το έτος 2012 έχει όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14: Πιθανή δέσμευση γης για την παραγωγή *biodiesel* στην Ε.Ε (2012)

| Α' Ύλη | Παραγωγή <i>biodiesel</i> (000 t) | Δέσμευση γης (ha) |
|-------------|--------------------------------------|----------------------|
| Ελαιοκράμβη | 6,685 | 6,685,000 |
| Ηλίανθος | 162 | 202,000 |
| Σύνολο | | 6,887,000 |

Αντίστοιχα στον Πίνακα 3.15 παρουσιάζονται τυπικές τιμές για τις αποδόσεις για την παραγωγή βιοαιθανόλης αναφορικά με την έκταση της καλλιέργειας από την οποία προέρχονται.

Πίνακας 3.15: Τυπικές τιμές ετήσιας απόδοσης της βιοαιθανόλης στην Ευρώπη σχετικά με την έκταση της καλλιέργειας από την οποία προέρχεται

| Καύσιμο | Βιομάζα / α' ύλη | Απόδοση (t /ha) |
|-------------|------------------|--------------------|
| Βιοαιθανόλη | Σιτάρι | 5.6 |
| | Κριθάρι | 4.3 |
| | Σίκαλη | 3.4 |
| | Σακχαρότευτλα | 12 |

Πηγή: ("Committee of Professional Agricultural Organisations/General Committee for Agricultural Cooperation in the European Union WebPage. Factsheets," 2010)

Έτσι με βάση τις παραπάνω τυπικές τιμές απόδοσης αλλά και τις ποσότητες των χρησιμοποιούμενων α' υλών για την παραγωγή βιοαιθανόλης του Πίνακα 3.8 προκύπτει η πιθανή κατάσταση της δέσμευσης γης για παραγωγή βιοαιθανόλης για το έτος 2012 που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.16.

Πίνακας 3.16: Πιθανή δέσμευση γης για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε (2012)

| Α' ύλη | Χρήση α' ύλης (000 t) | Δέσμευση γης (ha) |
|---------------|-----------------------|-------------------|
| Σιτάρι | 4,195 | 749,100 |
| Κριθάρι | 387 | 90,000 |
| Σίκαλη | 453 | 133,235 |
| Σακχαρότευτλα | 9,206 | 767,150 |
| Σύνολο | | 1,739,485 |

Έτσι προκύπτει προσεγγιστικά ότι το σύνολο της δεσμευμένης γης για καλλιέργεια α' υλών προοριζομένων για την παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ε.Ε. το έτος 2012 ήταν 8,600,00 ha. Η έκταση αυτή αντιστοιχεί στο 8.1% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης της Ε.Ε που για το 2012 σύμφωνα με την EUROSTAT ήταν 106,244,000 ha ("European Commission, Eurostat, Statistics," 2014).

4.5. Περιβαλλοντικές πλευρές της χρήσης βιοκαυσίμων μεταφοράς στην Ε.Ε.

Σύμφωνα με μια μελέτη στην οποία συγκεντρώθηκαν και εξετάστηκαν τα αποτελέσματα αρκετών σχετικών ερευνών (Frondel & Peters, 2007) η συνεισφορά των βιοκαυσίμων μεταφοράς στην μείωση των επιπτώσεων από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και γενικότερα των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή είναι αμφισβητούμενη. Σε κάποιες μάλιστα περιπτώσεις η χρήση των βιοκαυσίμων μεταφοράς μπορεί να οδηγήσει και σε αύξηση των εκπομπών των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εξαιτίας των κάτωθι λόγων:

- Η συλλογή και μεταφορά της απαιτούμενης βιομάζας για την παραγωγή των βιοκαυσίμων απαιτεί την χρήση συμβατικών καυσίμων μεταφοράς κατά τα στάδια αυτά. Στην πραγματικότητα στην Ευρώπη η βιομάζα αυτή παράγεται σε τόπους μακριά από τις εγκαταστάσεις παραγωγής των βιοκαυσίμων, δημιουργώντας έτσι την ανάγκη δημιουργίας σύνθετων και δαπανηρών συστημάτων εφοδιασμού. Πιο συγκεκριμένα, αν και μονάδες παραγωγής *biodiesel* ευρίσκονται σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες, η ελαιοκράμβη καλλιεργείται αποκλειστικά στις χώρες της βόρειας Ευρώπης ενώ και το σογιέλαιο και το φοινικέλαιο εισάγονται από χώρες εκτός Ε.Ε. (Αργεντινή, Ινδονησία, Μαλαισία κλπ). Αυτές οι α' ύλες μεταφέρονται με φορτηγά, τρένα ή/και πλοία σε κάθε πιθανό προορισμό από κάθε σημείο συλλογής τους. Αρκετές φορές αποθηκεύονται σε ενδιάμεσους σταθμούς και επαναφορτώνονται προς τους τελικούς προορισμούς τους. Με αυτό τον τρόπο οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη μεταφορά των α' υλών αυξάνονται ευθέως αναλόγως με την απόσταση μεταφοράς. Για παράδειγμα, η μεταφορά συγκεκριμένης ποσότητας σογιέλαιου από την Πολωνία προς την Γερμανία επιβαρύνει με λιγότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου από τη μεταφορά ίδιας ποσότητας από την Πολωνία στην Ιταλία ή στην Ελλάδα και με ακόμα λιγότερες σε σχέση με την μεταφορά της από χώρα εκτός Ευρώπης, π.χ. από τις Η.Π.Α. Η εκτεταμένη χρήση του συστήματος «*splash and dash*» όπως αυτή περιγράφηκε στην § 3.4 επιτείνει την τάση αυξημένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην εφοδιαστική αλυσίδα των συστημάτων παραγωγής *biodiesel*.
- Η αποδάσωση της γης με σκοπό την χρήση της για την καλλιέργεια βιομάζας ως α' ύλης για βιοκαύσιμα οδηγεί στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω της εκπομπής των ποσοτήτων C που είναι δεσμευμένος στη δασική ξυλεία όσο και των ποσοτήτων C που είναι δεσμευμένες στο έδαφος της αποδασωμένης γης. Η απαίτηση για όλο και περισσότερες ποσότητες βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων οδηγεί στην αύξηση του ρυθμού αποδάσωσης παγκοσμίως. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση των φοινικοδασών στις χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας όπου κατά τη χρονική περίοδο 1990-2008 οι εκτάσεις που προορίζονται για καλλιέργεια φοινίκων αυξήθηκαν κατά 43% περίπου προερχόμενες μάλιστα από την καταστροφή δασών.

Σύμφωνα με κάποιες επαγγελματικές ενώσεις παραγωγών *biodiesel* η χρήση (κατανάλωση σε μηχανή εσωτερικής καύσης) 1kg *biodiesel* οδηγεί στη μείωση κατά 3 kg ή κατά 65-90% των εκπομπών CO₂ σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα μεταφοράς ("European Biodiesel Board

Statistics,” 2014). Η τιμή αυτή όμως βρίσκει αντιρρήσεις από αρκετούς άλλους ερευνητές. Μερικά ενδεικτικά αποτελέσματα ερευνών σχετικά με την εξοικονόμηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συστημάτων παραγωγής *biodiesel* και βιοαιθανόλης παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.17 και 3.18, αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι οι τιμές του Πίνακα 3.17 αφορούν όλο το σύστημα παραγωγής *biodiesel* ενώ οι τιμές του πίνακα 3.18 αφορούν μόνο τα υποσυστήματα καλλιέργειας της απαιτούμενης βιομάζας για την παραγωγή της βιοαιθανόλης.

Πίνακας 3.17: Εξοικονόμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από την χρήση *biodiesel* (παραγόμενου από σογιέλαιο)

| Ερευνητής, Έτος | Εκπομπές (kg αερίων θερμοκηπίου/l <i>biodiesel</i>) | Benchmarking (*) (kg αερίων θερμοκηπίου/l συμβατικού <i>diesel</i> ισοδύναμου ενεργειακά με 1 l <i>biodiesel</i>) | Εξοικονόμηση (kg αερίων θερμοκηπίου/l <i>biodiesel</i>) | % εξοικονόμηση |
|------------------------|--|--|--|----------------|
| <i>Levington, 2000</i> | 1.20 | 3 | 1.8 | 60 |
| <i>ADEME, 2002</i> | 0.65 | | 2.3 | 78 |
| <i>El Sayed, 2003</i> | 1.30 | | 1.7 | 57 |
| <i>JRC, 2003</i> | 1.75 | | 1.3 | 41 |
| <i>DEFRA, 2003</i> | 1.10 | | 1.9 | 63 |

Πηγή: (Frondel & Peters, 2007)

(*): Για ενεργειακό περιεχόμενο *biodiesel* 32.8MJ/l και συντελεστή εκπομπών 0.091 kg αερίων/MJ

Πίνακας 3.18: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την καλλιέργεια διάφορων α' υλών προοριζομένων για την παραγωγή βιοαιθανόλης

| Α' ύλη | Χώρα | Εξοικονόμηση στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (kg CO ₂ /ha yr) |
|-----------------------------------|-----------------|--|
| Υπολείμματα Σακχαροκάλαμου/σόργου | Ινδία | 2,500 |
| Άχυρο σιταριού | Μεγάλη Βρετανία | 3,000 |
| Καλαμποκοστελέχη | ΗΠΑ | 4,000 |

| | | |
|---------------|--------------------|--------|
| Μελάσα | Νότια Αφρική | 300 |
| Μελάσα | Ινδία | 2,500 |
| Καλαμπόκι | ΗΠΑ | 4,200 |
| Σακχαρότευτλα | Μεγάλη Βρετανία | 10,500 |
| Σακχαροκάλαμο | Βραζιλία | 28,000 |

Πηγή: (von Blottnitz & Curran, 2007)

Όπως διαπιστώνεται από τους Πίνακες 3.17 και 3.18 το εύρος των καταγεγραφομένων σε αυτούς τιμές είναι τεράστιο και εν γένει εξαρτάται από τον τύπο της βιομάζας και την χώρα παραγωγής ή ακόμα και τον ερευνητή, τη μέθοδο και τις υποθέσεις προσδιορισμού.

Παρατηρείται επίσης ακόμα και σημαντική απόκλιση των τιμών για βιοκαύσιμο παραγόμενο από την ίδια α' ύλη (π.χ. διαφορετικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για την παραγωγή biodiesel από σογιέλαιο) που μπορεί εν μέρει να αποδοθεί στους παρακάτω λόγους:

- στα διαφορετικά όρια που εξετάζονται σε κάθε σύστημα (π.χ. κάποιοι ερευνητές περιλαμβάνουν τη διανομή του τελικού προϊόντος στα όρια του συστήματος ενώ άλλοι όχι κλπ),
- στις διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ίδιου τύπου βιομάζας (αλλού η καλλιέργεια είναι πλήρως εκμηχανισμένη, αλλού όχι),
- στις διαφορετικές τεχνολογίες και μεθόδους παραγωγής του ίδιου βιοκαυσίμου,
- στις κατά τόπους καλλιέργειας διαφορετικές επικρατούσες κλιματικές συνθήκες,
- σε άμεσες ή έμμεσες αλλαγές στις χρήσεις γης (π.χ. συγκεκριμένα συστήματα παραγωγής αναφέρονται σε μονοκαλλιέργειες της βιομάζας α' ύλης ενώ άλλα σε εναλλασσόμενες καλλιέργειες ή και εναλλαγή με αγρανάπαιυση κλπ).

Σχετικά με τον τελευταίο λόγο μια μελέτη συμπέρανε ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την καλλιέργεια βιομάζας για παραγωγή βιοκαυσίμων είναι πολύ ευαίσθητες σε αλλαγές που σχετίζονται με τις χρήσεις γης (έμμεσες αλλαγές) (Kim & Dale, 2005). Στη συγκεκριμένη μελέτη οι ερευνητές συνέκριναν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για την περίπτωση καλλιέργειας σιταριού σε τρεις διαφορετικούς τύπους εδαφών. Τα αποτελέσματα της μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.19. Από τον πίνακα προκύπτει ότι τα αέρια θερμοκηπίου που εκπέμπονται από την καλλιέργεια σιταριού σε τυρφώδες έδαφος που πριν ήταν χορτολιβαδική έκταση είναι δεκαπλάσιες περίπου από τις εκπομπές αντίστοιχης καλλιέργειας σε «σύνηθες» έδαφος.

Η χρήση γης παρ' όλα αυτά δεν χρησιμοποιείται συχνά ως ξεχωριστή κατηγορία επιπτώσεων στην Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής των βιοκαυσίμων. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα αυτών των μελετών και σχετίζεται με την αρτιότητά τους αφού η χρήση γης είναι αναπόσπαστα δεμένη με την παραγωγή των βιοκαυσίμων και μάλιστα αποτελεί και σημαντικό κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας τους. Στον Πίνακα 3.20 παρουσιάζονται

διάφορες μελέτες Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής για την παραγωγή βιοκαυσίμων τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια και οι κατηγορίες επιπτώσεων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές. Όπως προκύπτει από τον πίνακα η κατηγορία χρήσης γης δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε καμιά από αυτές.

Η Ε.Ε. λαμβάνοντας υπ' όψιν της τον προβληματισμό σχετικά με τις έμμεσες ή άμεσες επιπτώσεις από αλλαγές στην χρήση γης έθεσε με την 2009/30/Ε.Ε. οδηγία της συγκεκριμένα κριτήρια αειφορίας για τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ζώνη της (*Directive 09/30/EC, 2009*). Με τα συγκεκριμένα κριτήρια απαιτείται:

- i. η μείωση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου που επιτυγχάνεται με την χρήση των βιοκαυσίμων να είναι τουλάχιστον 35%,
- ii. τα βιοκαύσιμα δεν πρέπει να έχουν παραχθεί από πρώτες ύλες προερχόμενες από εδάφη με υψηλή αξία βιοποικιλότητας δηλαδή από πρωτογενή δάση και άλλες δασωμένες εκτάσεις, από ζώνες που έχουν κηρυχθεί προστατευόμενες ή από λειμώνες υψηλής βιοποικιλότητας,
- iii. τα βιοκαύσιμα δεν πρέπει να έχουν παραχθεί από πρώτες ύλες προερχόμενες από εδάφη υψηλών αποθεμάτων άνθρακα, δηλαδή από υγροβιότοπους, συνεχώς δασωμένες περιοχές (εκτάσεις με επιφάνεια μεγαλύτερη από 1 ha) ή γη έκτασης άνω του 1 ha με δέντρα ύψους άνω των 5 μέτρων,
- iv. τα βιοκαύσιμα δεν πρέπει να έχουν παραχθεί από πρώτες ύλες προερχόμενες από εδάφη που τον Ιανουάριο του 2008 ήταν τυρφώνες,
- v. οι γεωργικές πρώτες ύλες που καλλιεργούνται στην Κοινότητα και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τα πρότυπα που προβλέπονται στην Οδηγία 2009/73 όσον αφορά το περιβάλλον (διατήρηση άγριων πτηνών, προστασία υπόγειων υδάτων, προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία, προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης και διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας).

Η ανωτέρω οδηγία αφορά τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ζώνη της Ε.Ε. ανεξάρτητα από το πού έχουν παραχθεί (εντός ή εκτός Ε.Ε). Στην ίδια οδηγία η Ε.Ε. θεσπίζει και μέτρα για την επαλήθευση των κριτηρίων αειφορίας των βιοκαυσίμων. Ενδιαφέρον βέβαια έχει το γεγονός ότι τα μέτρα αφορούν έλεγχο οικονομικών μονάδων που δεν βρίσκονται στην εδαφική κυριαρχία της Ε.Ε. και ο τρόπος υλοποίησης των θεσπισθέντων ελέγχων σε αυτές.

Πίνακας 3.19: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου καλλιέργειας σιταριού σε διαφορετικούς τύπους εδαφών

kg ισοδυνάμου CO₂- /GJ συγκομισμένου σπόρου

| Καλλιέργεια | CO ₂ από ορυκτά καύσιμα | N ₂ O (προερχόμενο από το έδαφος) | N ₂ O (προερχόμενο από βιομηχανία αζωτούχων λιπασμάτων) | Σύνολο | CO ₂ προερχόμενο από την χρήση γης | Σύνολο Εκπομπών |
|---|------------------------------------|--|--|--------|---|-----------------|
| Καλλιέργεια σε «σύνηθες» έδαφος | 10 | 9.2 | 5.7 | 25 | 0 | 25 |
| Καλλιέργεια σε χορτολιβαδικό έδαφος πλούσιο σε μεταλλικά στοιχεία | n.a. | n.a. | n.a. | 25 | 11 | 36 |
| Καλλιέργεια σε τυρφώδες χορτολιβαδικό έδαφος | n.a. | n.a. | n.a. | 25 | 210 | 235 |

Πηγή: (Börjesson, 2009)

n.a.: Μη διαθέσιμα στοιχεία

Πίνακας 3.20: Συνήθεις εξεταζόμενες κατηγορίες επιπτώσεων σε μελέτες εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής βιοκαυσίμων

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ | Kaltshmit 1997, αιθανόλη, σακχαρότευτλα, πατάτες, σιτάρι Γερμανία (*) | Purpan 2001, αιθανόλη, σακχαρότευτλα, πατάτες, σιτάρι Γερμανία (*) | Reinhardt 2002, αιθανόλη, σακχαρότευτλα, πατάτες, σιτάρι Ευρώπη (*) | Hu 2004, αιθανόλη, Κασάβα/Γιούκα (Cassava), Κίνα (*) | Kadam 2002, αιθανόλη, Υπολείμματα σόργων, Ινδία (*) | Sheehan 2004, αιθανόλη, Καλαμποκοστελέχη, ΗΠΑ (*) | Tan and Culuba 2002, αιθανόλη, γεωργικά λιγνοκυτ. υπολείμματα, Φιλιππίνες (*) | Reinhardt and Jungk, 2001, biodiesel, ελαιοκράμβη, Ευρώπη (**) | Kim and Dale, 2005, αιθανόλη & biodiesel, καλαμπόκι, σόγια, ΗΠΑ (**) | Barnabé et al. 2013 Biodiesel, Σπόροι καπνού, Ιταλία (**) |
|--------------------------|---|--|---|--|---|---|---|--|--|---|
| Εξάντληση Πόρων | x | x | X | x | x | x | x | x | x | x |
| Παγκόσμια Θέρμανση | x | x | X | | x | x | x | x | x | x |
| Εκπομπές CO ₂ | | | X | x | | | | x | x | |
| Οξίνιση (| x | x | X | | x | X | x | x | x | x |
| Εκπομπές SO _x | x | | X | | | | | | x | |
| Εκπομπές NO _x | x | | X | x | | | | x | | |
| Ευτροφισμός | | | X | | x | | x | | x | x |
| Ανθρώπινη Τοξικότητα | | x | | | x | | x | x | | |
| Εκπομπές CO | | | X | x | | | | | | |
| Εκπομπές PM | | | X | x | | | | | | |
| Οικοτοξικότητα | | x | | | | | | | | |
| Φωτοχημικό νέφος | | | X | | | x | x | | | x |

| | | | | | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|--|
| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ | Kaltshmit 1997, αιθανόλη, σακχαρότευτλα, πατάτες, σιτάρι Γερμανία (*) | Ruppan 2001, αιθανόλη, σακχαρότευτλα, πατάτες, σιτάρι Γερμανία (*) | Reinhardt 2002, αιθανόλη, σακχαρότευτλα, πατάτες, σιτάρι Ευρώπη (*) | Hu 2004, αιθανόλη, Κασάβα/Γιούκα (Cassava), Κίνα (*) | Kadam 2002, αιθανόλη, Υπολείμματα σόργων, Ινδία (*) | Sheehan 2004, αιθανόλη, Καλαμποκοστελέχη, ΗΠΑ (*) | Tan and Culuba 2002, αιθανόλη, γεωργικά λιγνοκυτ. υπολείμματα, Φιλιππίνες (*) | Reinhardt and Jungk, 2001, biodiesel, ελαιοκράμβη, Ευρώπη (**) | Kim and Dale, 2005, αιθανόλη & biodiesel, καλαμπόκι, σόγια, ΗΠΑ (**) | Barnabè et al. 2013 Biodiesel, Σπόροι καπνού, Ιταλία (**) |
| Εκπομπές HC | | | X | x | | | | | | |
| Στερεά υπολείμματα | | | | | x | | | | | |
| Χρήσεις Γης | | | | | | | | | | |
| Χρήση Νερού | | | | | | | | | | |
| Εξάντληση στρατοσφαιρικού όζοντος | x | x | | | | x | | x | | x |
| Οσμές | | | | | x | | | | | |

Πηγές: (*) (von Blottnitz & Curran, 2007), (**) (Kim & Dale, 2005), (***) (Barnabè et al., 2013)

Παράλληλα η Ε.Ε., σε μια προσπάθεια να δώσει κατευθυντήριες οδηγίες σχετικά με τη μεθοδολογία εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων μεταξύ άλλων και όσον αφορά τις χρήσεις γης, ταυτοποίησε τις μεθόδους που αποδίδονται στον Πίνακα 3.21 με τα χαρακτηριστικά τους. Παρ' όλα αυτά ο συγκεκριμένος οδηγός δεν καταλήγει σε πρόταση ή υιοθέτηση συγκεκριμένης μεθόδου γιατί, όπως εξηγείται, όλες οι μέθοδοι δεν μπορούν να θεωρηθούν αρκούντως ώριμες.

Πίνακας 3.21: Μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής επιπτώσεων για την κατηγορία χρήση γης

| Μέθοδος ενδιάμεσου σημείου (midpoint method) | Μοντέλο | Αναφορές |
|---|--|-------------------------------------|
| ReCiPe | Μη συγκεκριμένο μοντέλο | De Schryver and Goedkoop (2009) |
| Milàì Canals | Μοντέλο βασισμένο στην ποιότητα της οργανικής ουσία των εδαφών | Milàì Canals(2007) |
| Baitz | Μοντέλο βασισμένο σε επτά δείκτες | Baitz (2002); Bos, Wittstock (2008) |
| Μέθοδος τελικού σημείου (endpoint method) | Μοντέλο | Αναφορές |
| EPS 2000 | Μοντέλο βασισμένο στην απώλεια της βιοποικιλότητας των ειδών και παραγωγής ξυλείας | Jarvinen and Miettinen (1987) |
| Ecoindicator 99 | Μοντέλο βασισμένο στην απώλεια της βιοποικιλότητας των ειδών | Koller (2000) |
| ReCiPe | Μοντέλο βασισμένο στην απώλεια της βιοποικιλότητας των ειδών | De Schryver, Goedkoop (2009) |
| LIME | Μοντέλο βασισμένο στην απώλεια της βιοποικιλότητας των ειδών και παραγωγής ξυλείας | Itsubo et al. (2008) |

| | | |
|-------------------|--|--------------------------|
| Swiss Ecoscarcity | Μοντέλο βασισμένο στην απώλεια της βιοποικιλότητας των ειδών | Koller and Scholz (2008) |
|-------------------|--|--------------------------|

Πηγή: (European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2011)

Η μη ωριμότητα των μεθόδων του Πίνακα 3.21 αλλά και εν γένει όλων των μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων που σχετίζονται με την κατηγορία «χρήση γης» εστιάζεται στο ότι κάποιες από αυτές παρουσιάζουν μεθοδολογικά προβλήματα ενώ κάποιες άλλες δεν έχουν αναπτυχθεί περισσότερο. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Επιστημών του Πανεπιστημίου *Leiden* της Ολλανδίας τα κυριότερα προβλήματα των μεθόδων αυτών σχετίζονται με τους κάτωθι παράγοντες (Oers, Koning, & Tamis, 2006).

- Ορισμός των ορίων του συστήματος. Η ποιότητα του εδάφους μπορεί να κριθεί μέσω εγγενών παραμέτρων (περιβαλλοντικών, οικολογικών) αλλά και λειτουργικών παραμέτρων, π.χ. οικονομικών. Αλλαγές στην ποιότητα του εδάφους έχουν τις συνέπειες τους και στις οικονομικές αυτές παραμέτρους και θα πρέπει ιδανικά να ενσωματώνονται στην οικονομική ανάλυση. Αυτό σημαίνει για την εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής ότι οι αλλαγές στην ποιότητα του εδάφους που επιδρούν στην παραγωγικότητά του (γονιμότητα του εδάφους) δεν θα πρέπει να εκτιμηθούν ξεχωριστά στις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων γιατί η απόδοση της καλλιέργειας έχει ήδη ληφθεί υπ' όψιν ως οικονομική παράμετρος. Δηλαδή, χρειάζεται μεγάλη προσοχή ώστε οι παράμετροι που σχετίζονται με την ποιότητα εδάφους να μην εκτιμώνται και στις περιβαλλοντικές και στις οικονομικές κατηγορίες επιπτώσεων.
- Δεδομένα. Τα κάτωθι δεδομένα σχετιζόμενα με τη χρήση γης πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την ανάλυση:
 - τύπος εδάφους (π.χ. δάσος, καλλιέργεια, χορτολιβαδική έκταση κλπ)
 - εργασίες διαχείρισης (π.χ. τύπος και ποσότητα χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων κλπ)
 - επιφάνεια και τοποθεσία εδάφους
 - διάρκεια της χρήσης γης.
- Οι επιπτώσεις της χρήσης γης σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες επιπτώσεων. Συχνά οι επιπτώσεις από την χρήση γης εκφράζονται χρησιμοποιώντας δείκτες για την βιοποικιλότητα και την ποιότητα του εδάφους. Όμως, τυπικές κατηγορίες επιπτώσεων όπως ο ευτροφισμός, η οξίνιση και η οικοτοξικότητα σχετίζονται με αυτούς τους δείκτες (ενδιάμεσους ή τελικούς). Έτσι οι επιπτώσεις αρκετών από τις εργασίες διαχείρισης της γης, όπως η λίπανση, η εφαρμογή οργανικής ουσίας, ανθρακικού ασβεστίου και εντομοκτόνων, λαμβάνονται υπ' όψιν σε περισσότερες της μιας κατηγορίες επιπτώσεων κατά την περιβαλλοντική αξιολόγηση. Ο μετασχηματισμός των διαφόρων επί μέρους δεικτών σε ενοποιημένους τελικούς

αποτελεί ανάγκη ώστε να αποτρέπεται ο επανυπολογισμός των δεικτών σε διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων.

- Κανονικοποίηση. Οι περισσότερες από τις μεθόδους εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής δεν δίνουν δεδομένα σχετικά με την κανονικοποίηση. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί η διαφορά μεταξύ των προτύπων της κανονικοποίησης (*normalization*) και του χαρακτηρισμού (*characterization*). Στην κανονικοποίηση η πρότυπη κατάσταση αναφέρεται στην χρήση γης στην περιοχή και στο έτος αναφοράς, ενώ στον χαρακτηρισμό η πρότυπη κατάσταση αναφέρεται στις περισσότερες περιπτώσεις στην (παρελθούσα ή μελλοντική) καλύτερη κατάσταση της βλάστησης στη συγκεκριμένη περιοχή.

Παρ' όλα αυτά η Ε.Ε. στο σχετικό οδηγό συστάσεων για την Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (ΕΕΚΖ) δίνει τις προτεινόμενες μεθόδους και τα χαρακτηριστικά τους για καθεμιά από τις κατηγορίες. Αυτές παρατίθενται στον Πίνακα 3.22.

Πίνακας 3.22. Προτεινόμενες μέθοδοι τελικού σημείου

| | Συστάσεις για μεθόδους τελικού σημείου | | |
|---|--|---------|-----------------------|
| Κατηγορία Επιπτώσεων | Συνιστώμενη Μέθοδος ΕΕΚΖ | Δείκτης | Κατηγορία σύστασης |
| Κλιματική αλλαγή | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή (*) |
| Εξάντληση όζοντος | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Ανθρώπινη τοξικότητα | Μέθοδος υπολογισμών DALY (Huijbregts et al., 2005a) | DALY | II (**)/ Προσωρινή |
| Ανθρώπινη τοξικότητα (χωρίς φαινόμενα καρκινογένεσης) | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Αιωρούμενα σωματίδια (αναπνευστικά/ανόργανα) | Μέθοδος υπολογισμών DALY (van Zelm et al., 2008, Pope et al, 2002) | DALY | I(***)/II |
| Ιονίζουσα ακτινοβολία (επίδραση στην ανθρώπινη υγεία) | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |

| | | | |
|--|--|--|-----------|
| Ιονίζουσα ακτινοβολία (επίδραση στα οικοσυστήματα) | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Φωτοχημικό όζον | Μέθοδος υπολογισμών DALY (Pope et al., 2002) | | II |
| Οξίνιση | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Ευτροφισμός | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Τοξικότητα οικοσυστημάτων (γλυκά και αλμυρά νερά, γη) | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Χρήση γης | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Εξάντληση πόρων/νερό | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |
| Εξάντληση πόρων, μέταλλα, ορυκτά καύσιμα και ανανεώσιμοι πόροι | Δεν προτείνεται μέθοδος | | Προσωρινή |

(*) Προσωρινή: υπάρχει κάποια μέθοδος καλύτερη ανάμεσα σε όλες τις εξεταζόμενες για τη συγκεκριμένη κατηγορία, αλλά ανώριμη για να τύχει σύστασης από την Ε.Ε.,

(**) II: Συνιστώμενη αλλά χρήζει βελτιώσεων,

(***) I: Συνιστώμενη και ικανοποιητική

Πηγή: (European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2011)

4.6. Συμπεράσματα

Τα κάτωθι συμπεράσματα συνοψίζουν και συμπληρώνουν την ανάλυση που προηγήθηκε στο παρόν κεφάλαιο της διατριβής.

- ί. Η ήδη σήμερα εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής βιοκαυσίμων στην Ευρώπη είναι μεγάλη και αρκετή για να ικανοποιήσει την κάλυψη κατά το έτος 2020 του στόχου του 10% της συνολικής κατανάλωσης των καυσίμων μεταφοράς να είναι βιοκαύσιμα. Συγκεκριμένα η εγκατεστημένη σήμερα δυναμικότητα στις χώρες της Ε.Ε. αντιστοιχεί σε 30.116 Mtoe ενώ για το έτος 2020 η κατανάλωση καυσίμων για τις οδικές μεταφορές προβλέπεται να είναι 281 Mtoe. Για την κάλυψη των αναγκών σε α' ύλες αυτής της δυναμικότητας θα χρειαστεί να δεσμευτεί μεγάλο μέρος από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις των χωρών της Ε.Ε. αφού, για τη παραγωγή βιοκαυσίμων το 2012 που αντιστοιχεί σε 13.458 Mtoe και στο 45% περίπου της εγκατεστημένης δυναμικότητας, δεσμεύεται περίπου το 8% της καλλιεργήσιμης γης των. Βεβαίως πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι η παραγωγή βιοαιθανόλης από γεωργικά/δασικά υπολείμματα δεν έχει ξεκινήσει στην Ευρώπη. Σύμφωνα με κάποιες πηγές το δυναμικό αυτών των υπολειμμάτων υπολογίζεται για το 2020 σε 206 Mt που αντιστοιχεί σε 45.8 Mtoe (Fischer et al., 2010). Το δυναμικό αυτό θα μπορούσε να ανακουφίσει αρκετά την πίεση από την τάση για χρήση όλο και περισσότερης γης για καλλιέργεια α' υλών για παραγωγή βιοκαυσίμων.
- ίι. Όσον αφορά την περιβαλλοντική πλευρά της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου από την χρήση μόνο (κατανάλωση) των καυσίμων μεταφοράς, αυτή έχει όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.23. Συγκεκριμένα οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 71.7% του συνόλου των εκπομπών από τον τομέα των μεταφορών στην Ε.Ε. το έτος 2009 με τη ναυσιπλοΐα και τη γενική αεροπορία να ακολουθούν με 14.5% και 12.3%, αντίστοιχα. Τα στοιχεία για το έτος 2006 που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.23 ελάχιστα διαφοροποιούν την εικόνα όσον αφορά τη συμμετοχή κάθε κλάδου. Όπως προκύπτει από τον πίνακα, υπάρχει μια τάση μείωσης τόσο των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών όσο και κατά κλάδο.

Πίνακας 3.23: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου του τομέα των μεταφορών στην Ε.Ε.-27 (2006 & 2009)

| | Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου | | | |
|---------------------|--|------|--|------|
| | 2006 | | 2009 | |
| | Ποσότητα (t ισοδυνάμου CO ₂) | % | Ποσότητα (t ισοδυνάμου CO ₂) | % |
| Οδικές Μεταφορές | 902.0 | 71.0 | 878.4 | 71.7 |

| | | | | |
|---------------------|-------|------|-------|------|
| Ναυσιπλοΐα | 194.6 | 15.3 | 178.4 | 14.5 |
| Γενική Αεροπορία | 155.4 | 12.2 | 150.8 | 12.3 |
| Σιδηρόδρομοι | 7.8 | 0.6 | 7.5 | 0.7 |
| Άλλα | 10.1 | 0.8 | 9.5 | 0.8 |
| Σύνολο Μεταφορών | 0 | 100 | 100 | 100 |

Πηγή: (EU transport in figures Statistical Pocketbook, 2012)

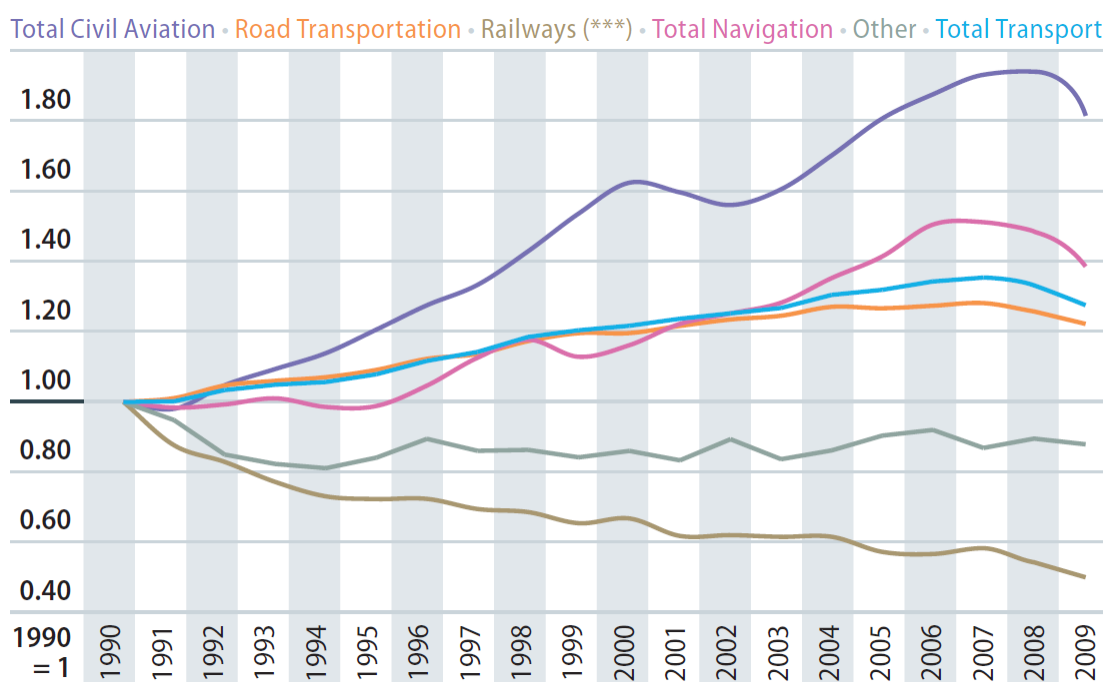
Η τάση της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου είναι φανερή μετά το έτος 2007, όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα 3.1, και μπορεί να αποδοθεί σε συνδυασμό των κάτωθι λόγων:

- μείωση της κατανάλωσης καυσίμων εξαιτίας της οικονομικής κρίσης
- χρήση αποδοτικότερων μηχανών εσωτερικής καύσης καθώς και υβριδικών μηχανών
- χρήση βιοκαυσίμων.

Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη τόσο των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από το 1990 στην Ε.Ε. όσο και κατά κλάδο. Οι εκπομπές από τις οδικές μεταφορές παρουσιάζονται αυξημένες κατά περίπου 20% από το 1990, ενώ οι αεροπορικές έχουν αυξηθεί περισσότερο από 80%. Οι μέχρι τώρα προσπάθειες στην Ε.Ε. στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών των οδικών μεταφορών μέσω της χρήσης βιοκαυσίμων. Είναι φανερό όμως ότι μια επέκταση της χρήσης βιοκαυσίμων στις αεροπορικές ή/και ναυτιλιακές μεταφορές θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των συνολικών εκπομπών.

Διάγραμμα 3.1: Εξέλιξη των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ε.Ε. κατά το χρονικό διάστημα 1990-2009

(έτος βάσης 1990)



Πηγή: (EU transport in figures Statistical Pocketbook, 2012)

- iii. Η εισαγωγή βιοκαυσίμων μεταφοράς(κυρίως *biodiesel* ή/και α' υλών για την παραγωγή του) στην Ε.Ε. επιφέρει:
- Αθέμιτο ανταγωνισμό στους ευρωπαίους παραγωγούς *biodiesel*. Οι «νομοί της αγοράς» κυριαρχούν επί των κανονισμών και των συμφωνιών και προκαλούν σοβαρά οικονομικά προβλήματα λόγω ανταγωνισμού (εξαιρετικά μειωμένο κόστος μέσω πολύπλοκου μηχανισμού εισαγωγών, επανεξαγωγών και είσπραξης επιδοτήσεων). Οι συνέπειες και στους ευρωπαίους καλλιεργητές βιομάζας είναι επακόλουθες.
 - Αυξημένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Ειδικότερα μέσω του προαναφερόμενου συστήματος εισαγωγών/επανεξαγωγών (όπως το σύστημα «*splash and dash*») οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με τη μεταφορά των βιοκαυσίμων ή των α' υλών τους ανά την υφήλιο μπορούν να θεωρηθούν τουλάχιστον διπλάσιες από τις εκπομπές κανονικής μεταφοράς τους.
 - «Εξαγωγή» προς τις χώρες προέλευσης των βιοκαυσίμων ή των α' υλών για την παραγωγή τους κάποιων αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε συγκεκριμένες κατηγορίες, όπως της χρήσης γης και οικοτοξικότητας. Για παράδειγμα, εάν μια ευρωπαϊκή χώρα εισάγει φοινικέλαιο με σκοπό την παραγωγή *biodiesel*, επωφελείται μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ενώ ταυτόχρονα «εξάγει» αποδάσωση και εντατικές καλλιεργητικές τεχνικές (τεχνικές

λίπανσης, εντομοκτονίας κλπ) στην χώρα προέλευσης του φοινικέλαιου. Από την άλλη πλευρά μια άλλη μελέτη συμπεραίνει ότι το *biodiesel* που παράγεται από εισαγόμενο (από την Ταϊλάνδη) φοινικέλαιο σε χώρα της Ε.Ε. (Ιρλανδία) διαθέτει υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα καλλιεργούμενης γης σε σχέση με αυτό που παράγεται από ντόπια ελαιοκράμβη (Thamsiriroj & Murphy, 2009). Οι μελετητές αποδίδουν το γεγονός αυτό κυρίως στην χρήση των (ουδέτερων ως προς τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου) υπολειμμάτων του φοίνικα για την κάλυψη των ενεργειακών (θερμικών και ηλεκτρικών) αναγκών της μονάδας παραγωγής του φοινικέλαιου σε αντίθεση με την μονάδα παραγωγής του *biodiesel* από ελαιοκράμβη που απλά χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου της Ιρλανδίας (στο μίγμα του οποίου προφανώς κυριαρχούν ο μη ανανεώσιμος άνθρακας ή το *diesel*). Επομένως η προσπάθεια για ολοκλήρωση των βιομηχανικών μονάδων παραγωγής *biodiesel* και εν γένει βιοκαυσίμων μέσω της εξάντλησης όλων των εισερχόμενων α' και β' υλών έχει θετική επίπτωση στην κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει επειδή οι πρώτες και δευτερεύουσες ύλες, η ενέργεια και οι εκπομπές αποβλήτων, κατανέμονται σε καθένα από τα προϊόντα ή παραπροϊόντα ή διεργασίες και έτσι οι επιπτώσεις επιμερίζονται. Ορισμένοι ερευνητές μάλιστα υποστηρίζουν ότι η παραγωγή *biodiesel* υλοποιείται καλύτερα από μικρές και συνεταιριστικές τοπικές επιχειρήσεις, ακριβώς επειδή γνωρίζουν καλύτερα να εκμεταλλεύονται στο έπακρο όλα τα υλικά και τα παραπροϊόντα (Van Dyne et al., 1996).

iv. Η αβεβαιότητα των παραμέτρων που σχετίζονται με την ανάλυση επιπτώσεων κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων είναι μεγάλη. Τα αποτελέσματα για τους δείκτες των εξεταζόμενων κατηγοριών όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η εξάντληση πόρων, η οικοτοξικότητα, η χρήση γης κ.α. χαρακτηρίζονται από σημαντική αβεβαιότητα. Βεβαίως αν και η αβεβαιότητα που οφείλεται στα μοντέλα υπολογισμού (*internal uncertainty*) υπάρχει, η αβεβαιότητα που οφείλεται σε εξωτερικές πηγές (*external uncertainty*) είναι αυτή που επικρατεί. Τέτοιου τύπου αβεβαιότητα μπορεί να έρχεται ως επακόλουθο απουσίας κατανόησης ή γνώσης ή να οφείλεται σε εγγενή τυχαιότητα των υπό εξέταση διεργασιών. Παραδείγματα τέτοιων πηγών αβεβαιότητας αποτελούν:

- το εύρος των τιμών των παραμέτρων των χρησιμοποιούμενων καλλιεργητικών τεχνικών (απόδοση της καλλιεργούμενης βιομάζας, δεδομένα λίπανσης, δεδομένα εντομοκτονιών κλπ),
- το εύρος των τιμών αγοράς των α' και β' υλών,
- το εύρος των τιμών των κλιματικών παραμέτρων κλπ.

Η πιο σημαντική πηγή εσωτερικής αβεβαιότητας (μοντέλου) αποτελεί ο ορισμός των ορίων του εξεταζόμενου συστήματος. Σε κάποιες μελέτες στο εξεταζόμενο σύστημα συμπεριλαμβάνεται η καλλιέργεια και η συγκομιδή της βιομάζας, η αποθήκευση και η μεταφορά της, η παραγωγή του βιοκαυσίμου σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας (*downstream and upstream supply chain*), ενώ σε κάποιες άλλες λείπει κάποιο ή κάποια από αυτά τα τμήματα.

Εν γένει οι προαναφερόμενοι τύποι αβεβαιότητας προκαλούν σύγχυση και προβλήματα κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων.

- v. Όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής, χρήσης και διανομής των βιοκαυσίμων έχουν και οικονομική διάσταση. Για παράδειγμα οι διάφορες παράμετροι για την χρήση των α' υλών παραγωγής βιοκαυσίμων στην Ευρώπη, όπως η μέση απόσταση μεταφοράς των χρησιμοποιούμενων α' υλών, η δυναμικότητα των χρησιμοποιούμενων μέσων μεταφοράς, ή η παραγωγικότητα των φυτών κυμαίνονται σε μεγάλο εύρος τιμών. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος τα παραγόμενα βιοκαύσιμα έχουν διαφορετικές επιδόσεις σε περιβαλλοντικές κατηγορίες όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, το ενεργειακό τους περιεχόμενο κλπ. Έτσι σε κάθε μελέτη περίπτωσης οι ερευνητές θα πρέπει να λαμβάνουν υπ' όψιν τους τις ισχύουσες κάθε φορά τιμές, ερευνώντας σε υπάρχουσες σχετικές βάσεις δεδομένων, εξασφαλίζοντας κάθε φορά ότι επιλέγονται οι σωστές ή οι πιο αντιπροσωπευτικές, ενώ σε περίπτωση απουσίας τέτοιων θα πρέπει να αναλαμβάνουν το έργο της μέτρησης ή του υπολογισμού τους.
- vi. Η χρήση βρώσιμων προϊόντων, όπως τα φυτικά έλαια ή τα σπορέλαια, ως καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι ανήθικη και παράλογη από κάθε άποψη τη στιγμή που εκατοντάδες εκατομμύρια άνθρωποι στον πλανήτη υποσιτίζονται ή και πεθαίνουν από πείνα. Βεβαίως πρόκειται για πολιτικό ζήτημα. Επίσης η παραγωγή βιοκαυσίμων από βρώσιμη βιομάζα δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ζήτημα της αγοράς γιατί, όπως έχει δείξει η πράξη, αυτό έχει οδηγήσει σε υπερβολική αύξηση των τιμών συγκεκριμένων βρώσιμων προϊόντων, όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, η σίκαλη κλπ. Συγκεκριμένοι περιορισμοί θα πρέπει να τεθούν παγκοσμίως στην χρήση βρώσιμων προϊόντων για ενεργειακές χρήσεις καθώς και τρόποι ελέγχου των περιορισμών αυτών.
- vii. Ο αειφόρος τρόπος παραγωγής βιοκαυσίμων απαιτεί τη χρήση εγχώριων α' υλών. Αυτό σημαίνει ότι εάν μια χώρα δεν διαθέτει τις απαιτούμενες α' ύλες δεν θα πρέπει να αποπειράται την παραγωγή βιοκαυσίμων συμβάλλοντας έτσι σε ένα καλύτερο αποτέλεσμα από πλευράς αειφορίας.
- viii. Η αξιολόγηση της χρήσης γης ως περιβαλλοντικής κατηγορίας σε μελέτες ανάλυσης επιπτώσεων κύκλου ζωής είναι έως σήμερα ανεπαρκής. Οι λόγοι μπορεί να είναι αντικειμενικοί και υποκειμενικοί, αλλά η εξέταση της χρήσης γης σε ένα τεχνολογικό σύστημα όπως είναι τα συστήματα παραγωγής βιοκαυσίμων είναι εκ των ων ουκ άνευ για την εξέταση της αειφορίας και ως εκ τούτου θα πρέπει εξετάζεται η επίδοσή του σε αυτήν. Η αναζήτηση συνεπών και αξιόπιστων δεικτών για τη συγκεκριμένη κατηγορία επιπτώσεων πρέπει να προστεθεί ανάμεσα στις κατευθύνσεις της έρευνας τα επόμενα έτη.

5. Η ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών ή/και υπολειμμάτων υλοτομίας χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ως καύσιμο για την παραγωγή θερμικής ενέργειας από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιας βιομάζας αποτελούν τα υπολείμματα από την επεξεργασία σακχαροκαλάμου ή σόργου, τα άχυρα από τις καλλιέργειες δημητριακών, τα υπολείμματα από την επεξεργασία του βαμβακιού στα εκκοκκιστήρια, τα στελέχη του βαμβακιού (*cotton stalks*) που απομένουν μετά τη συγκομιδή των καψών βαμβακιού, τα στελέχη του φυτού του καλαμποκιού που απομένουν μετά τη συγκομιδή του καρπού (*corn stover*) κ.α.

Βεβαίως κάποια από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωτροφή, όπως τα άχυρα από τη καλλιέργεια δημητριακών. Σε αυτές τις περιπτώσεις αυτό που καθορίζει τη σκοπιμότητα της χρήσης τους ως καυσίμων ή για άλλο σκοπό από την χρήση τους ως ζωτροφής είναι η τιμή πώλησής τους. Συνήθως η ποσότητα της παραχθείσας ζωτροφής που περισσεύει μετά την κάλυψη της ετήσιας ανάγκης μιας τοπικής ή ευρύτερης περιοχής είναι δυνατόν να κατευθύνεται σε τέτοιες χρήσεις.

Τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών ως καύσιμα στη βιομηχανία προορίζονται για την κάλυψη θερμικών αναγκών με σκοπό:

- την παραγωγή ατμού ή/και θερμού νερού,
- τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (θερμού νερού/ατμού),
- την απευθείας εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμικής ενέργειας.

5.1. Χρήση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στη τσιμεντοβιομηχανία

Η τελευταία δυνατότητα της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας έχει εφαρμογή στη βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου. Σε αυτήν έχουν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμα, κατά εποχές και γεωγραφικές περιοχές, υπολείμματα από διάφορες καλλιέργειες όπως βαμβακιού, ρυζιού, καφέ, φοινίκων, κ.α.

Τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου είναι:

- το πετρέλαιο,
- το κάρβουνο,
- το φυσικό αέριο σε λίγες περιπτώσεις.

Η διεργασία της παραγωγής κλίνκερ (πρόδρομου αδρομερούς υλικού που μετά από την άλεση του μαζί με άλλα υλικά μετατρέπεται σε λεπτομερές τσιμέντο) πραγματοποιείται σε οριζόντιες περιστροφικές κάμινους. Εκεί η άύλη (ασβεστόλιθος) καίγεται μαζί με το καύσιμο σε υψηλές θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία κλινκεροποίησης είναι περίπου 1,450 °C και για την επίτευξη αυτής απαιτείται θερμική ενέργεια 3.3 GJ / t παραγόμενου κλίνκερ. Για το λόγο αυτό η παραγωγή του τσιμέντου θεωρείται ως «εντάσεως ενέργειας» αφού το κόστος της θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην περιστροφική κάμινο αντιστοιχεί στο 30-40% του συνολικού κόστους παραγωγής (Manzanera, 2011).

Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει τις τσιμεντοβιομηχανίες στην αναζήτηση εναλλακτικών καυσίμων με τα οποία είναι δυνατή η υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Μεταξύ άλλων έχουν εξεταστεί και χρησιμοποιηθεί υπολείμματα χαρτοβιομηχανίας, πλαστικά υπολείμματα, χρησιμοποιημένα ελαστικά αυτοκινήτων, *RDF*, οργανική ιλύς βιολογικών καθαρισμών, δασικά υπολείμματα και υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών. Από τα τελευταία έχουν κυρίως χρησιμοποιηθεί κελύφη καρπών, στελέχη βαμβακιού, και στελέχη καλαμποκιού.

Η ολική αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων δεν είναι δυνατή λόγω του ότι τα εναλλακτικά καύσιμα δεν έχουν αρκετή θερμογόνο δύναμη ώστε να διατηρήσουν την προαναφερόμενη θερμοκρασία κλινκεροποίησης στην κάμινο. Με την υποκατάσταση σε συγκεκριμένο ποσοστό του συμβατικού καυσίμου από εναλλακτικό μειώνεται μεν η θερμογόνο δύναμη του μίγματος του καυσίμου, διατηρείται όμως σε τέτοια τιμή ώστε η θερμοκρασία στην κάμινο να μην πέφτει κάτω από την επιθυμητή θερμοκρασία (1,450° C). Ενδεικτικά, ποσοστά υποκατάστασης εναλλακτικών καυσίμων σε τσιμεντοβιομηχανίες μερικών χωρών της Ευρώπης την περίοδο 1900 -1998 παρατίθενται κατωτέρω κατά σειρά μεγέθους υποκατάστασης (Manzanera, 2011).

- Γαλλία, ποσοστό υποκατάστασης 52%.
- Ελβετία, ποσοστό υποκατάστασης 25%.
- Μεγάλη Βρετανία, ποσοστό υποκατάστασης 20%.
- Βέλγιο, ποσοστό υποκατάστασης 18%.
- Γερμανία, ποσοστό υποκατάστασης 15%.
- Τσεχία, ποσοστό υποκατάστασης 9.7%.

Η επιλογή από τις επιχειρήσεις παραγωγής τσιμέντου του κατάλληλου εναλλακτικού καυσίμου γίνεται με βάση τα εξής κριτήρια:

- την κατά τόπους διαθεσιμότητα της βιομάζας,
- τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της, και κυρίως τη θερμογόνο δύναμή της,
- την τιμή αγοράς της,
- τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που επιτυγχάνεται με τη χρήση του εναλλακτικού καυσίμου. Ειδικά τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών θεωρούνται ως 100% ανανεώσιμα καύσιμα και ως εκ τούτου ουδέτερα όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ποσότητες CO₂. Αυτό σημαίνει ότι οι ποσότητες του CO₂ που αντιστοιχούν στο ενεργειακό περιεχόμενο των υπολειμμάτων δεν προσμετρούνται στις εκπομπές CO₂ από τα συμβατικά καύσιμα. Οι τσιμεντοβιομηχανίες της Ευρώπης ως επιχειρήσεις ενταγμένες στο Κοινοτικό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου εκμεταλλεύονται το γεγονός αυτό με σκοπό την αποκόμιση πρόσθετου οικονομικού οφέλους, επιδιώκοντας την αύξηση κατά το δυνατόν περισσότερο του ποσοστού υποκατάστασης συμβατικών καυσίμων με βιομάζα,
- το κόστος επένδυσης που απαιτείται για την εγκατάσταση εξοπλισμού ή μετατροπής υπάρχοντος εξοπλισμού για την τροφοδοσία του εναλλακτικού καυσίμου στην περιστροφική κάμινο. Συνήθως η επένδυση αφορά εξοπλισμό ελάττωσης μεγέθους και μετατροπή του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου της κάμινου.

5.2. Σύστημα συλλογής και εφοδιασμού της βιομηχανίας με υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας

Στην Ελλάδα οι τσιμεντοβιομηχανίες έχουν οδηγηθεί στην χρήση των κάτωθι εναλλακτικών καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση εταιρείας και μονάδας παραγωγής:

- *RDF*,
- χρησιμοποιημένα ελαστικά αυτοκινήτων,
- υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας ή/και καλαμποκοκαλλιέργειας,
- οργανική ιλύς.

Το *RDF* όπως και η οργανική ιλύς και τα χρησιμοποιημένα ελαστικά αυτοκινήτων παρουσιάζουν μεγάλα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα. Η χρήση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας και καλαμποκοκαλλιέργειας, όμως, είναι ελκυστική για τους κάτωθι λόγους:

- Η παραμονή τους στο χωράφι μετά τη συγκομιδή είναι ανεπιθύμητη για τους αγρότες επειδή είναι φορείς διαχείμασης διάφορων εχθρών των καλλιεργειών για την επόμενη περίοδο καλλιέργειας (ρόδινο σκουλήκι κ.α.). Η πρακτική που παραδοσιακά ακολουθείτο ήταν η καταστροφή των υπολειμμάτων με μηχανικά μέσα ή με πυρκαγιά (ελεγχόμενος τεχνητός εμπρησμός). Για το λόγο αυτό οι αγρότες ιδιοκτήτες των καλλιεργειών είναι θετικοί (ή τουλάχιστον ουδέτεροι) στην προοπτική να απαλλαγούν από τα υπολείμματα χωρίς την οικονομική επιβάρυνσή τους.
- Οι συγκεκριμένες καλλιέργειες παρουσιάζουν ικανοποιητική συγκέντρωση σε περιοχές όπου είναι εγκατεστημένες μεγάλες τσιμεντοβιομηχανίες, όπως η Θεσσαλία (μονάδα *LAFARGE* στον Βόλο) και η Κεντρική Μακεδονία (μονάδα *TITAN* στη Θεσσαλονίκη).

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται φωτογραφίες των στελεχών βαμβακοκαλλιέργειας και καλαμποκοκαλλιέργειας στο χωράφι μετά τη συγκομιδή βαμβακιού και καλαμποκιού.



Εικόνα 4.1: Στελέχη βαμβακοκαλλιέργειας και καλαμποκοκαλλιέργειας στο χωράφι μετά τη συγκομιδή

Για την εξέταση του δυναμικού των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας και καλαμποκοκαλλιέργειας στην Ελλάδα είναι απαραίτητη η εξέταση του δυναμικού παραγωγής σύσπορου βαμβακιού και καλαμποκιού, αντίστοιχα, επειδή αυτά συνδέονται ευθέως.

Η παραγωγή βαμβακιού και καλαμποκιού στην Ελλάδα για την περίοδο 1994-2010 παρουσιάζεται στους Πίνακες 4.1 και 4.2, αντίστοιχα (“Υπουργείο Γεωργίας. Στατιστικά Δεδομένα. Χρονολογικές Σειρές,,” 2014).

Πίνακας 4.1: Παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στην Ελλάδα την περίοδο 1994-2010

| Έτος | Καλλιεργούμενη έκταση (ha) | Παραγωγή (t) | Μέση απόδοση (t/ha) |
|------|----------------------------|--------------|---------------------|
| 1994 | 382,600 | 1,184,000 | 3.1 |
| 1995 | 440,600 | 1,250,000 | 2.8 |
| 1996 | 428,233 | 962,000 | 2.2 |
| 1997 | 386,244 | 1,058,920 | 2.7 |
| 1998 | 407,000 | 1,170,000 | 2.9 |
| 1999 | 430,000 | 1,320,000 | 3.1 |
| 2000 | 405,000 | 1,235,000 | 3.0 |

| | | | |
|------------------|----------------|----------------|------------|
| 2001 | 378,738 | 1,246,839 | 3.3 |
| 2002 | 360,500 | 1,131,500 | 3.1 |
| 2003 | 367,100 | 972,000 | 2.6 |
| 2004 | 383,791 | 1,254,780 | 3.3 |
| 2005 | 363,000 | 946,000 | 2.6 |
| 2006 | 380,380 | 765,400 | 2.0 |
| 2007 | 338,724 | 668,181 | 2.0 |
| 2008 | 284,157 | 670,000 | 2.4 |
| 2009 | 233,000 | 600,000 | 2.6 |
| 2010 | 255,000 | 500,000 | 2.0 |
| Μέση Τιμή | 366,122 | 996,154 | 2.7 |

Πίνακας 4.2: Παραγωγή καλαμποκιού στην Ελλάδα την περίοδο 1994-2010

| Έτος | Καλλιεργούμενη έκταση (ha) | Παραγωγή (t) | Μέση απόδοση (t/ha) |
|------|----------------------------|--------------|---------------------|
| 1994 | 200,453 | 1,949,246 | 9.7 |
| 1995 | 160,010 | 1,611,000 | 10.1 |
| 1996 | 206,059 | 2,030,470 | 9.9 |
| 1997 | 206,198 | 2,050,430 | 9.9 |
| 1998 | 218,174 | 1,934,663 | 8.9 |
| 1999 | 214,907 | 2,031,486 | 9.5 |
| 2000 | 197,590 | 1,915,154 | 9.7 |
| 2001 | 209,298 | 2,010,380 | 9.6 |
| 2002 | 218,200 | 2,193,500 | 10.1 |
| 2003 | 262,693 | 2,416,060 | 9.2 |
| 2004 | 251,400 | 2,210,000 | 8.8 |
| 2005 | 241,000 | 2,169,000 | 9.0 |
| 2006 | 179,000 | 1,646,800 | 9.2 |
| 2007 | 190,551 | 1,927,900 | 10.1 |

| | | | |
|------------------|----------------|------------------|------------|
| 2008 | 240,000 | 2,472,000 | 10.3 |
| 2009 | 240,000 | 2,352,000 | 9.8 |
| 2010 | 145,600 | 1,426,800 | 9.8 |
| Μέση Τιμή | 210,655 | 2,020,405 | 9.6 |

Από τους δυο πίνακες προκύπτει ότι για μεν τη βαμβακοκαλλιέργεια η παραγωγή είναι πτωτική προϊόντος του χρόνου και έχει σταθεροποιηθεί τα τελευταία έτη στο επίπεδο ετήσιας καλλιέργειας των 250,000-300,000 ha. Αντίθετα η καλλιέργεια του καλαμποκιού είναι αρκετά σταθερή όλη αυτή την περίοδο και κυμαίνεται στο επίπεδο ετήσιας καλλιέργειας των 200,000-250,000 ha.

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι αποδόσεις των καλλιεργειών σε υπολείμματα όπως αυτές μετρήθηκαν στο πεδίο συλλογής σε Θεσσαλία και Στερεά Ελλάδα. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και οι συσχετίσεις για τον προσδιορισμό του συνολικού δυναμικού της Ελλάδας στα συγκεκριμένα υπολείμματα.

Πίνακας 4.3: Ετήσια απόδοση καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας σε υπολείμματα

| | Εύρος απόδοσης (t υπολειμμάτων / ha yr) (*) | Μέση απόδοση (t υπολειμμάτων / ha yr) | Καλλιεργούμενη έκταση (ha) (**) | Δυναμικό υπολειμμάτων (t/yr) |
|----------------------|--|--|---------------------------------|------------------------------|
| Καλαμποκοκαλλιέργεια | 5.7 -7.5 | 6.6 | 225,000 | 1,485,000 |
| Βαμβακοκαλλιέργεια | 1.8-2.5 | 2.2 | 270,000 | 594,000 |
| Σύνολο | | | 495,000 | 2,079,000 |

Πηγή: Μετρήσεις Πεδίου

(*): επί ξηρής βάσης, (**) για την περίοδο 2005-2010

Με δεδομένη την ενεργειακή απαίτηση για την παραγωγή κλίνκερ, που είναι 3.3 GJ/ t κλίνκερ, και το συνολικό δυναμικό υπολειμμάτων που, όπως εκτιμήθηκε (Πίνακας 4.3), είναι 2,079,000 t/έτος, προκύπτει ότι το συγκεκριμένο δυναμικό είναι αρκετό για την παραγωγή 10,550,000 t κλίνκερ/έτος υπό τη θεωρητική παραδοχή ότι τα υπολείμματα θα μπορούσαν να επιτύχουν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας κλινκεροποίησης. Σημειώνεται ότι η ετήσια δυναμικότητα των ελληνικών τσιμεντοβιομηχανιών το 2010 ήταν 13,000,000 t κλίνκερ (Τσακαλάκης Κ., 2010).

Για την χρήση της βιομάζας υπολειμμάτων από τις μονάδες παραγωγής τσιμέντου είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός συστήματος συγκομιδής, μεταφοράς και αποθήκευσής της,

δεδομένου ότι τα γεωργικά υπολείμματα δεν αποτελούν κοινά εμπορικά προϊόντα ώστε να παραλαμβάνονται με τα συνήθη κανάλια εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα διακριτά στάδια ενός τέτοιου συστήματος είναι:

- η συγκομιδή των υπολειμμάτων στο χωράφι,
- η μεταφορά από το χωράφι σε ενδιάμεσο σταθμό αποθήκευσης (*depot*). Το στάδιο αυτό είναι επιβεβλημένο καθόσον η συγκομιδή των υπολειμμάτων πρέπει να ολοκληρωθεί σε ένα στενό χρονικό διάστημα που ορίζεται από το τέλος της συγκομιδής των καρπών (βαμβακιού ή καλαμποκιού) και την έναρξη των βροχοπτώσεων, που θα πρέπει να βρει το χωράφι απαλλαγμένο από τα υπολείμματα, καθώς μετά τις βροχοπτώσεις το έδαφος γίνεται ακατάλληλο για τις εργασίες συγκομιδής τους. Συνήθως το χρονικό διάστημα αυτό εκτείνεται από τα μέσα Οκτωβρίου έως το πρώτο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου,
- η μεταφορά της συγκομισθείσας βιομάζας από το *depot* στη μονάδα όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο,
- η μεταφορά από το *depot* προς τη μονάδα όπου θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

Στα επόμενα περιγράφεται ένα τέτοιο σύστημα για συγκομιδή υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας και τα κυριότερα χαρακτηριστικά και οι παράμετροί του.

Συγκομιδή υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στο χωράφι

Η συγκομιδή των εναπομεινάντων βαμβακοστελεχών πραγματοποιείται μετά από το τελευταίο πέρασμα των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών για τη συλλογή των καψών βαμβακιού από τις οποίες στα εκκοκιστήρια εξάγεται το βαμβάκι. Το κόψιμο των βαμβακοστελεχών πραγματοποιείται σε ύψος περίπου 10 cm από την επιφάνεια εδάφους του χωραφιού με τη βοήθεια κοπτικών μηχανών που οδηγούνται από γεωργικούς ελκυστήρες. Οι κοπτικές μηχανές λαμβάνουν ισχύ μέσω του μηχανισμού *power take off (PTO)* του ελκυστήρα. Τα κομμένα στελέχη εξέρχονται σε σειρά από την κοπτική μηχανή. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 20 έως 90 cm (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Τεμαχισμένα βαμβakoστελέχη

Με σκοπό τη μείωση της περιεχόμενης στη βιομάζα υγρασίας τα βαμβakoστελέχη αφήνονται για χρονικό διάστημα 2-5 ημερών εκτεθειμένα στο χωράφι. Η μείωση της υγρασίας είναι επιθυμητή τόσο για να διευκολύνεται η δεματοποίησή τους όσο και για οικονομικούς λόγους, αφού το μοναδιαίο κόστος μεταφοράς μειώνεται όσο μειώνεται και η περιεχόμενη υγρασία. Ακολουθεί η δεματοποίηση των κομμένων στελεχών με τη βοήθεια κατάλληλης δεματοποιητικής μηχανής, η οποία οδηγείται και αυτή από γεωργικό ελκυστήρα λαμβάνοντας ισχύ από το *PTO* του ελκυστήρα. Η δεματοποιητική μηχανή συλλέγει στο μπροστινό της μέρος τα κομμένα στελέχη τα οποία συμπιέζει με κατάλληλο μηχανισμό και τα μορφοποιεί σε κυλινδρικές μπάλες οι οποίες εξέρχονται από το πίσω τμήμα, τυλιγμένες σε πλαστικό δίχτυ.

Στον Πίνακα 4.4. παρουσιάζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις για τις κοπτικές και δεματοποιητικές μηχανές, ώστε η κοπή και η δεματοποίηση να εκτελούνται αποδοτικά και απρόσκοπτα.

Πίνακας 4.4: Απαιτήσεις για τις κοπτικές και δεματοποιητικές μηχανές

| | Πλάτος εργασίας (m) | Ισχύς ελκυστήρα (hp) |
|----------------|---------------------|----------------------|
| Κοπτική Μηχανή | 1.8 | ≥60 |

| | | |
|-----------------------|-----|-----------|
| Δεματοποιητική μηχανή | 1.8 | ≥ 70 |
|-----------------------|-----|-----------|

Η συγκομιδή υλοποιείται από συνεργεία που διαθέτουν τον κατάλληλο εξοπλισμό. Ο αριθμός των συνεργείων N_1 που απαιτείται για τη συγκομιδή βιομάζας βάρους Π (t) δίνεται από τη σχέση:

$$N_1 = \text{integer} (\Pi/50u),$$

όπου u ο μέσος ημερήσιος ρυθμός συγκομιδής ανά συνεργείο (t).

Μεταφορά στο depot

Μετά τη δεματοποίηση οι κυλινδρικές μπάλες της βιομάζας φορτώνονται με τη βοήθεια περονών προσαρμοσμένων σε ελκυστήρες ή με οποιοδήποτε άλλο γερανό σε φορτηγό (Εικόνα 4.3).

Η αποθήκευση των δεμάτων γίνεται με έδρασή τους επί της κυκλικής τους διατομής και τοποθέτηση καθ' ύψος έως και τεσσάρων δεμάτων (Εικόνα 4.4). Η εκφόρτωση και η τοποθέτηση γίνεται με τη χρήση περονοφόρων ή/και γερανών.

Ο αριθμός N_{21} των δρομολογίων που απαιτούνται για τη μεταφορά ποσότητας Π (t) συμπιεσμένης σε δέματα συγκεκριμένων διαστάσεων βάρους β (t/ δέμα) από φορτηγό χωρητικότητας c (δέματα /δρομολόγιο) δίνεται από τη σχέση:

$$N_{21} = \text{integer} (\Pi/c\beta)$$

ενώ το πλήθος N_{22} των οχημάτων του στόλου που θα αναλάβει τη μεταφορά από τη σχέση:

$$N_{22} = \text{integer} (N_{21}/50n),$$

όπου n (δρομολόγιο/ημέρα), ο μέσος ημερήσιος αριθμός δρομολογίων που μπορεί να επιτύχει ένα φορτηγό χωρητικότητας c για την απόσταση μεταξύ των χωραφιών και του *depot*.

Στις παραπάνω σχέσεις ο αριθμός 50 αντιπροσωπεύει τις ημέρες της περιόδου συγκομιδής της βιομάζας. Επιλέγονται 50 ημέρες συγκομιδής και όχι μεγαλύτερος αριθμός (π.χ. 60) για την εξαγωγή αποτελεσμάτων που να αντιστοιχούν σε συντηρητικές εκτιμήσεις όσον αφορά τη διατήρηση καιρικών συνθηκών κατάλληλων για τη συγκομιδή της βιομάζας.

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας E (m^2) του *depot* γίνεται μέσω της σχέσης:

$$E = A\Pi/4\beta,$$

όπου A (m^2) είναι η διατομή του δέματος, ενώ το 4 αντιπροσωπεύει τον αριθμό των επάλληλων στρώσεων στις οποίες τοποθετούνται τα δέματα.

Κατά την παραλαβή στο *depot* διενεργείται δειγματοληψία με σκοπό τον ποιοτικό έλεγχο της προσκομιζόμενης βιομάζας. Τα χαρακτηριστικά που ελέγχονται κατά τον ποιοτικό έλεγχο είναι η περιεχόμενη υγρασία, η θερμογόνος δύναμη καθώς και η περιεκτικότητα σε Cl_2 αφού η παρουσία του εγκυμονεί τον κίνδυνο της παραγωγής διοξινών κατά την καύση της βιομάζας.



Εικόνα 4.3: Μεταφορά δεμάτων υπολειμάτων βαμβακοκαλλιέργειας από το χωράφι στο *depot*



Εικόνα 4.4: *Depot* βιομάζας υπολειμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για τον εφοδιασμό τσιμεντοβιομηχανίας

Μεταφορά από το *depot* στη μονάδα καύσης

Η μεταφορά των δεμάτων βιομάζας από το *depot* προς τη μονάδα καύσης γίνεται με φορτηγά. Η φόρτωση των δεμάτων γίνεται με τη χρήση περονοφόρων ή/και γερανών. Η εκφόρτωση των δεμάτων γίνεται με ίδια μέσα της μονάδας.

Ο αριθμός N_3 των καθημερινών δρομολογίων που απαιτούνται για τη μεταφορά της ημερήσιας ποσότητας $D(t)$ δίνεται από τη σχέση:

$$N_3 = \text{integer}(D/c\beta),$$

όπου $D(t)$ η ημερήσια απαίτηση της μονάδας σε βιομάζα, β (t/ δέμα) το βάρος του δέματος και c (δέματα /δρομολόγιο) η χωρητικότητα των φορτηγών σε δέματα.

Στη μονάδα τηρείται απόθεμα για την κάλυψη έκτακτων αναγκών το οποίο όμως υπόκειται στους περιορισμούς χώρου του οικοπέδου του εργοστασίου.

Στο στάδιο της φόρτωσης προς τη μονάδα η βιομάζα ζυγίζεται ξανά με σκοπό τη δημιουργία εικόνας για τις απώλειες κατά την αποθήκευση, ενώ λαμβάνονται πάλι δείγματα για επανάληψη του ποιοτικού ελέγχου.

Το γενικό διάγραμμα ροής εργασιών του συστήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής εργασιών για τη συγκομιδή, μεταφορά και αποθήκευση βιομάζας γεωργικών υπολειμμάτων

Οι τιμές των κυριότερων παραμέτρων του συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5: Κυριότερες παράμετροι του συστήματος συγκομιδής και μεταφοράς βιομάζας γεωργικών υπολειμμάτων βαμβακιού

| Παράμετρος | Τιμή | Παρατηρήσεις |
|--|-----------|--|
| Απόδοση χωραφιών σε υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας (t/ha) | 1.8-2.5 | |
| Ειδικό βάρος υπολειμμάτων χύδην (t/m ³) | 0.1-0.3 | |
| Περιεχόμενη υγρασία βιομάζας (%), 3 ημέρες μετά από τη συγκομιδή | 14% | Για τις καιρικές συνθήκες της περιόδου συγκομιδής |
| Θερμογόνος δύναμη (MJ/t) | 16,750 | Εύρος τιμών: 16,500-16,850 |
| Ρυθμός μηχανής κοπής βαμβακοστελεχών (ha/h) | 2.5-4.0 | |
| Ρυθμός μηχανής δεματοποίησης βαμβακοστελεχών (ha/h) | 1.2-3.0 | 10-23 δέματα / h |
| Συνολικός ρυθμός συγκομιδής συνεργείου (t/h) | 4 | Απολογιστική τιμή για συνεργείο αποτελούμενο από ένα μηχάνημα κοπής και ένα δεματοποιητή |
| Διάμετρος κυλινδρικού δέματος (m) | 1.2 | |
| Μήκος κυλινδρικού δέματος (m) | 1 | |
| Αριθμός τυλιγμάτων δικτυού στο δέμα | 1.8 | |
| Βάρος δέματος (t) | 0.25 | |
| Ειδικό βάρος δέματος υπολειμμάτων (t/m ³) | 0.17-0.23 | |
| Χωρητικότητα φορηγών μεταφοράς (δέματα) | 50 | Για φορηγό ρυμουλκούμενο επί ρυμουλκού |
| Χωρητικότητα φορηγών μεταφοράς (t) | 12.5 | Για φορηγό ρυμουλκούμενο επί ρυμουλκού |

Πηγή: Μετρήσεις πεδίου & εργαστηριακές μετρήσεις

5.3. Η οικονομικότητα της χρήσης της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας

Στην Ελλάδα ο κλάδος της τσιμεντοβιομηχανίας πρωτοπόρησε στην εισαγωγή της χρήσης υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών για την κάλυψη θερμικών αναγκών. Ως εκ της θέσεως αυτής οι ελληνικές τσιμεντοβιομηχανίες είχαν την ευκαιρία εισαγωγής τιμής αγοράς για τα συγκεκριμένα υπολείμματα. Η τιμή αυτή έχει καθοριστεί στα €35/t. Η τιμή αφορά υπολείμματα από οποιαδήποτε γεωργική καλλιέργεια προσκομιζόμενα στην είσοδο της μονάδας της τσιμεντοβιομηχανίας (*Duty Delivery Paid -DDP*).

Οι παράγοντες που διαμορφώνουν την τιμή αγοράς των υπολειμμάτων είναι:

- Κόστος πάγιας επένδυσης.
- Λειτουργικό κόστος.
- Επιχειρηματικό κέρδος.

Στα επόμενα θα ασχοληθούμε με την ανάλυση και τεκμηρίωση των επιμέρους παραγόντων που διαμορφώνουν τελικά την τιμή αυτή.

5.3.1. Κόστος πάγιας επένδυσης συστήματος συλλογής υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών

Το κόστος της πάγιας επένδυσης που απαιτείται για τη συλλογή των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών αποτελείται από τα κάτωθι επιμέρους κόστη.

ι. Κόστος εξοπλισμού συλλογής

Για τη συλλογή ο ελάχιστος απαιτούμενος εξοπλισμός περιλαμβάνει:

- Μια μηχανή κοπής

Η αξία κτήσης μιας μηχανής κοπής με τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στην §4.2. είναι περίπου €5,000 και ο αναμενόμενος χρόνος ζωής της είναι 15 έτη. Η ετήσια απόσβεσή της έτσι υπολογίζεται (γραμμικά) στα €333.3 ενώ, με την υπόθεση ότι η μηχανή απασχολείται 100 ημέρες ετησίως, προκύπτει ότι η αξία της ημερήσιας απόσβεσής της είναι €3.33. Με βάση τη μέση απόδοση των βαμβακοκαλλιεργειών σε υπολείμματα που είναι 2t/ha, τον μέσο ρυθμό κοπής 3.5 ha/ώρα και τη δυνατότητα που έχουν τα συγκεκριμένα συνεργεία να δουλεύουν 18 ώρες ημερησίως προκύπτει ότι η ημερήσια απόδοση των μηχανών κοπής των υπολειμμάτων είναι:

$$3.5 \text{ ha/ώρα} \times 18 \text{ ώρες/ημέρα} \times 2 \text{ t/ha} = 126 \text{ t/ημέρα.}$$

Αυτό σημαίνει ότι η κτήση της μηχανής κοπής αντιπροσωπεύει κόστος €3.3/126t =€0.026/t υπολείμματος.

- Μια μηχανή δεματοποίησης

Η αξία κτήσης μιας μηχανής δεματοποίησης με τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στην §4.2. είναι της τάξης €15,000. Η ετήσια απόσβεσή της έτσι υπολογίζεται (γραμμικά) στα €1,000 ενώ με την υπόθεση ότι η μηχανή απασχολείται 100 ημέρες ετησίως προκύπτει ότι η αξία της ημερήσιας απόσβεσής της είναι €10. Η ημερήσια απόδοσή της

υπολογίζεται με βάση τις προηγούμενες παραδοχές και με τον μέσο ρυθμό δεματοποίησης που είναι 2.5 ha/ώρα από τη σχέση:

$$2.5 \text{ ha/ώρα} \times 18 \text{ ώρες/ημέρα} \times 2 \text{ t/ha} = 90 \text{ t/ημέρα.}$$

Έτσι προκύπτει ότι η κτήση της μηχανής δεματοποίησης αντιπροσωπεύει κόστος €90/126t = €0.11/t υπολείμματος, διαμορφώνοντας το συνολικό κόστος για την απόκτηση του εξοπλισμού συλλογής στα € 0.14/ t υπολείμματος.

ii. Κόστος εξοπλισμού Depot

Για την εκφόρτωση των δεμάτων στο depot, την τοποθέτηση και την τακτοποίησή τους είναι απαραίτητα περνοφόρα οχήματα. Για το μέγεθος του depot στο οποίο μπορούν να αποθηκευτούν 100,000 t βιομάζας είναι απαραίτητα δύο τέτοια οχήματα. Η αξία κτήσης ενός περνοφόρου οχήματος είναι της τάξης €18,000 και ο αναμενόμενος χρόνος ζωής τους 15 έτη. Η ετήσια απόσβεσή τους έτσι υπολογίζεται (γραμμικά) από τη σχέση:

$$2 \times €18,000 / 15 \text{ έτη} = €2,400.$$

Συνεπώς η κτήση των περνοφόρων οχημάτων για την εξυπηρέτηση του depot αντιστοιχεί σε €2,400/100,00t = €0.024/t υπολείμματος.

iii. Κόστος διαμόρφωσης Depot

Το κόστος της διαμόρφωσης του depot αφορά την αποψίλωση του οικοπέδου και χωματουργικές εργασίες όπου απαιτείται. Επίσης την περίφραξή του καθώς και τις δαπάνες για την εγκατάσταση δικτύων (ύδρευσης, πυροσβεστικού δικτύου, ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεφωνικού δικτύου).

Οι συγκεκριμένες δαπάνες σχετίζονται με το μέγεθος του οικοπέδου στο οποίο εγκαθίσταται το depot. Το καθαρό μέγεθος προσδιορίζεται από τη σχέση

$$E = A\pi/4\beta,$$

όπου $\pi(t)$ η ποσότητα της βιομάζας που απαιτείται, $\beta(t)$ το βάρος του δέματος και A η διατομή του κυλινδρικού δέματος. Έτσι για ποσότητα 100,000 t, βάρος δέματος 0.25 t και διάμετρο κυλινδρικού δέματος 1.2m προκύπτει ότι το ελάχιστο απαιτούμενο εμβαδόν του οικοπέδου είναι:

$$[100,000 \times (1,2^2/4)] / (4 \times 0,25) = 113,000 \text{ m}^2.$$

Στο depot θα πρέπει να υπάρχουν και διάδρομοι για τη μετακίνηση των οχημάτων, αντιτυρικές ζώνες κ.λπ. Λαμβανομένων υπ' όψιν των απαιτήσεων αυτών και θεωρώντας συντελεστή ασφαλείας 15% υπολογίζεται ότι το εμβαδόν του γηπέδου για την αποθήκευση 100,000 t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας πρέπει να είναι τουλάχιστον $1.15 \times 113,000 \text{ m}^2 = 130,000 \text{ m}^2$.

Η δαπάνη για την αποψίλωση και τις χωματουργικές εργασίες είναι της τάξης €15,000.

Για την εγκατάσταση των δικτύων απαιτείται δαπάνη της τάξης €10,000.

Η περίφραξη του οικοπέδου κοστίζει περίπου €5/m της περιμέτρου. Θεωρώντας ότι η κάτοψη του οικοπέδου έχει τετραγωνική διατομή προκύπτει ότι η δαπάνη για την περίφραξη είναι:

$$4 \times 5 \chi (E)^{1/2} = 20 \chi (130,000)^{1/2} = \text{€}7,200.$$

Έτσι συνολικά το κόστος διαμόρφωσης του *depot* γίνεται €32,200 ενώ, υποθέτοντας ως οικονομικό χρόνο ζωής τους του τα 15 έτη, αυτό αντιστοιχεί σε €0.02/t υπολείμματος.

5.3.2. Λειτουργικό κόστος συστήματος συλλογής υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών

Το λειτουργικό κόστος για τη συλλογή των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών αποτελείται από τα κάτωθι επιμέρους κόστη.

i. Εργασία συνεργείων συλλογής

Η δαπάνη αυτή αφορά τις αμοιβές του συνεργείου συλλογής υπολειμμάτων. Η ελάχιστη σύνθεση ενός τέτοιου συνεργείου όπως έχει ήδη αναφερθεί περιλαμβάνει μια μηχανή κοπής των υπολειμμάτων και μια μηχανή δεματοποίησής τους. Οι δυο μηχανές δουλεύουν με τη βοήθεια γεωργικών ελκυστήρων από όπου λαμβάνουν την απαιτούμενη ισχύ μέσω του μηχανισμού *PTO*. Οι μηχανές δουλεύουν σε δυο βάρδιες ημερησίως διάρκειας 9 ωρών η καθεμιά, ενώ όπως έχει αναφερθεί (Πίνακας 4.6) ο συνολικός ρυθμός απόδοσης ενός τέτοιου συνεργείου είναι 4 t/h. Η αμοιβή των χειριστών των ελκυστήρων είναι της τάξης €45/βάρδια.

Επομένως η ημερήσια δαπάνη για τις αμοιβές των χειριστών είναι:

$$2 \times 2 \text{ βάρδιες} \times \text{€}45/\text{βάρδια} = \text{€}180.$$

Η ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων από ένα τέτοιο συνεργείο είναι:

$$4 \text{ t/ώρα} \times 18 \text{ ώρες} = 72 \text{ t}.$$

Έτσι η δαπάνη της εργασίας αντιστοιχεί σε €180/72t = €2.5/t υπολείμματος.

ii. Καύσιμα συνεργείων συλλογής

Οι ειδικές καταναλώσεις *diesel* για τους ελκυστήρες που απαιτούνται για τη λειτουργία της κοπτικής και δεματοποιητικής μηχανής είναι 7 l/ώρα και 12 l/ώρα αντίστοιχα, ενώ η τιμή αγοράς του *diesel* για τους αγρότες μέσω ενός συστήματος επιστροφής ΦΠΑ και ειδικού φόρου κατανάλωσης είναι περίπου €0.6/l.

Το κόστος καυσίμων για τη συλλογή των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας υπολογίζεται έτσι από τη σχέση:

$$(7 \text{ l/ώρα} + 12 \text{ l/ώρα}) \times 19 \text{ ώρες} \times \text{€}0.6/\text{l} = \text{€}216.6.$$

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ημερήσια παραγωγή υπολειμμάτων από ένα τέτοιο συνεργείο, που σύμφωνα με τα προηγούμενα είναι 72 t, η συμμετοχή του κόστους των καυσίμων του συνεργείου συλλογής υπολειμμάτων είναι €216.6/72 t = €3/t.

iii. Δίχτυ συσκευασίας δεμάτων

Για τη διατήρηση του σχήματος των συμπιεσμένων δεμάτων υπολειμμάτων, αυτά τυλίγονται με δίχτυ, μέσω ενός κατάλληλου συστήματος που φέρουν οι δεματοποιητικές μηχανές. Το δίχτυ είναι φτιαγμένο από πλαστικό υλικό, έχει σχήμα ορθογώνιου

παραλληλογράμμου με διάσταση ύψους 1 m και περιτυλίγεται μέσω του μηχανισμού στο μορφοποιημένο κυλινδρικό δέμα της βιομάζας περισσότερες από μια φορές ώστε να διατηρείται σχηματοποιημένο και συμπιεσμένο το δέμα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του. Ο βέλτιστος αριθμός τυλιγμάτων έχει σημαντική αξία αφού αριθμός τυλιγμάτων μικρότερος από αυτόν αυξάνει τις πιθανότητες για σπάσιμο του δέματος ενώ μεγαλύτερος αριθμός αυξάνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος του συστήματος συλλογής των υπολειμμάτων. Από μετρήσεις πεδίου προέκυψε ότι ο βέλτιστος αριθμός τυλιγμάτων του διχτυού στο δέμα είναι 1.8.

Με βάση την τιμή αγοράς του διχτυού που είναι περίπου € 0.065/m προκύπτει ότι το κόστος του για το τύλιγμα ενός δέματος είναι:

$$1.8 \times 1.2 \text{ m} \times €0.065 / \text{m} = €0.44/\text{δέμα}.$$

Δεδομένου του βάρους δέματος υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας, που είναι 0.25 t, προκύπτει ότι η συμμετοχή του συγκεκριμένου παράγοντα στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους είναι $(€0.44/\text{δέμα})/(0.25 \text{ t}/\text{δέμα}) = €1.7/\text{t}$ υπολείμματος.

iv. Συντήρηση μηχανών συνεργείου συλλογής

Το κόστος της συντήρησης αφορά κυρίως την συντήρηση των ελκυστήρων που χρησιμοποιούνται στο συνεργείο συλλογής. Το κόστος αυτό, όπως προέκυψε από την έρευνα στον χώρο των αγροτών, είναι της τάξης €0.65/ώρα και περιλαμβάνει:

- το κόστος της αλλαγής λαδιών και φίλτρου λαδιού που κοστίζει €52.8 και πρέπει να γίνεται κάθε 100 ώρες λειτουργίας του τρακτέρ
- το κόστος της αλλαγής των υγρών του υδραυλικού συστήματος του τρακτέρ που κοστίζει €117.4 και πρέπει να γίνεται κάθε 1000 ώρες λειτουργίας.

Δεδομένου του ρυθμού συλλογής του συνεργείου, που όπως προαναφέρθηκε είναι 4t/ώρα, προκύπτει ότι το κόστος της συντήρησης συνεισφέρει στη διαμόρφωση της τιμής κατά €0.1625/t υπολείμματος.

v. Εργασία και καύσιμα συνεργείου depot

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για το depot είναι απαραίτητη η λειτουργία 2 περονοφόρων οχημάτων. Τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά του περονοφόρου συνοψίζονται ως εξής:

Καύσιμο: LPG.

Ιπποδύναμη: 53 hp.

Ανυψωτική ικανότητα: 2.5 t.

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου για αυτά τα περονοφόρα είναι 3.2 l/ώρα λειτουργίας. Το συνεργείο αυτό για την εξυπηρέτηση 100,000 t βιομάζας βαμβακοκαλλιέργειας (400,000 δεμάτων) απαιτείται να λειτουργεί ισοδύναμα 6 ώρες ημερησίως για 230 ημέρες ετησίως.

Έτσι, το κόστος εργασίας του συνεργείου είναι

$$2 \text{ χειριστές} \times €5/\text{χειριστή} \times \text{ώρα} \times 6 \text{ ώρες} \times 230 \text{ ημέρες}/\text{έτος} = €13,800/\text{έτος},$$

ενώ το κόστος καυσίμων, για τιμή αγοράς LPG €0.8/l, είναι 2 περνοφόρα χ 3.2 l/ώρα χ 6 ώρες/ημέρα χ 230 ημέρες/έτος x € 0.8/l= €7,066/έτος, διαμορφώνοντας το λειτουργικό κόστος του *depot* στα €20,866 ή €0.2/t υπολείμματος.

vi. Ενοίκιο *depot*

Η τιμή ενοικίασης αγροκτημάτων στην περιοχή κυμαίνεται στο επίπεδο των €50-100/100,000 m² έτος. Έτσι η ετήσια δαπάνη για την ενοικίαση του αγροκτήματος στο οποίο χωροθετείται το *depot* είναι:

130,000 m² χ 100/100,000 m² =€13,000 που αντιστοιχεί σε €0.13/t υπολείμματος.

vii. Μεταφορά βιομάζας από τον τόπο συλλογής στο *depot* και από το *depot* στη μονάδα καύσης

Το κόστος της μεταφοράς της βιομάζας τόσο από τα χωράφια συλλογής της προς το *depot* όσο και από το *depot* προς το εργοστάσιο τσιμέντου ανατίθεται τόσο σε μεταφορικές εταιρείες όσο και στα ίδια τα συνεργεία συλλογής στις περιπτώσεις που αυτά διαθέτουν φορτηγά. Τα φορτηγά που χρησιμοποιούνται είναι συρόμενα επί συρομένου τα οποία έχουν χωρητικότητα 50 δεμάτων, που στην περίπτωση της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας μεταφράζεται σε 12.5 t.

Όπως προέκυψε από έρευνα της αγοράς η τιμή για τη μεταφορά των συγκεκριμένων δεμάτων με τα συγκεκριμένου τύπου φορτηγά είναι € 0.2/t Km.

Η θέση του *depot* βρίσκεται σε απόσταση 45 km από το εργοστάσιο τσιμέντου. Η χωροθέτηση αυτή προσδιορίζει το κόστος μεταφοράς από το *depot* προς το εργοστάσιο, η οποία αντιστοιχεί σε €9/t υπολείμματος.

Σημειώνεται ότι οι προαναφερόμενες τιμές μεταφοράς αφορούν τους συγκεκριμένους τύπους φορτηγών οχημάτων που ταξιδεύουν κατά την επιστροφή τους από τον τόπο που ξεφορτώνουν κενά φορτίου.

Το κόστος μεταφοράς από τα χωράφια προς το *depot* είναι μεταβλητό και συνάρτηση της απόστασης των χωραφιών από το *depot*. Για γειτονικές περιοχές προς το *depot* (σε ακτίνα 10 km) αντιστοιχεί σε €2/t υπολείμματος ενώ για απομακρυσμένες περιοχές (σε ακτίνα 90 km) αντιστοιχεί σε €18/t. Επισημαίνεται ότι η ακτίνα 90 km αντιστοιχεί σε όλη σχεδόν την περιοχή της Θεσσαλίας, που σημαίνει ότι η άθροιση του κόστους των €18/t στο κόστος μεταφοράς από το *depot* στη μονάδα (€9/t) προσδιορίζει το οριακό κόστος μεταφοράς της βιομάζας για το σύνολο του δυναμικού του θεσσαλικού κάμπου.

Με βάση τα προαναφερόμενα οι επιμέρους παράγοντες κόστους συμμετέχουν στη διαμόρφωση της τιμής των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας με την κατανομή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Συμμετοχή των επιμέρους παραγόντων κόστους στη διαμόρφωση της τελικής τιμής βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας (DDP)

| | Παράγων | Τιμή (€/t) | % συμμετοχή επί της τελικής τιμής |
|--|---|--------------------|-----------------------------------|
| ΠΑΓΙΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ | Δαπάνη για την απόκτηση εξοπλισμού συλλογής βιομάζας | 0.14 | 0.40 |
| | Δαπάνη για την απόκτηση εξοπλισμού λειτουργίας <i>depot</i> | 0.02 | 0.07 |
| | Δαπάνη διαμόρφωσης <i>depot</i> | 0.02 | 0.06 |
| | <i>Μερικό σύνολο παγίων δαπανών</i> | <i>0.18</i> | <i>0.53</i> |
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ | Δαπάνες εργασίας συνεργείων συλλογής | 2.50 | 7.14 |
| | Δαπάνες καυσίμων συνεργείων συλλογής | 3.00 | 8.57 |
| | Δαπάνη για δίκτυ δεματοποίησης | 1.70 | 4.86 |
| | Δαπάνη για συντήρηση μηχανών συλλογής | 0.16 | 0.46 |
| | Δαπάνη για εργασία και καύσιμα του εξοπλισμού λειτουργίας του | 0.2 | 0.57 |
| | Δαπάνη για το ενοίκιο <i>depot</i> | 0.13 | 0.37 |
| | Δαπάνη για τη μεταφορά της βιομάζας | 11.00-27.00 | 31.43-77.14 |
| | <i>Μερικό σύνολο λειτουργικών δαπανών</i> | <i>18.69-34.69</i> | <i>53.41-99.12</i> |
| <i>Μερικό σύνολο παγίων & λειτουργικών δαπανών</i> | | <i>18.88-34.88</i> | <i>53.93-99.65</i> |
| Κέρδος | | 0.12 – 16.12 | 0.35-46.07 |
| ΤΙΜΗ | | 35 | 100 |

Από τον πίνακα προκύπτει ότι η συλλογή είναι αρκετά επικερδής επιχείρηση για τις περιοχές συλλογής κοντά στο *depot* και οριακή όσον αφορά το κέρδος για τις απομακρυσμένες από το *depot* περιοχές συλλογής. Σε κάθε περίπτωση σημειώνουμε ότι τα συνεργεία συλλογής και μεταφοράς της βιομάζας στις περισσότερες των περιπτώσεων έχουν τη μορφή μικρών οικογενειακών επιχειρήσεων. Αυτό σημαίνει ότι σε αυτές τις περιπτώσεις κίνητρο δεν αποτελεί μόνο το κέρδος αλλά και η εξασφάλιση εργασίας για τα μέλη της οικογένειας σε μια χρονική περίοδο (μέσα Οκτωβρίου – μέσα Δεκεμβρίου) που είναι νεκρή όσον αφορά τις αγροτικές εργασίες.

Βασικό συμπέρασμα επίσης που προκύπτει από τον Πίνακα 4.6 είναι ότι η δαπάνη για τη μεταφορά της βιομάζας είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας κόστους αφού κυμαίνεται από το 31% έως το 77% της τελικής τιμής. Αυτό οφείλεται στην αναλογική αύξηση του κόστους μεταφοράς με την απόσταση του τόπου συλλογής από το *depot*, με αποτέλεσμα η μεταφορά της συγκομιζόμενης σε απομακρυσμένες περιοχές βιομάζας να ωθεί το περιθώριο κέρδους προς το μηδενικό όριο. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί τα φορτηγά οχήματα μεταφοράς της βιομάζας επιστρέφουν από τον τόπο προορισμού της (*depot* ή μονάδα καύσης) κενά φορτίου. Μια λύση για τη μείωση των τιμών μεταφοράς θα μπορούσε να είναι η αναζήτηση φορτίων προς μεταφορά για τα δρομολόγια της επιστροφής επιμερίζοντας έτσι το κόστος στις δυο κατευθύνσεις του δρομολογίου. Πηγές για την αναζήτηση τέτοιων φορτίων θα μπορούσε να είναι η αγορά των αγροτικών εφοδίων/λιπασμάτων αλλά και η ίδια η τσιμεντοβιομηχανία (ενσακισμένο τσιμέντο).

5.4. Συγκριτική αξιολόγηση της χρήσης της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στη τσιμεντοβιομηχανία έναντι της χρήσης της για την παραγωγή βιοαιθανόλης

Στα επόμενα θα παρουσιάσουμε μια συγκριτική αξιολόγηση των εξής δύο εναλλακτικών σεναρίων:

- i. χρήση υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου του κυρίως καυσίμου για την παραγωγή κλίνκερ,
- ii. χρήση υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για την παραγωγή αιθανόλης.

Το ερώτημα στο οποίο καλείται να δώσει απάντηση η αξιολόγηση είναι:

«είναι προτιμότερο 1 t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας να χρησιμοποιηθεί για καύση σε περιστροφική κάμινο υφιστάμενης τσιμεντοβιομηχανίας για την παραγωγή κλίνκερ ή για την χρησιμοποίησή του σε νέα μονάδα για την παραγωγή βιοαιθανόλης με α' ύλη λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών;».

Αρχικά θα υλοποιηθεί ο υπολογισμός της επίδοσής τους έναντι περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων. Η συνδυασμένη επίδοσή τους στο σύνολο των κριτηρίων θα γίνει με τη βοήθεια της *AHP*, και με βάση αυτήν τα δύο συστήματα θα συγκριθούν.

Η περιβαλλοντική επίδοση κάθε συστήματος μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας κριτήρια σχετικά με τις επιπτώσεις του στο περιβάλλον. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει μέσω της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (EEKZ) η οποία ορίζεται ως «η φάση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής που στοχεύει στην κατανόηση και αξιολόγηση του μεγέθους της δυνητικής περιβαλλοντικής επίπτωσης ενός παραγωγικού συστήματος» (*ISO 14044:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines, 2006*).

Η εφαρμογή *SimaPro* είναι ένα επαγγελματικό εργαλείο για την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων συστημάτων παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών μέσω της EEKZ, η οποία ακολουθεί τις οδηγίες της σειράς προτύπων ISO 14000. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί μια μεγάλη βάση δεδομένων, την *Ecoinvent*, η οποία διαθέτει δεδομένα σχετικά με τη ροή υλικών από περίπου 4,000 διεργασίες (Jungbluth & Chudacoff, 2007).

Ανάμεσα στις μεθόδους EEKZ που χρησιμοποιούνται από το *SimaPro* επιλέχθηκε η *Eco-Indicator 99 (EI 99)*. Είναι η πιο απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τη σύγκριση προϊόντων διεργασιών ή υπηρεσιών. Με τη μέθοδο αυτή αντιστοιχείται σε μια διεργασία ή ένα προϊόν ένας αριθμός που αποδίδει την περιβαλλοντική της/του επίπτωση και βασίζεται σε δεδομένα του κύκλου ζωής της/του σε συγκεκριμένες κατηγορίες επιπτώσεων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η περιβαλλοντική επίπτωση.

Οι κατηγορίες επιπτώσεων που χρησιμοποιεί η μέθοδος *Eco-Indicator 99* παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7. Οι κατηγορίες επιπτώσεων ανάλογα με το πεδίο δράσης των βλαβών που προκαλούνται ομαδοποιούνται σε:

- βλάβες της ανθρώπινης υγείας,
- βλάβες του οικοσυστήματος,
- βλάβες των διαθέσιμων πόρων.

Πίνακας 4.7: Κατηγορίες επιπτώσεων της μεθόδου *Eco-Indicator 99*

| Κατηγορία βλάβης | Κατηγορία επίπτωσης |
|--|--|
| <p>Βλάβες της ανθρώπινης υγείας (εκφρασμένες σε <i>Disability Adjusted Life Years- DALY</i>).</p> | <p>Καρκινογένεσεις προερχόμενες από συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και πολυκυκλικών αρωματικών ουσιών στην τροφή στο νερό και στον αέρα.</p> |
| | <p>Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών όπως πτητικές οργανικές ενώσεις και αιωρούμενα σωματίδια.</p> |
| | <p>Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις ανόργανων ουσιών όπως NO_x, SO_x, και αιωρούμενα σωματίδια.</p> |
| | <p>Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής προερχόμενες από τα αέρια του θερμοκηπίου.</p> |
| | <p>Φαινόμενα ιονισμού και ακτινοβολίας προερχόμενα από συγκεντρώσεις ραδιονουκλεοτιδίων.</p> |
| | <p>Καρκινογένεση και καταρράκτης οφειλόμενα στην εξάλειψη του ατμοσφαιρικού όζοντος.</p> |
| <p>Βλάβες του οικοσυστήματος</p> <ul style="list-style-type: none"> • Οικοτοξικότητα εκφρασμένη σε <i>Potentially Affected Fraction (PAF)</i> χ m² χ year • Οξίνιση ή ευτροφισμός και χρήση γης εκφρασμένες σε <i>Potentially Disappeared Fraction (PDF)</i> χ m² χ year | <p>Οικοτοξικότητα (εν δυνάμει επηρεασμένο κόσμα των ειδών ως δείκτης της εν γένει έντασης της τοξικότητας) προερχόμενης από συγκέντρωση φυτοφάρμακων και βαρέων μετάλλων στο έδαφος.</p> <p>Εμφάνιση φαινομένων οξίνισης και ευτροφισμού στα φυτά εξαιτίας αλλαγής pH και μειωμένης διαθεσιμότητας της τροφής τους που προέρχεται από συγκέντρωση NO_x, SO_x και NH₃ στο έδαφος και στο νερό.</p> |

| | |
|---|---|
| | Χρήση γης. Περιλαμβάνει όλες τις επιδράσεις στα φυτά που προέρχονται από την χρήση ης γης αλλά και τις μετατροπές που αυτή υφίσταται. |
| Βλάβη των διαθέσιμων πόρων (εκφρασμένη ως πλεονάζουσα απαιτούμενη ενέργεια MJ). | Μείωση των ορυκτών πόρων. Αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για την εξόρυξη των μετάλλων από τα μεταλλεύματα. |

Για τη σύγκριση της οικονομικότητας των δυο συστημάτων επιλέχθηκε το κριτήριο του καθαρού οικονομικού οφέλους, καθώς για την περίπτωση της μονάδας παραγωγής τσιμέντου πρόκειται περί πρόσθετης επένδυσης και εκείνο που ενδιαφέρει είναι η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται. Με άλλα λόγια η συγκεκριμένη επένδυση δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί ως εγχείρημα το οποίο μπορεί να αναληφθεί από τη τσιμεντοβιομηχανία ανεξάρτητα από την υπάρχουσα εγκατάσταση. Η σύγκριση των δυο επενδύσεων μέσω κλασικών χρηματοοικονομικών κριτηρίων απόδοσης δεν έχει νόημα για τους προαναφερόμενους λόγους. Επί πλέον οι ετήσιες χρηματοροές της τσιμεντοβιομηχανίας δεν είναι γνωστές αλλά και η αναζήτησή τους ξεφεύγει από τους σκοπούς της διατριβής.

Η δημιουργία θέσεων εργασίας είναι το κριτήριο από το πεδίο των κοινωνικών επιπτώσεων έναντι του οποίου συγκρίνονται τα δυο συστήματα.

Επισημαίνεται ότι τα στάδια της συλλογής της βιομάζας, της μεταφοράς και της ενδιάμεσης αποθήκευσής της είναι κοινά και στα δυο εξεταζόμενα εναλλακτικά σενάρια και ως εκ τούτου οι επιπτώσεις που επιμερίζονται σε αυτά είναι ίσες. Συνεπώς η συμπερίληψη των κοινών επιπτώσεων δεν προσφέρει στην ανάλυση και εάν δεν υπάρχει άλλος ιδιαίτερος λόγος δεν είναι απαραίτητη, άρα δεν συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση.

5.4.1. Σενάριο χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου στην παραγωγή κλίνκερ

Το σενάριο αφορά την καύση της βιομάζας στην κάμινο και την τροφοδοσία της σε αυτή σε ήδη υπάρχουσα μονάδα παραγωγής τσιμέντου. Οι εξεταζόμενες επιπτώσεις σχετίζονται αποκλειστικά με αυτές τις δυο διεργασίες, δηλαδή δεν εξετάζονται επιπτώσεις από τις άλλες διεργασίες που συντελούνται στη μονάδα.

Όρια Συστήματος

Τα όρια του εξεταζόμενου συστήματος περιορίζονται στα όρια της μονάδας παραγωγής τσιμέντου.

Μονάδα Αναφοράς

Ως μονάδα αναφοράς ορίζεται η ποσότητα 1 t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας (επί ξηρής βάσης).

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Το σύστημα αφορά την τροφοδότηση περιστροφικής καμίνου ετήσιας δυναμικότητας 2,000,000 t κλίνκερ που αντιστοιχεί σε τυπική τιμή δυναμικότητας καμίνου των ελληνικών τσιμεντοβιομηχανιών. Οι θερμικές ανάγκες της καμίνου για την παραγωγή αυτής της ποσότητας κλίνκερ είναι $2,000,000 \times 3.3 \text{ GJ/t κλίνκερ} = 6,600,000 \text{ GJ}$.

Για καθαρά τεχνικούς λόγους το ποσοστό υποκατάστασης του *petcoke* από τη βιομάζα των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας δεν μπορεί να υπερβεί το 10% όσον αφορά την απαιτούμενη θερμική ενέργεια για τη λειτουργία της καμίνου. Παράλληλα έχουμε υποθέσει ότι ο συντελεστής απόδοσης καύσης της βιομάζας είναι 90%. Ως εκ τούτου η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καύση στην κάμινο σε ετήσια βάση είναι:

$(0.1 \times 6,600,000 \text{ GJ/έτος} \times 0.9) / 16.75 \text{ GJ/t} = 35,460 \text{ t/έτος υπολειμμάτων επί ξηρής βάσης ή } 41,230 \text{ t/έτος βιομάζας όπως αυτή παραδόθηκε στο } depot.$

Η θερμική αξία του υποκαθιστάμενου *petcoke* είναι 35,000 MJ/t.

Βασικά μεγέθη του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας που συνδέονται με την τροφοδοσία 1 t υπολειμμάτων στη διεργασία της καύσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8. Οι τιμές αυτές τροφοδοτούν το μοντέλο του σεναρίου στην εφαρμογή *SimaPro* η οποία θα υπολογίσει την επίπτωσή του σε κάθε κατηγορία αλλά και τη συνολική περιβαλλοντική επίπτωση με βάση τη μέθοδο *Eco-Indicator 99*.

Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε έτος 330 ημερών και 24ωρη λειτουργία της μονάδας.

Πίνακας 4.8: Βασικά μεγέθη του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας

| | Ποσότητα | Παρατηρήσεις |
|--|----------|---------------------|
| Υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας (t επί ξηρής βάσης) | 1 | Τροφοδοσία: 5.5 t/h |
| <i>Petcoke</i> (t) | 4.3 | |
| Κλίνκερ (t) | 45.7 | Παραγωγή: 252.5 t/h |
| Εξοικονόμηση <i>petcoke</i> (t <i>petcock</i> /t ξηρής βιομάζας) | 0.48 | |
| Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (KWh/ t βιομάζας) | 57.6 | |

| | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------|--|
| Εκπομπές βιομάζας) | CO ₂ (Kg/t) | 1,760 | Βιογενές CO ₂ . Στοιχειομετρικός υπολογισμός για περιεκτικότητα C 48%. Πηγή: (Grover, Kathuria, & Kaur, 2012) |
| Εκπομπές βιομάζας) | CO (mg/t) | 0.11193 | |
| Εκπομπές βιομάζας) | NO _x (mg/t) | 0.70356 | |
| Εκπομπές σωματιδίων (mg/t βιομάζας) | αιωρούμενων (mg/t βιομάζας) | 0.07995 | |

Όλα τα δεδομένα εισόδου της εφαρμογής *SimaPro* (ροή υλικών και εκπομπές στο περιβάλλον) παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Για τον υπολογισμό των εκπομπών του σεναρίου χρησιμοποιήθηκαν στοιχειομετρικοί υπολογισμοί και συσχετισμοί δεδομένων της βάσης δεδομένων του *SimaPro*.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω της εφαρμογής *SimaPro* (*Eco-Indicator 99/individualist perception*) όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σεναρίου χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας

| | Αποτελέσματα σταδίου χαρακτηρισμού | Αποτελέσματα σταδίου κανονικοποίησης (βαθμοί) | Βαθμολογία μετά από το στάδιο της στάθμισης (βαθμοί) |
|---|--|---|--|
| Καρκινογενέσεις | -3E-09 <i>DALY</i> | -0.00036 | -0.19831 |
| Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών | -7.2E-10 <i>DALY</i> | -8.7E-05 | -0.048 |
| Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις ανόργανων ουσιών | -1.3E-07 <i>DALY</i> | -0.01623 | -8.92917 |
| Κλιματική αλλαγή | -4.6E-08 <i>DALY</i> | -0.0056 | -3.07734 |
| Επιδράσεις ακτινοβολίας | -2.9E-11 <i>DALY</i> | -3.5E-06 | -0.00195 |
| Μείωση στρατοσφαιρικού στρώματος όζοντος | -2.1E-10 <i>DALY</i> | -2.6E-05 | -0.01412 |
| Οικοτοξικότητα | 0.031281 <i>PAF</i> χ m ² χ γρ | 0.000694 | 0.173611 |
| Ευτροφισμός/Οξίνιση | -0.00681 <i>PDF</i> χm ² χγρ | -0.00151 | -0.37796 |
| Χρήση γης | -0.01913 <i>PDF</i> χm ² χγρ | -0.00425 | -1.06174 |
| Μείωση των ορυκτών πόρων | -0.00222 MJ | -0.01483 | -2.96697 |
| Ολική Επίπτωση | | | -16.5 |

Οικονομικές Επιπτώσεις

Για την χρησιμοποίηση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας είναι απαραίτητη επίσης υλοποίηση επένδυσης για το σύστημα τροφοδοσίας στην κάμινο που περιλαμβάνει την τοποθέτηση μηχανής ελάττωσης μεγέθους της βιομάζας και μια διάταξη εισαγωγής της στην κάμινο. Η ισχύς του συστήματος είναι 300 KW. Η αξία της επένδυσης είναι περίπου €200,000.

Προβλέπεται επίσης για τη λειτουργία του συστήματος η επάνδρωσή του με συνεργείο ενός τεχνίτη. Το συνεργείο προβλέπεται να απασχολείται σε πέντε βάρδιες ετησίως.

Στον Πίνακα 4.10 συνοψίζονται τα οικονομικά στοιχεία της επένδυσης και συγκεκριμένα οι δαπάνες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία του καθώς και τα έσοδα από τη πώληση των ποσοτήτων CO₂ μέσω του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου αλλά και το οικονομικό όφελος από την εξοικονόμηση των ποσοτήτων *petcoke* που υποκαθίστανται από τη βιομάζα.

Τα έσοδα προέρχονται από την πώληση των εξοικονομούμενων εκπεμπόμενων ποσοτήτων CO₂ λόγω της καύσης βιομάζας που είναι ουδέτερη ως προς τις εκπομπές, αντί του συμβατικού *petcoke*. Συγκεκριμένα αφού η ποσότητα *petcoke* που εξοικονομείται είναι 0.48t/t ξηρής βιομάζας χ 35,460 t ξηρής βιομάζας/έτος = 17,021 t *petcoke*/έτος και δεδομένων τόσο του συντελεστή εκπομπών CO₂ από την καύση *petcoke* που είναι 100.8t/TJ (*Directive 04/156, 2004*) όσο και της τιμής του δικαιώματος εκπομπής 1t CO₂ που είναι €5/t (“Carbon Dioxide Emission Allowances Electronic Trading System,” 2014) προκύπτει ότι τα ετήσια έσοδα είναι:

17,021 t *petcoke*/έτος χ 0.035 TJ/t *petcoke* χ 100.8t/TJ χ €5/t CO₂= €300,250/έτος.

Αντίστοιχα το οικονομικό όφελος ετησίως από την εξοικονόμηση του *petcoke* δεδομένης της τιμής αγοράς του που, για τις ανάγκες της ανάλυσης (βλ. παρακάτω), θεωρείται ότι είναι της τάξης €80/t (*Energy Argus Petroleum Coke Market Overview, 2013*), είναι:

17,021 t *petcoke*/έτος χ €80/t *petcoke* = €1,361,680/έτος.

Πίνακας 4.10: Οικονομικά στοιχεία επένδυσης για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τιμεντοβιομηχανίας

| | | €/γρ | Παρατηρήσεις |
|-----|-----------------------------|-----------|-------------------------------------|
| (A) | Δαπάνη αγοράς βιομάζας | 1,443,050 | 41,230 t βιομάζας, €35/t |
| (B) | Δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας | 53,460 | Τιμή αγοράς ηλ. ενέργειας €0.03/KWh |

| | | | |
|-----|---|-----------|---|
| (Γ) | Εργασία | 140,000 | Δαπάνη για τις ετήσιες αμοιβές 5 τεχνιτών |
| (Δ) | Δαπάνες γενικών εξόδων/ Λοιπά έξοδα | 10,000 | |
| (Ε) | Δαπάνη για την απόσβεση του εξοπλισμού | 10,000 | Γραμμική απόσβεση για χρόνο 20 ετών |
| (Ζ) | Έσοδα δικαιωμάτων CO ₂ | 360,300 | |
| (Η) | Οικονομικό όφελος από την εξοικονόμηση <i>petcoke</i> | 1,361,680 | |

Έτσι το συνολικό οικονομικό όφελος της επένδυσης για το σενάριο είναι:

$$(Ζ)+(Η)-(Α)-(Β)-(Γ)-(Δ)-(Ε)=€65,470/ \text{έτος},$$

ή ανηγμένο στην ποσότητα της ξηρής βιομάζας που χρησιμοποιείται (€65,470/γρ)/35,460 t= €1.8/t,γρ ξηρής βιομάζας.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι τόσο η τιμή του δικαιώματος εκπομπής 1t CO₂ όσο και η τιμή αγοράς του *petcoke* παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις στην πάροδο του χρόνου καθώς διαπραγματεύονται στις χρηματιστηριακές αγορές. Η τιμή του δικαιώματος εκπομπής 1t CO₂ έχει φθάσει έως €5 ενώ η τιμή αγοράς του *petcoke* κυμαίνεται μεταξύ €50/t και €100/t. Στην πραγματικότητα για να είναι εφικτή η δαπάνη για το συγκεκριμένο σενάριο χρήσης της βιομάζας πρέπει να είναι $(Ζ)+(Η) \geq (Α)+(Β)+(Γ)+(Δ)+(Ε)$, δηλαδή τα έσοδα από την εγκατάσταση να υπερβαίνουν τα έξοδα λειτουργίας και απόσβεσης του εξοπλισμού που είναι €1,656,500/έτος.

Κοινωνικές Επιπτώσεις

Με το συγκεκριμένο σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας δημιουργούνται πέντε (5) θέσεις εργασίας που εξυπηρετούν το σύστημα τροφοδοσίας και ελάττωσης μεγέθους της βιομάζας στη μονάδα παραγωγής τσιμέντου.

5.4.2. Σενάριο χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή βιοαιθανόλης

Το σενάριο αφορά τη χρήση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας σε μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης που χρησιμοποιεί λιγνοκυτταρινούχες α' ύλης. Η μονάδα θα είναι τοποθετημένη στο ίδιο γεωγραφικό χώρο με τη μονάδα παραγωγής τσιμέντου που

εξετάζεται στο προηγούμενο σενάριο. Η τεχνολογία της μονάδας, είναι αυτή που αναπτύχθηκε από το *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* για μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας ετήσιας δυναμικότητας τροφοδοσίας 770,000t (Humbird et al., 2011). Τα βασικά στάδια της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας είναι:

- Ελάττωση μεγέθους (άλωση) της εισερχόμενης τροφοδοσίας.
- Επεξεργασία της βιομάζας με αραιό H_2SO_4 σε υψηλή θερμοκρασία για μικρό χρόνο με σκοπό την απελευθέρωση των σακχάρων και τη διάσπασή της για την ενζυματική υδρόλυση. Στο τέλος του σταδίου διορθώνεται το pH (από ~1 σε ~5) με NH_3 προκειμένου να είναι δυνατή η υδρόλυση.
- Ενζυματική υδρόλυση με τη χρήση *cellulase* ως ενζύμου και ταυτόχρονη ζύμωση της υδρολυμένης βιομάζας με την χρήση ως ενζύμου της *zymomonas mobilis*.
- Διαχωρισμός της παραχθείσας αιθανόλης μέσω διεργασίας απόσταξης του παραγόμενου λικέρ και επακόλουθου διαχωρισμού με την χρήση σταδίου προσρόφησης ατμών με τη βοήθεια μοριακών κοσκίνων. Η παραγόμενη αιθανόλη είναι καθαρότητας 95%.
- Η διαχωριζόμενη κατά το στάδιο της απόσταξης και του διαχωρισμού στερεών/υγρών λιγνίνη (μαζί με υπόλοιπα στερεά) απομακρύνεται και καίγεται σε λέβητα μαζί με το αέριο που παράγεται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης προς συμπαραγωγή ατμού, θερμού νερού διεργασιών και ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ατμός χρησιμοποιείται στις διεργασίες της μονάδας (απόσταξη, επεξεργασία της βιομάζας κλπ) ενώ η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας και η περίσσειά της διατίθεται προς πώληση στο δίκτυο.

Απλοποιημένο διάγραμμα ροής των διεργασιών της μονάδας παρατίθεται στο Σχήμα 4.2.

Η βιομάζα των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας είναι ίδιας φύσεως με τα υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας. Και τα δυο είναι λιγνοκυτταρινούχες ύλες που αποτελούνται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη. Στον πίνακα 4.11 παρουσιάζονται συστάσεις των δυο τύπων βιομάζας.

Πίνακας 4.11: Χημική σύσταση των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας

(% κ.β. επί ξηρής βάσης)

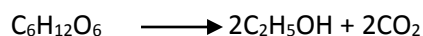
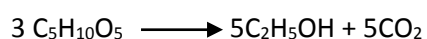
| | | Υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας * | Υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας ** |
|--------------|-----------|---|--|
| Κυτταρίνη | Γλυκάνη | 31.9 | 31.1 |
| Ημικυτταρίνη | Ξυλάνη | 18.9 | 8.3 |
| | Γαλακτάνη | 1.5 | 1.1 |

| | | | |
|--|-----------|------------|------------|
| | Αραβινάνη | 2.8 | 1.3 |
| | Μανάνη | 0.3 | |
| Σύνολο Ημικυτταρινών | | 23.5 | 10.7 |
| Ολοκυτταρίνη (Σύνολο Κυτταρίνης + Ημικυτταρινών) | | 55.4 | 41.8 |
| Λιγνίνη | | 13.3 | 30.1 |
| Λοιπές διαλυτές ουσίες | | 17.9 | 9.0 |
| Λοιπά | | 13.4 | 19.1 |
| Σύνολο | | 100 | 100 |

Πηγή: * (Humbird et al., 2011), ** (Silverstein, Chen, Sharma-shivappa, Boyette, & Osborne, 2007)

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.11 τα δυο υλικά παρουσιάζουν ίδια περιεκτικότητα σε γλυκάνη (πολυσακχαρίτης αποτελούμενος από μόρια γλυκόζης συνδεδεμένα με β-δεσμούς), ενώ διαφέρουν σημαντικά στις περιεκτικότητες των ημικυτταρινών και της λιγνίνης. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας σε ημικυτταρίνες ευνοεί τη παραγωγή αιθανόλης ενώ η μεγαλύτερη περιεκτικότητα των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας σε λιγνίνη ευνοεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γίνεται επίσης σαφές ότι η βιομάζα των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως α΄ ύλη για την παραγωγή αιθανόλης με βάση την τεχνολογία του *NREL*.

Η θεωρητική απόδοση παραγωγής αιθανόλης προκύπτει από την στοιχειομετρία των αντιδράσεων μετατροπής των πεντοζών και εξοζών σε αιθανόλη.



Η στοιχειομετρία αυτών των αντιδράσεων ορίζει παραγωγή 0.51 kg αιθανόλης ανά kg ολοκυτταρίνης (σύνολο πεντοζών και εξοζών).

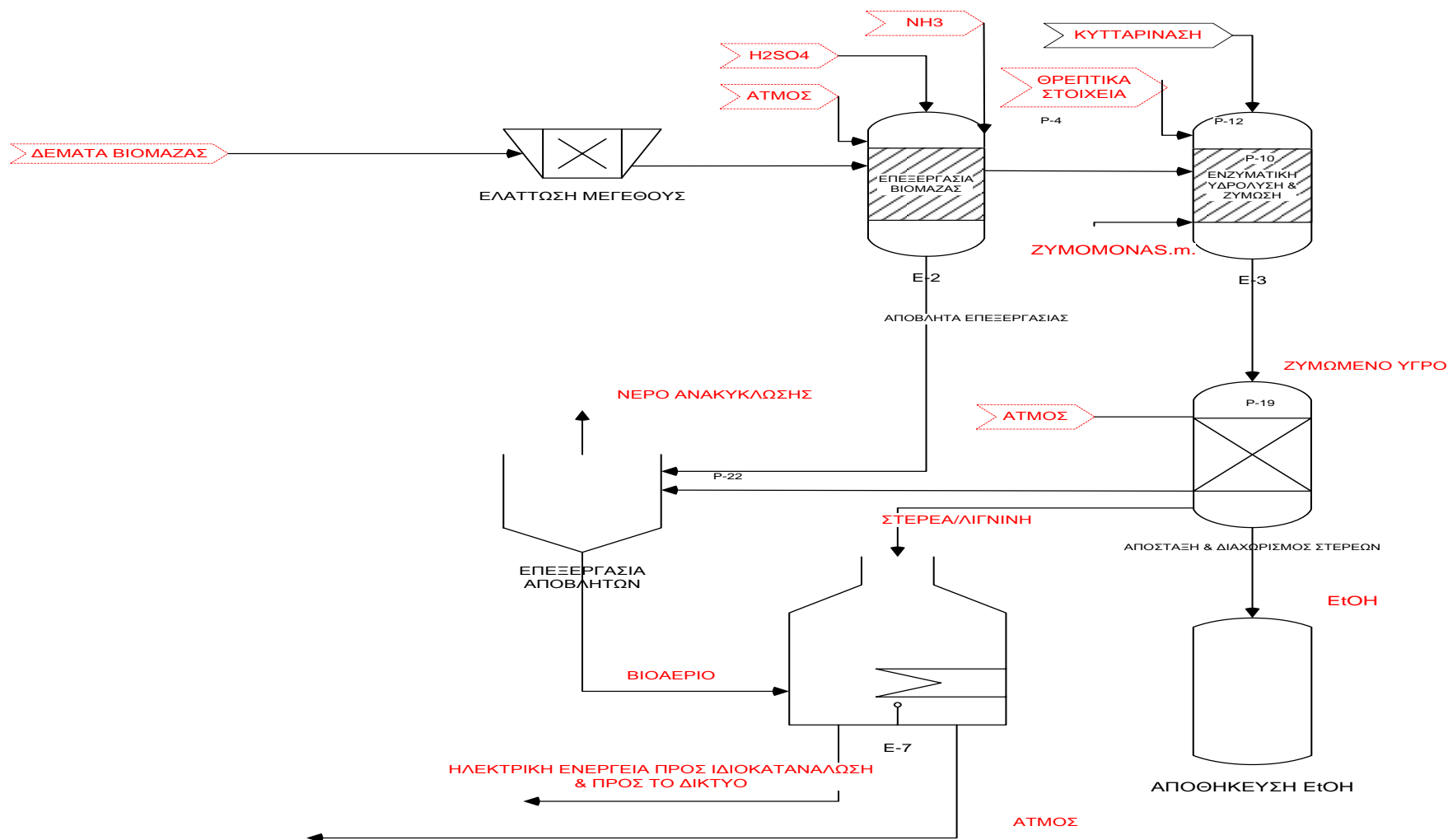
Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 4.11 τα υπολείμματα της βαμβακοκαλλιέργειας αποτελούνται από 41.8% ολοκυτταρίνη, που σημαίνει ότι η θεωρητική απόδοσή τους σε αιθανόλη είναι:

0.51 kg EtOH/Kg ολοκυτταρίνης x 418 Kg ολοκυτταρίνης/t ξηρής βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας=213.18 kg EtOH/t ξηρής βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας.

Στην χρησιμοποιούμενη τεχνολογία από το *NREL* έχει επιτευχθεί πρακτικός βαθμός απόδοσης που αντιστοιχεί στο 76% του θεωρητικού των υπολειμμάτων

καλαμποκοκαλλιέργειας. Με την παραδοχή αυτή να μεταφέρεται και στην περίπτωση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας προκύπτει ότι πρακτικά η μετατροπή της ολοκυτταρίνης των υπολειμμάτων αυτών σε αιθανόλη μπορεί να φθάσει τα $0.76 \times 213.18 = 162 \text{ kg EtOH/ t}$ ξηρής βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας που αντιστοιχεί σε 162.8 kg δτος EtOH 99.5% κ.β. ή 206.5 l του ίδιου διαλύματος.

Στο σενάριο που εξετάζουμε μονάδα παραγωγής αιθανόλης ετήσιας δυναμικότητας τροφοδοσίας $770,000 \text{ t}$ λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών τροφοδοτείται μεταξύ άλλων με $100,000 \text{ t}$ (επί ξηρής βάσης) υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας /έτος, παράγοντας $20,650,000 \text{ l}$ διαλύματος EtOH 99.5% κ.β.



Σχήμα 4.2: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για τη μονάδα παραγωγής αιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκαλλιέργειας

Όρια Συστήματος

Το εξεταζόμενο σύστημα περιορίζεται στα όρια της μονάδας παραγωγής αιθανόλης.

Μονάδα Αναφοράς

Ως μονάδα αναφοράς ορίζεται η ποσότητα 1 t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας (επί ξηρής βάσης).

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Βασικά μεγέθη του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας που συνδέονται με την τροφοδοσία 1 t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στην παραγωγή αιθανόλης στη μονάδα παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.12. Οι τιμές αυτές τροφοδοτούν το μοντέλο του σεναρίου στην εφαρμογή *SimaPro* η οποία θα υπολογίσει την επίπτωσή του σε κάθε κατηγορία αλλά και τη συνολική περιβαλλοντική επίπτωση με βάση τη μέθοδο *Eco-Indicator 99*.

Πίνακας 4.12: Βασικά μεγέθη του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή αιθανόλης

| | Ποσότητα | Παρατηρήσεις |
|---|----------|----------------------------------|
| Υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας (t επί ξηρής βάσης) | 1 | Τροφοδοσία: 100,000 t/yr |
| Αιθανόλη (kg) | 162 | 20,650,000 l δτος EtOH 99.5% κ.β |
| Εκπομπές βιογενούς CO ₂ (Kg/t βιομάζας) | 1,001 | Στοιχειομετρικός υπολογισμός |
| Εκπομπές CO ₂ (Kg/t βιομάζας) | 0.104 | Στοιχειομετρικός υπολογισμός |
| Heat waste στον αέρα (MJ) | 1,640 | |
| Heat waste στο νερό (MJ) | 1,184 | |
| H ₂ SO ₄ (kg) | 22.1 | |
| NH ₃ (kg) | 12.7 | |

Όλα τα δεδομένα του σεναρίου που εισάγονται στην εφαρμογή *SimaPro* (ροή υλικών και εκπομπές στο περιβάλλον) παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Για τον υπολογισμό των εκπομπών του σεναρίου χρησιμοποιήθηκαν στοιχειομετρικοί υπολογισμοί και συσχετισμοί δεδομένων της βάσης δεδομένων του *SimaPro*.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω της εφαρμογής *SimaPro (Eco-Indicator 99/ individualist perception)* όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σεναρίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.13: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σεναρίου χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή αιθανόλης

| | Αποτελέσματα σταδίου χαρακτηρισμού | Αποτελέσματα σταδίου κανονικοποίησης (βαθμοί) | Βαθμολογία μετά από το στάδιο της στάθμισης (βαθμοί) |
|---|------------------------------------|---|--|
| Καρκινογενέσεις | 2.86 E-06 DALY | 0.00061 | 0.33875 |
| Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών | 3.13E-07 DALY | 0.00006 | 0.03706 |
| Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις ανόργανων ουσιών | 0.00012 DALY | 0.02675 | 14.71481 |
| Κλιματική αλλαγή | 0.00005 DALY | 0.01190 | 6.54713 |
| Επιδράσεις ακτινοβολίας | 5.52E-08 DALY | 0.00001 | 0.00653 |
| Μείωση στρατοσφαιρικού στρώματος όζοντος | 3.47E-08 DALY | 7.4 χ10 ⁻⁰⁶ | 0.00411 |
| Οικοτοξικότητα | 43.44412 PAF χ m ² χ yr | 0.00077 | 0.19376 |
| Ευτροφισμός/Οξίνιση | 12.04517 PDF χ m ² χ yr | 0.00214 | 0.53721 |
| Χρήση γης | 30.15598 PDF χ m ² χ yr | 0.00537 | 1.34496 |

| | | | |
|--------------------------|-------------|---------|---------|
| Μείωση των ορυκτών πόρων | 30.15598 MJ | 0.01118 | 2.23698 |
| Ολική Επίπτωση | | | 26.0 |

Οικονομικές επιπτώσεις

Η αξία της επένδυσης της μονάδας παραγωγής αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα υλικά υπολογίστηκε για το έτος 2007 στα €352,000,000 (Humbird et al., 2011). Ο χρόνος ζωής της εγκατάστασης είναι 30 έτη. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τους *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)* που για το 2007 ήταν 525.4 ενώ για τον Απρίλιο του 2014, 573.6 ("Chemical Engineering Magazine, CPI," 2014) προκύπτει ότι η αξία της επένδυσης για το 2014 είναι:

$$(573.6/525.4) \times 352,000,000 = \text{€}384,300,000.$$

Στην οικονομική ανάλυση επιμερίζεται η αξία της επένδυσης κατά το ποσοστό χρήσης της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στη μονάδα, δηλαδή κατά την αναλογία των 100,000 t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας έναντι των 770,000 t της συνολικής τροφοδοσίας λιγνοκυτταρινούχων υλικών τροφοδοσίας. Έτσι η αξία της επένδυσης που αντιστοιχεί στο μέρος της τροφοδοσίας των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας είναι:

$$(100,000/770,000) \times \text{€}384,300,000 = \text{€}49,909,090 \text{ ή}$$

$$\text{€}49,909,090/30 \text{ έτη} = \text{€}49,909,090/\text{έτος} = \text{€}1,663,637/\text{έτος}, \text{ που είναι η ετήσια δαπάνη για την απόσβεση της επένδυσης.}$$

Η δαπάνη για την αγορά 100,000 t βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας (ξηρής) ή 116,280 t όπως παραδίδεται στο *depot* είναι:

$$116,280 \text{ t}/\text{έτος} \times \text{€}35/\text{t} = \text{€}4,069,800/\text{έτος}.$$

Το μεταβλητό κόστος λειτουργίας της μονάδας που σχετίζεται με τις δαπάνες για την κτήση των δευτερευουσών υλών (H₂SO₄, NH₃, ασβέστης κλπ) και των βοηθητικών υλών (νερού) υπολογίστηκε για το 2007 στα €0.098175/gal παραγόμενης EtOH (Humbird et al., 2011). Λαμβάνοντας υπ' όψιν τον *Consumer Price Index* που για τον Σεπτέμβριο του 2014 είχε τιμή 92.7 ("Chemical Engineering Magazine, CPI," 2014), με έτος βάσης το 2007 προκύπτει ότι για το 2014 αυτό είναι:

$$\text{€}0.098175/\text{gal} \times 0.26 \text{ gal/l} \times (92.7/100) \times 20,650,000 \text{ l}/\text{έτος} = \text{€}488,623/\text{έτος}.$$

Οι δαπάνες για τις αμοιβές του προσωπικού της μονάδας υπολογίζονται με βάση την απαιτούμενη σύνθεσή του για τη λειτουργία της μονάδας, όπως αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.14 (Humbird et al., 2011) και εκτιμήσεις για τις αποδοχές τους από πηγές της αγοράς στην Ελλάδα. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.14 η ετήσια δαπάνη για τις αμοιβές εργασίας είναι €1,826,000 η οποία επιμερίζεται για την τροφοδοσία υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας σε $(100,000/770,000) \times \text{€}1,826,000/\text{έτος} = \text{€}237,143/\text{έτος}$.

Τα γενικά λοιπά έξοδα εκτιμήθηκαν για τη μονάδα στα € 2,800,000 εκ των οποίων τα €370,000/έτος επιμερίζονται στην τροφοδοσία των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας.

Πίνακας 4.14: Δαπάνες για τις αμοιβές του προσωπικού της μονάδας παραγωγής αιθανόλης

| Θέση | Αριθμός προσωπικού | Αμοιβή (€/μέλος) | Αμοιβή (€/γρ) |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Διευθυντής Μονάδας | 1 | 100,000 | 100,000 |
| Μηχανικοί/Προϊστάμενοι Τμημάτων | 8 | 60,000 | 480,000 |
| Συντηρητές | 12 | 25,000 | 300,000 |
| Εργαστηριακοί Τεχνικοί | 4 | 25,000 | 100,000 |
| Χειριστές | 28 | 25,000 | 700,000 |
| Εργάτες | 4 | 20,000 | 80,000 |
| Υπάλληλοι Γραφείου | 3 | 22,000 | 66,000 |
| Ετήσια Δαπάνη Αμοιβών Εργασίας | | | 1,826,000 |

Από την έρευνα της αγοράς προκύπτει ότι η τιμή πώλησης της αιθανόλης το 2014 είναι €0.45/l (“Platts, Global Ethanol Market Update,” 2014). Έτσι, τα έσοδα της μονάδας από την πώληση αιθανόλης προερχόμενης από την τροφοδοσία των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας υπολογίζονται σε 20,650,000 l/έτος \times €0.45/l = €9,292,500/έτος.

Η αυξημένη περιεκτικότητα της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας σε λιγνίνη συνεπάγεται αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την αντίστοιχη των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας. Συγκεκριμένα, αφού η τροφοδοσία 770,000t υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας περιεκτικότητας 13.3% σε λιγνίνη οδηγεί στην παραγωγή 109,330,000 kWh περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας (Humbird et al., 2011), οι 100,000 t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας περιεκτικότητας 30.1% σε λιγνίνη παράγουν ετησίως

$(30.1/13.3) \times (100,000/770,000) \times 109,800,000 \text{ kWh} = 32,272,000 \text{ kWh}$ περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας που αποδίδεται στο δίκτυο προς πώληση.

Στην Ελλάδα η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από βιομάζα (για την περίπτωση βιομάζας που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $\geq 5 \text{ MW}$) είναι €150/MWh (“ΔΕΣΜΗΕ, Τιμολόγηση ενέργειας από ΑΠΕ,” 2014). Επομένως τα έσοδα της μονάδας από την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας που αποδίδεται από τα υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας είναι:

$32,272 \text{ MWh/έτος} \times €150/\text{MWh} = €4,840,800/\text{έτος}$.

Τα οικονομικά στοιχεία της επένδυσης του σεναρίου, και συγκεκριμένα οι δαπάνες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία του καθώς και τα έσοδα όπως αυτά επιμερίζονται στην τροφοδοσία των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 4.15.

Πίνακας 4.15: Οικονομικά στοιχεία επένδυσης για το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή αιθανόλης

| | | €/yr |
|-----|---|-----------|
| (Α) | Δαπάνη αγοράς βιομάζας | 4,069,800 |
| (Β) | Δαπάνη απόσβεσης επένδυσης | 1,663,637 |
| (Γ) | Μεταβλητό κόστος λειτουργίας (β' ύλες, βοηθητικές ύλες) | 488,623 |
| (Δ) | Εργασία | 237,143 |
| (Ε) | Δαπάνες γενικών εξόδων/ Λοιπά έξοδα | 370,000 |
| (Ζ) | Έσοδα από την πώληση αιθανόλης | 9,292,500 |
| (Η) | Έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας | 4,840,800 |

Έτσι, το συνολικό οικονομικό όφελος της επένδυσης για το σενάριο είναι:

$(Ζ)+(Η)-(Α)-(Β)-(Γ)-(Δ)-(Ε)=€7,304,097/έτος$ ή ανηγμένο στην ποσότητα ξηρής βιομάζας που χρησιμοποιείται €73.0/t,έτος.

Επισημαίνεται ότι η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας (€150/MWh) περιέχει την κρατική ενίσχυση για την ανάπτυξη των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αφού το τελικό πλήρες κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη το 2012 στην Ελλάδα ανήλθε σε €59.93 /MWh (“ΔΕΗ,” 2014). Στην περίπτωση μηδενισμού της κρατικής ενίσχυσης τα έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας θα ήταν:

32,272 MWh/έτος χ €60/MWh=€1,963,320/έτος, και το συνολικό οικονομικό όφελος της επένδυσης για το σενάριο θα μειωνόταν στα €4,914,716/έτος.

Κοινωνικές Επιπτώσεις

Η δημιουργία εξήντα (60) θέσεων εργασίας είναι απαραίτητη για τη λειτουργία της μονάδας παραγωγής αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα υλικά. Από αυτές μπορούν να επιμεριστούν στην τροφοδοσία των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας οι $(100/770) \times 60 = 8$ θέσεις εργασίας.

5.4.3. Ανάλυση, αξιολόγηση

Όπως αναφέρθηκε στην §4.4, η συγκριτική αξιολόγηση των προαναφερόμενων σεναρίων θα γίνει με τη βοήθεια της μεθόδου *Analytic Hierarchy Process*, μέσω της οποίας θα υπολογιστεί η συνδυασμένη επίδοσή τους έναντι περιβαλλοντικών οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά είναι:

- i. Η περιβαλλοντική επίδοση του σεναρίου. Το περιβαλλοντικό φορτίο (επιβάρυνση) εκφράζεται μέσω του EI99. Έτσι το σενάριο με το μικρότερο EI99 είναι προτιμότερο κάποιου άλλου με μεγαλύτερη τιμή EI99.
- ii. Η οικονομική επίδοση του σεναρίου όπως εκφράζεται από το ετήσιο οικονομικό όφελος.
- iii. Η κοινωνική επίδοση όπως εκφράζεται από τον αριθμό των νέων θέσεων εργασίας που δημιουργούνται με την υλοποίηση του σεναρίου.

Η ικανοποίηση των κριτηρίων αυτών αποτελεί το ζητούμενο για διαφορετικές κατηγορίες φορέων λήψης απόφασης (*decision makers*). Συγκεκριμένα η μεγιστοποίηση της τιμής του κριτηρίου της οικονομικής επίδοσης αποτελεί το ζητούμενο για τις επιχειρήσεις, η μεγιστοποίηση της περιβαλλοντικής επίδοσης από τις κρατικές αρχές και τέλος η μεγιστοποίηση της κοινωνικής επίδοσης για τις τοπικές κοινωνίες που μπορεί να μην βρίσκονται στη θέση του φορέα λήψης απόφασης αλλά οπωσδήποτε επηρεάζουν τις αποφάσεις μέσω κοινωνικών πιέσεων κλπ.

Οι κρατικές αρχές που ασχολούνται με την εφαρμογή αναπτυξιακής πολιτικής θα μπορούσαν να αποφασίσουν για την πρόκριση του ενός ή του άλλου σεναρίου αναζητώντας αυτό που δίνει τη μέγιστη τιμή στην συνδυασμένη στα τρία κριτήρια επίδοση, ικανοποιώντας με αυτό τον τρόπο θεωρητικά τα αντικρουόμενα συμφέροντα των τριών μερών (επιχειρήσεων, κρατικών αρχών και τοπικών κοινωνιών). Η συγκριτική αξιολόγηση που παρουσιάζεται εδώ αφορά την εξυπηρέτηση ενός τέτοιου φορέα λήψης απόφασης. Βεβαίως αποτελεί και μοντέλο για την εξυπηρέτηση λήψης αποφάσεων για την ανάπτυξη οποιουδήποτε βιομηχανικού συστήματος παραγωγής και οποιουδήποτε είδους και αριθμού χρησιμοποιούμενων κριτηρίων.

Η μέθοδος *Analytic Hierarchy Process* που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνδυασμένης επίδοσης των σεναρίων έναντι του συνόλου των κριτηρίων είναι μια μαθηματική τεχνική για την οργάνωση και ανάλυση περίπλοκων αποφάσεων που αναπτύχθηκε από τον Thomas L. Saaty την δεκαετία του 1970 (Saaty, 1980). Έκτοτε έχει

διερευνηθεί επισταμένα και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο επιχειρήσεων, κυβερνήσεων, οργανισμών υγείας κλπ.

Στο Παράρτημα Β παρατίθεται συνοπτική περιγραφή της μεθόδου *Analytic Hierarchy Process* και του τρόπου εφαρμογής της στην παρούσα διατριβή για τον προσδιορισμό των συνδυασμένων επιδόσεων των εξεταζόμενων σεναρίων έναντι του συνόλου των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων.

Για τον προσδιορισμό των βαρών των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων κατασκευάζεται ο συγκριτικός πίνακας 3x3 που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.16.

Πίνακας 4.16: Συγκριτικός πίνακας ζευγών για τον προσδιορισμό των βαρών των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων

| | Κριτήριο 1. Περιβαλλοντική επίδοση | Κριτήριο 2. Οικονομική επίδοση | Κριτήριο 3. Κοινωνική επίδοση |
|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| Κριτήριο 1. Περιβαλλοντική επίδοση | 1 | 2 | 5 |
| Κριτήριο 2. Οικονομική επίδοση | ½ | 1 | 3 |
| Κριτήριο 3. Κοινωνική επίδοση | 1/5 | 1/3 | 1 |

Σχολιάζοντας τις τιμές του Πίνακα 4.16 σημειώνουμε τα εξής:

Στην οπτική του φορέα λήψης απόφασης (κρατική αρχή για την εφαρμογή αναπτυξιακής πολιτικής) η περιβαλλοντική επίδοση βαρύνει αρκετά και θεωρείται ελαφρώς σπουδαιότερη από την οικονομική επίδοση του σεναρίου. Η τελευταία μπορεί να απασχολεί αποκλειστικά εν τέλει μόνο τον υποψήφιο επενδυτή. Η κοινωνική επίδοση από την άλλη πλευρά έχει το μικρότερο βάρος μόνο και μόνο γιατί ο αριθμός των δημιουργούμενων θέσεων εργασίας είναι μικρός σε σχέση με το τεράστιο πρόβλημα ανεργίας της χώρας.

Με βάση τις τιμές του Πίνακα 4.16 υπολογίζονται τα βάρη των κριτηρίων που είναι:

$$w_1=0.58, w_2=0.31, w_3=0.11$$

Ο έλεγχος συνέπειας των τιμών δίνει $CI/RI=0$ που αντιστοιχεί στην ιδεατή περίπτωση του συνεπούς ως προς τις προτιμήσεις του φορέα λήψης απόφασης.

Στον Πίνακα 4.17 συνοψίζονται οι επιδόσεις των εξεταζόμενων σεναρίων όπως αυτές προσδιορίστηκαν στα προηγούμενα.

Πίνακας 4.17: Σύνοψη των προσδιορισμένων επιδόσεων των εξεταζόμενων σεναρίων χρήσης της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας

| | ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | |
|---|-------------------------------|--|---|
| | Περιβαλλοντική επίδοση (ΕΙ99) | Οικονομική επίδοση (οικονομικό όφελος €/ gr) | Κοινωνική επίδοση (Δημιουργούμενες θέσεις εργασίας) |
| Σενάριο χρήσης υπολειμμάτων βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως υποκατάστατου καυσίμου σε τσιμεντοβιομηχανία (Σενάριο Α) | -16.5 | 1.8 | 5 |
| Σενάριο χρήσης υπολειμμάτων βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης για την παραγωγή αιθανόλης (Σενάριο Β) | 26 | 73.0 | 8 |

Με βάση τις τιμές του Πίνακα 4.17 και την μεθοδολογία που παρατίθεται στο Παράρτημα Β, προκύπτει η επίδοση των σεναρίων έναντι των κριτηρίων που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.18.

Πίνακας 4.18: Επιδόσεις σεναρίων έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων

| | Σενάριο Α | Σενάριο Β |
|-----------------------------------|-----------|-----------|
| Κριτήριο περιβαλλοντικής επίδοσης | 9/10 | 1/10 |
| Κριτήριο οικονομικής επίδοσης | 1/10 | 9/10 |
| Κριτήριο κοινωνικής επίδοσης | 1/3 | 2/3 |

Έτσι η συνδυασμένη επίδοση κάθε σεναρίου στο σύνολο των κριτηρίων είναι:

$$P_A = 0.58 \chi_9/10 + 0.31 \chi_1/10 + 0.11 \chi_1/3 = 0.59 \text{ και } P_B = 0.58 \chi_1/10 + 0.31 \chi_9/10 + 0.11 \chi_2/3 = 0.41.$$

Οι επιδόσεις αυτές καθιστούν το σενάριο Α προτιμητέο του σεναρίου Β που σημαίνει ότι η χρήση της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως καυσίμου για την παραγωγή τσιμέντου υπερτερεί της χρήσης της ως α΄ ύλης για την παραγωγή αιθανόλης.

Από την ανάλυση ευαισθησίας που εφαρμόζεται δείχνεται ότι, διατηρουμένου του βάρους του κριτηρίου της κοινωνικής επίδοσης σταθερού, το σενάριο Β αρχίζει να γίνεται προτιμητέο του σεναρίου Α για τιμές $w_2 \geq 0.42$, δηλαδή για τις περιπτώσεις που η οικονομική επίδοση της επένδυσης αρχίζει και βαρύνει σημαντικά στην κρίση του φορέα λήψης απόφασης.

5.5. Συμπεράσματα

Σε αυτό το Κεφάλαιο της διατριβής εξετάσαμε το δυναμικό των λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων που προκύπτουν από την βαμβακοκαλλιέργεια και την καλαμποκοκαλλιέργεια στην Ελλάδα. Το δυναμικό αυτό υπολογίστηκε σε 2,079,000 t. Οι ποσότητες αυτές είναι αρκετές για να καλύψουν θεωρητικά την τροφοδοσία 3 μονάδων παραγωγής αιθανόλης (τροφοδοσίας 770,000 t/έτος) καθώς και για την παραγωγή περίπου 10,000,000 t κλίνκερ υπό την παραδοχή ότι τα υπολείμματα θα μπορούσαν να επιτύχουν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας κλινκεροποίησης. Επιπροσθέτως στις προαναφερόμενες ποσότητες θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν και άλλα λιγνοκυτταρινούχα υλικά (π.χ. υπολείμματα τοματοκαλλιέργειας, άχυρα μη προοριζόμενα για ζωοτροφή κλπ) ενισχύοντας το θεωρητικό ελληνικό δυναμικό των λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων.

Παράλληλα δώσαμε τα βασικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος τροφοδοσίας βιομάζας υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την υποκατάσταση συμβατικού καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας είτε για την παραγωγή βιοαιθανόλης σε παραγωγική μονάδα που χρησιμοποιεί την τεχνολογία που προτείνεται από το *NREL*. Τα δομικά μέρη του συστήματος είναι η συλλογή των υπολειμμάτων στο χωράφι, η ενδιάμεση αποθήκευσή τους και η μεταφορά τους.

Κατόπιν υλοποιήσαμε μια συγκριτική αξιολόγηση δυο επιλεγμένων σεναρίων χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας (σενάριο χρήσης τους ως υποκατάστατου συμβατικού καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας και σενάριο χρήσης τους ως *α' ύλης* για την παραγωγή βιοαιθανόλης) έναντι περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων. Η εν λόγω σύγκριση υλοποιήθηκε για λόγους επίδειξης της αντίστοιχης μεθόδου η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακριβώς ως έχει για οποιαδήποτε άλλη βιομάζα που δύναται να χρησιμοποιηθεί στα δυο σενάρια. Σημειώνουμε παρ' όλα αυτά ότι επιλέξαμε τη βιομάζα των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για τη σύγκριση επειδή αυτή παρουσιάζει ιδιότητες σε σχέση με τα υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας (π.χ. σχετικά μικρή πυκνότητα δέματος, σχετικά μικρούς ρυθμούς συλλογής κλπ) που επηρεάζουν αρνητικά τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιδόσεις του συστήματος, και θέλοντας με αυτό τον τρόπο να διερευνήσουμε την περίπτωση των συντηρητικών εκτιμήσεων όσον αφορά αυτές τις επιδόσεις.

Τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση μας παρουσιάζονται κατωτέρω:

- i. Η βιομάζα υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό καύσιμο μεταξύ άλλων σε μονάδα παραγωγής τσιμέντου στην Ελλάδα. Η χημική της σύσταση παρ' όλα αυτά επιτρέπει την χρήση της και ως *α' ύλης* για την παραγωγή αιθανόλης με εφαρμογή της τεχνολογίας βιοχημικής μετατροπής της (με κατεργασία με αραιό H_2SO_4 και ενζυματική υδρόλυση). Η περιεκτικότητα της συγκεκριμένης βιομάζας ευνοεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της καύσης των υπολειμμάτων από τη διεργασία απόσταξης της αιθανόλης, μέσω της οποίας βελτιώνεται η οικονομικότητα της μονάδας.

- ii. Στη διαμόρφωση της τιμής αγοράς της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας το κόστος της μεταφοράς από τους τόπους συλλογής της έως τις μονάδες αξιοποίησης της συμβάλλει κατά 31-77%. Κατ' αυτή την έννοια η δυναμικότητα της μονάδας εκμετάλλευσης μπορεί να καθορίσει και την τιμή αγοράς της βιομάζας, αφού μικρές δυναμικότητες αντιστοιχούν σε ποσότητες βιομάζας που μπορούν να μεταφερθούν από κοντινές αποστάσεις με μικρό κόστος μεταφοράς. Η τιμή αγοράς στην Ελλάδα είναι της τάξης €35/t.
- iii. Το σενάριο της χρήσης της συγκεκριμένης βιομάζας ως καυσίμου σε περιστροφική κάμινο τσιμεντοβιομηχανίας (σενάριο Α) υπερέχει στο κριτήριο της περιβαλλοντικής επίδοσης έναντι του άλλου σεναρίου για την παραγωγή αιθανόλης (σενάριο Β). Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της εξοικονόμησης συμβατικού καυσίμου (*retcoke*) αλλά και της «ουδετερότητας» του βιογενούς εκπεμπόμενου CO₂. Το σενάριο Β ξεκάθαρα υπερέχει του Α στο κριτήριο της οικονομικής επίδοσης. Αυτό οφείλεται αφενός στην τιμή αγοράς της αιθανόλης και αφετέρου στην επιδοτούμενη υψηλή τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο δημόσιο δίκτυο. Στο κριτήριο της κοινωνικής επίδοσης τα δυο σενάρια παρουσιάζονται περίπου ισότιμα.
- iv. Η συνδυασμένη επίδοση του σεναρίου Α στο σύνολο των κριτηρίων υπερέχει του σεναρίου Β καθιστώντας την χρήση της βιομάζας υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας προτιμητέα στην οπτική του συγκεκριμένου φορέα λήψης απόφασης (κρατικές υπηρεσίες εφαρμογής αναπτυξιακής πολιτικής) για τα συγκεκριμένα βάρη κριτηρίων (βάρος κριτηρίου περιβαλλοντικής επίδοσης: 0.58, βάρος κριτηρίου οικονομικής επίδοσης: 0.31, βάρος κριτηρίου κοινωνικής επίδοσης: 0.11).
- v. Όπως προκύπτει από την εφαρμοζόμενη ανάλυση ευαισθησίας το σενάριο Β αρχίζει να γίνεται προτιμητέο έναντι του Α για τιμές βάρους κριτηρίου οικονομικής επίδοσης ≥ 0.42 (τηρουμένου του βάρους του κριτηρίου της κοινωνικής επίδοσης σταθερού).

6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΩΣ Α΄ ΥΛΗΣ

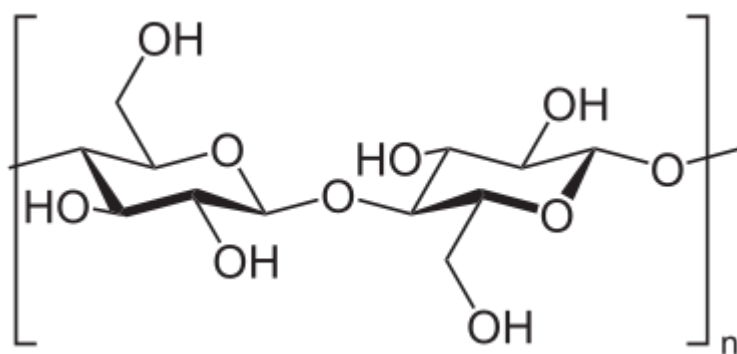
Η χρήση των βιοκαυσίμων έχει προταθεί για την αντιμετώπιση τόσο των αποτελεσμάτων της κλιματικής αλλαγής, αφού είναι ουδέτερα όσον αφορά την εκπομπή CO₂ (θέση η οποία είναι μόνο εν μέρει αληθής, βλ. Κεφάλαιο 2, §2.4.), όσο και της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων, αφού μπορούν να παραχθούν από ανανεώσιμα και ευρισκόμενα εν αφθονία στη φύση υλικά. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει τα τελευταία έτη στην εγκατάσταση και λειτουργία πολλών μονάδων παραγωγής βιοκαυσίμων παγκοσμίως, όπως biodiesel, και αιθανόλης τόσο από βρώσιμες σακχαρούχες όσο και από λιγνοκυτταρινούχες α΄ ύλες. Τα συστήματα παραγωγής *biodiesel* και αιθανόλης από σακχαρούχες α΄ ύλες είναι τα πλέον ώριμα μεταξύ αυτών. Αντίθετα τα συστήματα παραγωγής αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα γεωργικών υπολειμμάτων μόνο πολύ πρόσφατα απέκτησαν μονάδες εμπορικής κλίμακας.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε ζητήματα που άπτονται των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών πλευρών (των λεγόμενων τριών πυλώνων της αειφορίας) της παραγωγής και χρήσης της αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες ύλες ενώ εν τέλει θα αξιολογηθεί η αειφορία επιλεγμένων τέτοιων συστημάτων παραγωγής με βάση αντίστοιχα κριτήρια.

6.1. Φυσικοχημεία της λιγνοκυτταρίνης και τεχνικοοικονομικοί περιορισμοί για την παραγωγή της αιθανόλης

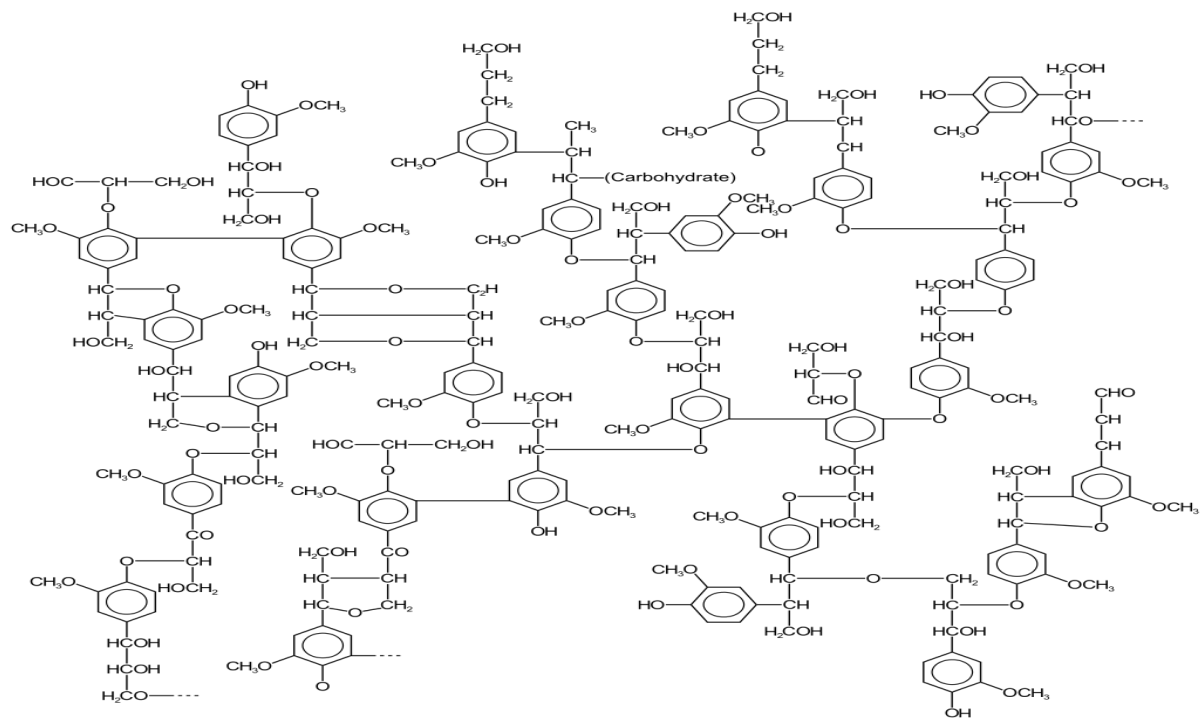
Η αιθανόλη παράγεται από τα λιγνοκυτταρινούχα υλικά μέσω βιοχημικής μετατροπής (ζύμωσης) των περιεχομένων σε αυτά πολυμερών μορφών σακχάρων, δηλαδή της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών.

Η κυτταρίνη είναι πολυμερές αποτελούμενο από γραμμική αλυσίδα εκατοντάδων έως χιλιάδων μονομερών D-γλυκόζης συνδεδεμένων μεταξύ τους με γλυκοζιτικούς δεσμούς (Εικόνα 5.1). Επιπλέον, με δεσμούς υδρογόνου συνδέονται οι ρίζες -OH με γειτονικά άτομα -O της ίδιας ή γειτονικής αλυσίδας. Το γεγονός αυτό κρατά στενά συνδεδεμένες τις αλυσίδες της κυτταρίνης αποδίδοντάς της τη μορφή μικροϊνιδίων και εξαιρετική αντοχή στον εφελκυσμό. Η κυτταρίνη είναι κρυσταλλική, αδιάλυτη στο νερό και στους περισσότερους οργανικούς διαλύτες ενώ μπορεί να αποδομηθεί στα μονομερή της (D-γλυκόζη) με επεξεργασία με πυκνά οξέα σε υψηλές θερμοκρασίες (Aita & Kim, 2010), (Klass, 1998).

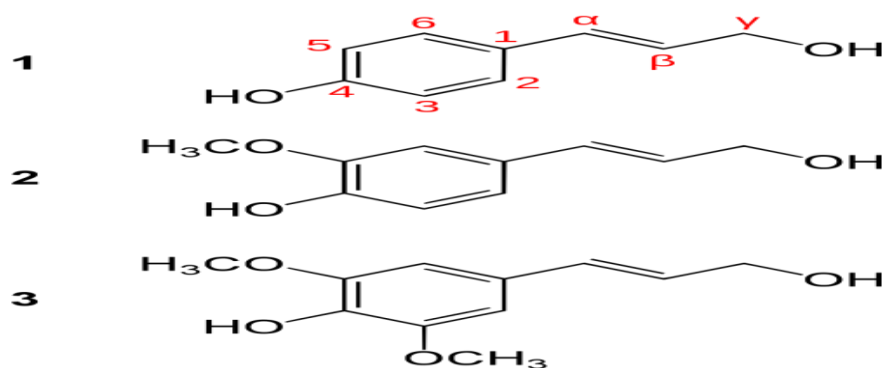


Εικόνα 5.1: Δομή της κυτταρίνης

Οι ημικυτταρίνες είναι πολυμερή γραμμικών ή και διακλαδισμένων αλυσίδων που σχηματίζονται από τη σύνδεση 150-300 διαφόρων μονομερών. Επιπλέον της D-γλυκόζης (που είναι μια εξόζη) μεταξύ των μονομερών βρίσκονται και πεντόζες με κυριότερες τη ξυλόζη, τη μανόζη, τη γαλακτόζη και την αραβινόζη (Klass, 1998), (Aita & Kim, 2010). Η λιγνίνη είναι το άλλο κυριότερο συστατικό της λιγνοκυτταρίνης. Είναι συμπολυμερές διασταυρούμενης αλυσίδας με μοριακό βάρος μεγαλύτερο του 10,000 (Εικόνα 5.2). Τα μονομερή που την συγκροτούν είναι κυρίως τρία φαινολικά παράγωγα, η p-κουμαρόλη (H), η κονιφερόλη (G) και η σιναπόλη (S) που παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό μεθοξύλιωσης (Εικόνα 5.3). Η λιγνίνη συνδέεται με την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες στα λιγνοκυτταρινούχα υλικά με δεσμούς αιθέρα (R-O-R-) ή/και εστέρα (R-C(=O)-O-R) δρώντας στην ουσία ως το συνδετικό μεταξύ τους υλικό. Η δομή της είναι ιδιαίτερα σύνθετη. Επίσης η λιγνίνη παρουσιάζεται να μειώνει την αποδοτικότητα της ενζυματικής υδρόλυσης αφού έλκει τις μονάδες της κυτταρίνης δημιουργώντας δεσμούς με αυτές και απενεργοποιώντας τις έτσι από το έργο της υδρόλυσης, (Klass, 1998), (Holladay et al., 2007), (Aita & Kim, 2010).



Εικόνα 5.2: Παράδειγμα τυπικής δομής λιγνίνης



Εικόνα 5.3: Τυπικά μονομερή λιγνίνης

(1: p-κουμαρόλη, 2: κονιφερόλη, 3: σιναπόλη)

Διάφορες πρωτεΐνες, λιπαρές ουσίες και τέφρα συμπληρώνουν τα συστατικά της λιγνοκυτταρίνης.

Για την παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχο υλικό απαραίτητο πρώτο στάδιο είναι ο διαχωρισμός της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών από το πλέγμα της λιγνοκυτταρίνης και κατόπιν η υδρόλυσή τους ώστε να προκύψει μίγμα μονομερών σακχάρων το οποίο είναι δυνατόν να μετασχηματιστεί σε αιθανόλη μέσω ζύμωσης. Ακριβώς η φυσικοχημεία της λιγνοκυτταρίνης (δομή) όπως αυτή περιγράφηκε στα ανωτέρω την καθιστά δύστροπη στο στάδιο του διαχωρισμού της κυτταρίνης-ημικυτταρινών. Άλλο ένα χαρακτηριστικό της εκάστοτε χρησιμοποιούμενης λιγνοκυτταρινούχας α' ύλης που δημιουργεί προβλήματα είναι η περιεκτικότητά της σε πεντόζες (ξυλόζη, γαλακτόζη κλπ). Αντίθετα από τις εξόζες (γλυκόζη),

οι πεντόζες (μανόζη, γαλακτόζη, αραβινόζη) παρουσιάζουν δυσκολία στη ζύμωσή τους προς αιθανόλη.

Για το διαχωρισμό και την υδρόλυση της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών έχουν προταθεί διάφορες τεχνολογίες κατεργασίας, οι κυριότερες των οποίων δίνονται κατωτέρω (Aita & Kim, 2010).

Μηχανική Προκατεργασία. Ο σκοπός αυτού του σταδίου είναι η ελάττωση του μεγέθους της α΄ ύλης (με τεμαχισμό, άλεση κλπ) και παράλληλα η αύξηση της ειδικής επιφάνειας η οποία μπορεί να αυξήσει τον βαθμό απόδοσης της υδρόλυσης. Είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρο στάδιο στην παραγωγική διαδικασία.

Φυσικοχημικές Προκατεργασίες. Μεταξύ άλλων έχουν προταθεί:

- Αυτοϋδρόλυση. Κατ' αυτήν, η λιγνοκυτταρίνη θερμαίνεται στους 240° C με ατμό υψηλής πίεσης για χρονικό διάστημα έως και μερικά λεπτά. Ακολουθεί στάδιο στιγμιαίας αποσυμπίεσης. Κατά την κατεργασία αυτή παράγονται υδρογονοϊόντα (H⁺) με τα οποία ευνοείται η διαλυτοποίηση των ημικυτταρινών. Κύριο μειονέκτημά της είναι η μερική αποσύνθεση των ημικυτταρινών προς τα μονομερή τους. Σαν λύση έχει προταθεί η ταυτόχρονη χρήση H₂SO₄ και SO₂ κατά τη διάρκειά της.
- Υδροθερμόλυση. Σε αυτήν χρησιμοποιείται νερό υπό πίεση και σε υψηλές θερμοκρασίες, τέτοιες όμως που να παραμένει σε υγρή φάση. Η κατεργασία λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία 140-300° C και σε χρονικό διάστημα 15 λεπτών και κατ' αυτήν διαχωρίζεται 4-22% της κυτταρίνης, όλες οι ημικυτταρίνες και 35-60% της λιγνίνης.
- Κατεργασία με υπερκρίσιμα ρευστά. Υπερκρίσιμα είναι τα ρευστά που βρίσκονται σε θερμοκρασία και πίεση πάνω από το θερμοδυναμικώς κρίσιμο σημείο. Κάτω από αυτό το σημείο, η υγρή και αέρια φάση του συνυπάρχουν, ενώ πάνω απ' αυτό η ουσία υπάρχει μόνο σε μια φάση που έχει χαρακτηριστικά τόσο υγρού όσο και αερίου. Η ιδιαιτερότητα αυτή επιτρέπει στο υπερκρίσιμο ρευστό, π.χ στο CO₂, να διεισδύει στη δομή της λιγνοκυτταρίνης και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες να οδηγεί στην υδρόλυση της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών.

Χημικές Προκατεργασίες. Μεταξύ άλλων έχουν προταθεί:

- Αλκαλικές κατεργασίες, οι οποίες ταξινομούνται ανάλογα με τον καταλύτη που χρησιμοποιείται σε μεταλλοκαταλυτικές (όπου χρησιμοποιούνται εναλλακτικά Ca(OH)₂, NaOH, KOH) και στις αμμωνιοκαταλυτικές (όπου χρησιμοποιείται NH₃). Χρησιμοποιούνται κυρίως για την απομάκρυνση της λιγνίνης ενώ παρέχουν μικρές αποδόσεις στη διαλυτοποίηση της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών. Σε κάθε περίπτωση το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι η δραστηκότητά τους εξαρτάται κυρίως από τη σύσταση της λιγνοκυτταρινούχας ύλης.
- Όξινη κατεργασία. Ο σκοπός της είναι η διαλυτοποίηση των ημικυτταρινών και η ενίσχυση της χωνευσιμότητας της κυτταρίνης. Πραγματοποιείται με την χρήση πυκνών ή αραιών οξέων (H₂SO₄, HCl, HNO₃ κ.α.) και εφαρμόζεται σε μεγάλο εύρος λιγνοκυτταρινούχων υλικών που περιλαμβάνει δασικά υπολείμματα, γεωργικά υπολείμματα όπως και χόρτα. Η όξινη κατεργασία με αραιό οξύ ευνοεί τη διαλυτοποίηση των ημικυτταρινών και ιδιαίτερα της ξυλάνης (πολυμερούς της

ξυλόζης) αλλά επί πλέον και στη διάσπαση των διαλυτοποιημένων ημικυτταρινών στα μονομερή σάκχαρα τους. Επίσης η παραγωγή ανεπιθύμητων παραπροϊόντων κατά τη φάση της υδρόλυσης όπως οι φουρφουράλες και η HMF (υδροξυμεθυλοφουρφουράλη) είναι μικρότερη στην κατεργασία με αραιά οξέα από αυτή με πυκνά. Πριν το στάδιο της ζύμωσης των σακχάρων είναι απαραίτητη η απομάκρυνση των οξέων ή εξουδετέρωσή τους, γεγονός που οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αλάτων και προκαλεί επιπρόσθετη οικονομική επιβάρυνση.

- Οξειδωτική κατεργασία. Σε αυτή χρησιμοποιείται H_2O_2 ως οξειδωτικός παράγων σε συνδυασμό με αέρα ή O_2 . Σκοπός της κατεργασίας είναι η απομάκρυνση της λιγνίνης και των ημικυτταρινών με ελάχιστη διάσπαση των σακχάρων και των ανεπιθύμητων τοξικών παραπροϊόντων. Η υδρόλυση των ημικυτταρινών προς παραγωγή περισσότερο πολυμερών σακχάρων παρά μονομερών αλλά και το κόστος του H_2O_2 είναι τα κυριότερα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας.
- Κατεργασία *Organosolv*. Χρησιμοποιούνται οργανικοί διαλύτες χαμηλού (αιθανόλη, μεθανόλη) ή υψηλού (αιθυλενογλυκόλη, γλυκερίνη) σημείου ζέσης, αιθέρες, κετόνες και φαινόλες. Οι προτιμώμενες συνθήκες της κατεργασίας εξαρτώνται από τη φύση της α' ύλης αλλά εν γένει αυτή λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία 180-195° C για χρονικό διάστημα 30-90 min, συγκέντρωση αιθανόλης 35-70% κ.β. και αναλογία στερεών/υγρού 10% κ.β. Από την κατεργασία παράγονται ξηρά λιγνίνη, ένα υδατικό ρεύμα ημικυτταρινών και ένα ρεύμα καθαρής κυτταρίνης. Ο χρησιμοποιούμενος διαλύτης επανακτάται με απόσταξη. Στα πλεονεκτήματα της κατεργασίας περιλαμβάνεται η ανάκτηση του χρησιμοποιούμενου διαλύτη και η παραγωγή σχετικά καθαρής λιγνίνης. Παρ' όλα αυτά οι οργανικοί διαλύτες είναι ακριβοί ενώ και η ανάκτησή τους είναι ενεργοβόρα διαδικασία. Άλλο ένα μειονέκτημα της κατεργασίας σχετίζεται επίσης με τους χρησιμοποιούμενους οργανικούς διαλύτες αφού αυτοί δεν είναι περιβαλλοντικά φιλικό ή «πράσινο» και επομένως δεν συμβάλλουν στην αειφορία.

Βιολογική προκατεργασία. Σε αυτή χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί, όπως οι καφέ (*Schizophyllum commune*, *Fomes fomentarius* κλπ) και λευκοί (*Phanerochaete chrysosporium*) μύκητες, για την αποσύνθεση της λιγνοκυτταρίνης. Οι καφέ αποσυνθέτουν την κυτταρίνη ενώ οι λευκοί και την κυτταρίνη και την λιγνίνη. Εν γένει η βιολογική κατεργασία παρέχει πλεονεκτήματα όπως η μη χρήση χημικών, η μικρή κατανάλωση ενέργειας, το μικρό κόστος της πάγιας επένδυσης και η μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Παρ' όλα αυτά το κύριο μειονέκτημά τους είναι η μικρή ταχύτητα υδρόλυσης σε σχέση με τις άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η επίδραση των προαναφερόμενων τεχνολογιών κατεργασίας σε συγκεκριμένες φυσικοχημικές παραμέτρους της λιγνοκυτταρίνης (Aita & Kim, 2010). Όπως προκύπτει, η όξινη προκατεργασία έχει θετική επίδραση στη φυσικοχημεία της λιγνοκυτταρίνης για την παραγωγή αιθανόλης εκτός από τις παραμέτρους της πλήρους απομάκρυνσης της λιγνίνης και της παραγωγής τοξικών (για τις ακολουθούμενες διεργασίες) παραπροϊόντων.

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των προαναφερόμενων τεχνολογιών κατεργασίας. Σε αυτόν φαίνεται ότι η τεχνολογία της όξινης κατεργασίας είναι η μοναδική από τις αναφερόμενες που ευνοεί την παραγωγή γλυκόζης και είναι αποδοτική σε αυτό. Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα την καθιστά την επικρατέστερη υποψήφια για την χρήση της σε συστήματα παραγωγής βιοαιθανόλης.

Πίνακας 5.1: Επίδραση των τεχνολογιών προκατεργασίας σε συγκεκριμένες φυσικοχημικές παραμέτρους της λιγνοκυτταρίνης

| | Αύξηση της προσβάσιμης ειδικής επιφάνειας | Αποκρυστάλλωση κυτταρίνης | Διαλυτοποίηση ημικυτταρινών | Διαχωρισμός λιγνίνης | Παραγωγή ανεπιθύμητων τοξικών συστατικών | Αλλαγή της δομής της λιγνίνης |
|--------------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|----------------------|--|-------------------------------|
| Μηχανική | + | + | | | | |
| Θερμοϋδρόλυση | + | - | + | +/- | - | +/- |
| Όξινη | + | + | + | - | + | + |
| Αλκαλική - Ca(OH) ₂ | + | +/- | - | +/- | - | + |
| Αλκαλική (NH ₃) | + | + | - | + | - | + |
| Οξειδωτική | + | - | +/- | +/- | - | + |
| Organosolv | + | - | +/- | +/- | +/- | + |
| Αυτοϋδρόλυση | + | - | + | +/- | + | + |
| Βιολογική | + | | + | + | | + |

(+): ευνοϊκή για τη συγκεκριμένη απαίτηση, (-):μη ευνοϊκή για τη συγκεκριμένη απαίτηση, (+/-): αδιάφορη

Πηγή: (Aita & Kim, 2010)

Πίνακας 5.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών προκατεργασίας της λιγνοκυτταρίνης

| | Πλεονέκτημα | Μειονέκτημα |
|--------------------------------------|--|---|
| Μηχανική | <ul style="list-style-type: none"> • Μειώνει την κρυσταλλικότητα της κυτταρίνης | <ul style="list-style-type: none"> • Ενεργοβόρα τεχνολογία |
| Θερμοϋδρόλυση | <ul style="list-style-type: none"> • Αποσυνθέτει τη λιγνίνη και διαλυτοποιεί τις ημικυτταρίνες • Η μεγαλύτερη ποσότητα της κυτταρίνης διατηρείται • Δεν απαιτείται στάδιο ουδετεροποίησης | <ul style="list-style-type: none"> • Μερική αποσύνθεση των ημικυτταρινών • Παραγωγή ουσιών που δρουν ως παρεμποδιστές για τις επόμενες διεργασίες • Απαιτείται στάδιο αποτοξικοποίησης |
| Όξινη | <ul style="list-style-type: none"> • Υψηλή απόδοση στην παραγωγή γλυκόζης • Λαμβάνει χώρα στις επικρατούσες περιβαλλοντικά συνθήκες θερμοκρασίας | <ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος • Απαιτείται η ανάκτηση των χρησιμοποιούμενων οξέων • Προβλήματα διάβρωσης εξοπλισμού • Παραγωγή παρεμποδιστών • Απαιτείται στάδιο ουδετεροποίησης |
| Αλκαλική - Ca(OH)₂ | <ul style="list-style-type: none"> • Αυξάνει τη προσβάσιμη ειδική επιφάνεια • Απομακρύνεται η λιγνίνη και οι ημικυτταρίνες | <ul style="list-style-type: none"> • Δημιουργούνται μη ανακτώμενα άλατα τα οποία διεισδύουν στην επεξεργαζόμενη βιομάζα • Απαιτούνται μεγάλα χρονικά διαστήματα αντίδρασης |

| | | |
|----------------------------------|--|---|
| Αλκαλική (NH₃) | <ul style="list-style-type: none"> • Αυξάνει την προσβάσιμη ειδική επιφάνεια • Απομακρύνεται η λιγνίνη και οι ημικυτταρίνες • Δεν παράγονται παρεμποδιστές | <ul style="list-style-type: none"> • Μη αποδοτική για υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα λιγνίνης • Κόστος της NH₃ |
| Οξειδωτική | <ul style="list-style-type: none"> • Αποδοτικός διαχωρισμός λιγνίνης • Ελαχιστοποιεί τις απαιτήσεις σε ενέργεια (εξώθερμη διεργασία) • Μικρή παραγωγή παρεμποδιστών | <ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος καταλυτών • Ατελής υδρόλυση των ημικυτταρινών • Μη ελεγχόμενη αντίδραση ενεργών ομάδων οξυγόνου |
| Organosolv | <ul style="list-style-type: none"> • Υδρολύει λιγνίνη και ημικυτταρίνες • Ανάκτηση σχετικά καθαρής λιγνίνης | <ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος • Απαιτείται η ανάκτηση και ξήρανση των καταλυτών • Μη ασφαλής διεργασία εξαιτίας της υψηλής πτητικότητας των χρησιμοποιούμενων οργανικών διαλυτών |
| Αυτοϋδρόλυση | <ul style="list-style-type: none"> • Αποσυνθέτει τη λιγνίνη και διαλυτοποιεί τις ημικυτταρίνες • Οικονομικά αποδοτική | <ul style="list-style-type: none"> • Ατελής διάσπαση του συμπλέγματος κυτταρίνης-λιγνίνης • Μερική αποσύνθεση των ημικυτταρινών • Παραγωγή ουσιών που δρουν ως παρεμποδιστές για τις επόμενες διεργασίες |
| Βιολογική | <ul style="list-style-type: none"> • Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια • Διασπά λιγνίνη και ημικυτταρίνες | Πολύ μικρός ρυθμός υδρόλυσης σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες |

Πηγή: (Aita & Kim, 2010)

Το εργαστήριο των Η.Π.Α. *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, αξιοποιώντας αυτό το πλεονέκτημα της εκλεκτικότητας ως προς την παραγωγή γλυκόζης, ανέπτυξε τεχνολογία παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας βασιζόμενη στην όξινη προκατεργασία (Humbird et al., 2011). Κατά την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας και την κατασκευή *pilot plant* το *NREL* βελτίωσε παλαιότερη τεχνολογική πρόταση (Aden et al., 2002). Οι κυριότερες βελτιώσεις και αλλαγές αφορούσαν τα κάτωθι (Humbird et al., 2011).

- Λεπτομερής σχεδιασμός του αντιδραστήρα όξινης κατεργασίας της βιομάζας.
- Αλλαγή του χρησιμοποιούμενου μέσου εξουδετέρωσης της όξινα κατεργασμένης βιομάζας. Στην προτεινόμενη τεχνολογία του 2011 χρησιμοποιείται NH_3 αντί του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που χρησιμοποιούνταν το 2002. Η αλλαγή αυτή οδηγεί στη εξάλειψη του σταδίου διαχωρισμού στερεών-υγρών που απαιτούνταν για την απομάκρυνση των παραγόμενων παραπροϊόντων συμβάλλοντας έτσι στην οικονομικότητα της μονάδας.
- Η ενζυματική υδρόλυση και η ζύμωση σχεδιάστηκαν ως ασυνεχείς διεργασίες. Ένας συνεχής αντιδραστήρας ενζυματικής υδρόλυσης λειτουργεί επίσης πριν από τους ασυνεχείς αντιδραστήρες, μέσα στον οποίο εκκινεί η διεργασία της υδρόλυσης.
- Προτιμήθηκε η ανάπτυξη *on site* μονάδας παραγωγής των χρησιμοποιούμενων ενζύμων.
- Ανασχεδιάστηκε λεπτομερώς το τμήμα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με στόχο την με ακρίβεια επεξεργασία των υψηλών επίπεδων N και S, που προέρχονται από το στάδιο ανύψωσης του pH της όξινα κατεργασμένης βιομάζας με τη χρήση NH_3 .

Η προτεινόμενη από το *NREL* τεχνολογία αποτελεί λοιπόν, με βάση τα ανωτέρω, μια από τις πλέον επισταμένα μελετημένες προτάσεις. Ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής μονάδας παραγωγής που χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη τεχνολογία παρουσιάστηκε ήδη στο Σχήμα 4.2. Παραδείγματα βιομηχανικών μονάδων παραγωγής που χρησιμοποιούν παρόμοια τεχνολογία είναι η μονάδα της *DuPont* στη Νεβάδα των Η.Π.Α. καθώς και η μονάδα της κοινοπραξίας των εταιρειών *POET-DSM* στην Αϊόβα των Η.Π.Α. (“*DuPont Nevada Site Cellulosic Ethanol Facility*,” 2014), (*POET-DSM*, 2014).

Βεβαίως στην προτεινόμενη τεχνολογία η υπολειπόμενη λιγνίνη οδηγείται μαζί με άλλα οργανικά παραπροϊόντα (μη μετασχηματισμένες κυτταρίνη και ημικυτταρίνες, στερεά διαχωρισμένα κατά το στάδιο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση) προς καύση σε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συγκρότημα *combustor, power generator*). Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται προς ιδιοκατανάλωση (κάλυψη αναγκών της μονάδας) αλλά και προς πώληση στο δημόσιο δίκτυο. Η λύση αυτή συμβάλλει στην οικονομικότητα της μονάδας.

Ωστόσο, υπάρχει προβληματισμός στους κόλπους της επιστημονικής κοινότητας διεθνώς για την χρήση της λιγνίνης. Συγκεκριμένα η χρήση της λιγνίνης για παραγωγή θερμικής και κατ’ επέκταση ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται περιορισμένου ορίζοντα τη στιγμή που υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας από αυτήν (Holladay et al., 2007). Η λιγνίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί εν δυνάμει στις κάτωθι εφαρμογές (“*About Lignin, International Lignin Institute*,” 2014).

- Παραγωγή πολύ-πολικών υλικών. Καθώς η λιγνίνη περιέχει ταυτόχρονα υδρόφιλες και υδρόφοβες ομάδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά από κατάλληλη επεξεργασία που θα ενισχύει αυτές τις ιδιότητες ως γαλάκτωμα ή ως παράγων διασποράς.
- Παραγωγή υλικών. Η λιγνίνη είναι φυσικό διακλαδισμένο συμπολυμερές το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή συνδετικών υλικών, θερμοσκληρυνόμενων ελαστικών κλπ.
- Αγροτικές εφαρμογές. Η λιγνίνη καθώς και τα παράγωγα της χρησιμοποιούνται τόσο στη διαμόρφωση εδαφών όσο και στην διατροφή των ζώων.
- Παραγωγή προϊόντων υψηλής καθαρότητας και αξίας. Η λιγνίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο συστατικό σε εφαρμογές τροφίμων και καλλυντικών όπως γέλες ή γαλακτωματοποιητές. Επίσης είναι κατάλληλη ως δραστικό συστατικό με αντιοξειδωτικές, αντιβακτηριδιακές και αντιϊκές ιδιότητες.

Έτσι, αρκετοί ερευνητές κατευθύνουν τις προσπάθειες τους στην αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων της λιγνίνης με σκοπό μεταξύ άλλων την ενίσχυση της οικονομικότητας των μονάδων παραγωγής της αφού αυτή παράγεται κυρίως ως παραπροϊόν στη βιομηχανία παραγωγής χαρτιού αλλά και στις μονάδες παραγωγής βιοαιθανόλης.

6.2. Αξιολόγηση πέντε εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης από γεωργικά υπολείμματα

Ακολούθως θα αξιολογηθούν πέντε εναλλακτικά συστήματα παραγωγής βιοαιθανόλης που χρησιμοποιούν υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας ως α΄ ύλη. Και τα πέντε συστήματα χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία όσον αφορά στο στάδιο παραγωγής της αιθανόλης και συγκεκριμένα αυτήν που έχει προταθεί από το *NREL* και περιγράφηκε στις §4.4.2 και 5.1. Η διαφοροποίηση τους έγκειται στον τρόπο αξιοποίησης της υπολειπόμενης από το στάδιο παραγωγής αιθανόλης λιγνίνης.

Για την αξιολόγηση αυτών των συστημάτων προτείνεται η χρήση μεθόδου που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της περιβαλλοντικής, της οικονομικής και της κοινωνικής επίδοσης ενός εκάστου συστήματος. Η περιβαλλοντική επίδοση προσδιορίζεται μέσω εφαρμογής *ECKZ (SimaPro software, version 7.3)*, ενώ η οικονομική επίδοση μέσω οικονομικής ανάλυσης (Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της επένδυσης κάθε συστήματος). Η κοινωνική επίδοση των συστημάτων εκτιμάται με κριτήριο τις θέσεις εργασίας που δημιουργούνται από το καθένα από αυτά. Ακολουθεί ο προσδιορισμός της συνδυασμένης (ολικής) επίδοσης των συστημάτων και η κατάταξή τους με βάση την επίδοση αυτή. Η συνδυασμένη επίδοση χρησιμοποιείται ως μέτρο της αειφορίας των συστημάτων. Για τον προσδιορισμό της συνδυασμένης επίδοσης χρησιμοποιείται η μέθοδος *AHP*, όπως αυτή περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4 και στο Παράρτημα Β.

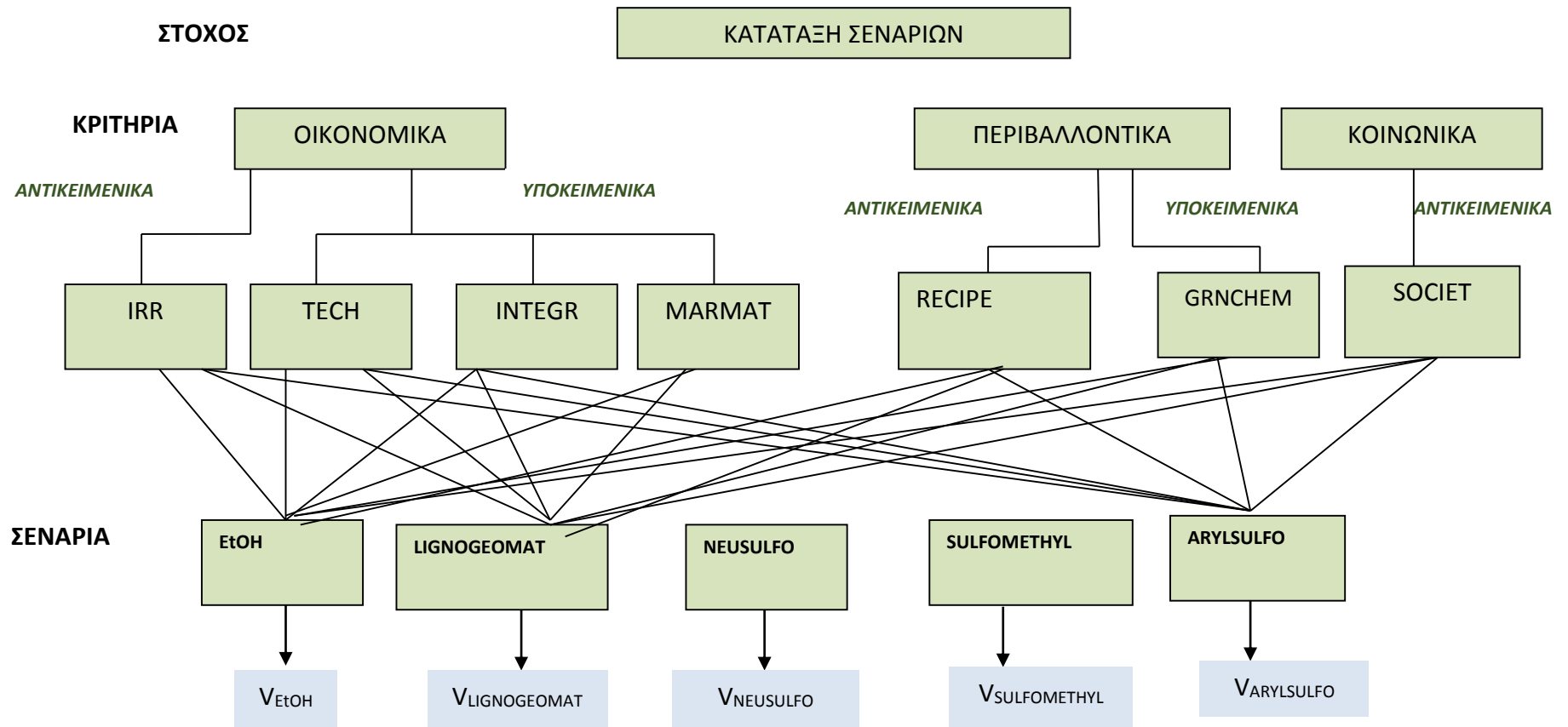
Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται το δέντρο της διαδικασίας λήψης απόφασης σχετικά με την προαναφερόμενη αξιολόγηση.

6.2.1. Περιγραφή των πέντε εναλλακτικών τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης

Στο πλαίσιο των προαναφερομένων ερευνητικών προσπαθειών για την αξιοποίηση της υπολειπόμενης λιγνίνης από την παραγωγή βιοαιθανόλης, οι κάτωθι λύσεις, μεταξύ άλλων, έχουν προταθεί από διαφορετικούς ερευνητές.

- Παραγωγή *lignosulfonates*. Τα *lignosulfonates* προκύπτουν με προσθήκη σουλφονικών ριζών (SO_3^-) στη δομή της λιγνίνης με διάφορες μεθόδους (Matsushita & Yasuda, 2005). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα στο τσιμέντο και το σκυρόδεμα, σαν παράγοντες διασποράς, ως α΄ ύλη για την παραγωγή βανιλίνης κ.α.
- Χρήση της υπολειπόμενης λιγνίνης ως έχει σε εφαρμογές σταθεροποίησης εδαφών σε έργα πολιτικού μηχανικού (δρόμοι, υποδομές, κ.α.).

Με βάση τα παραπάνω θεωρούνται τα εξής πέντε διαφορετικά τεχνολογικά συστήματα που χρησιμοποιούν ως α΄ ύλη υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας και τα οποία παράγουν:



Σχήμα 5.1: Δέντρο διαδικασίας λήψης απόφασης σχετικά με την αξιολόγηση των πέντε εξεταζόμενων εναλλακτικών σεναρίων παραγωγής βιοαιθανόλης

- Αιθανόλη και ηλεκτρική ενέργεια προοριζόμενη τόσο για ιδιοκατανάλωση όσο και για πώληση στο δημόσιο δίκτυο (**σενάριο EtOH**), (Humbird et al., 2011).
- Αιθανόλη, ηλεκτρική ενέργεια προοριζόμενη για ιδιοκατανάλωση και *lignosulfonates* μέσω διεργασίας ουδέτερης σουλφόνωσης (**σενάριο NEUSULFO**), (Matsushita & Yasuda, 2005).
- Αιθανόλη, ηλεκτρική ενέργεια προοριζόμενη για ιδιοκατανάλωση και *lignosulfonates* μέσω διεργασίας μεθυλσουλφόνωσης (**σενάριο SULFOMETHYL**), (Matsushita & Yasuda, 2005).
- Αιθανόλη, ηλεκτρική ενέργεια προοριζόμενη για ιδιοκατανάλωση και *lignosulfonates* μέσω διεργασίας αρυλσουλφόνωσης (**σενάριο ARYLSULFO**), (Matsushita & Yasuda, 2005).
- Αιθανόλη, ηλεκτρική ενέργεια προοριζόμενη για ιδιοκατανάλωση και πώληση της υπολειπόμενης λιγνίνης για χρήση της ως γεω-υλικό σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού (**σενάριο LIGNOGEOMAT**), (Ceylan et al., 2010).

Τα συστήματα εξετάζονται κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας που περιλαμβάνει την συλλογή και μεταφορά της απαιτούμενης βιομάζας και την μετατροπή της στο εργοστάσιο σε αιθανόλη και στα άλλα παραπροϊόντα. Βεβαίως για μια κοινή σύγκριση των συστημάτων θα ήταν αρκετή η σύγκριση των μη κοινών σταδίων τους και ο αποκλεισμός των κοινών σταδίων, όπως η παραγωγή της αιθανόλης, η συλλογή και η μεταφορά της βιομάζας. Η σκοπιμότητα της συμπερίληψης όλων των σταδίων στη σύγκριση προκύπτει ως αναγκαιότητα πληρότητας της συνολικής επίδοσης των συστημάτων για πιθανή σύγκρισή τους με άλλα διαφορετικά συστήματα.

Τα στάδια που απαρτίζουν καθένα από τα συστήματα είναι:

- *Συλλογή και μεταφορά της βιομάζας στο εργοστάσιο*

Η συλλογή της βιομάζας περιλαμβάνει την κοπή των καλαμποκοστελεχών κατά το στάδιο του αλωνισμού του καρπού και τη δεματοποίηση τους σε μεγάλες κυλινδρικές μπάλες. Ακολουθεί η μεταφορά τους προς *depot* για ενδιάμεση αποθήκευση και η μεταφορά τους στο εργοστάσιο παραγωγής σύμφωνα με προκαθορισμένο πρόγραμμα παραδόσεων. Για τη μεταφορά χρησιμοποιούνται φορτηγά μεταφορικής ικανότητας 28 t τα οποία θεωρείται ότι κατά το δρομολόγιο της επιστροφής είναι κενά φορτίου. Το στάδιο αυτό δηλαδή βρίσκεται σε πλήρη αναλογία με το μοντέλο του συστήματος συλλογής και εφοδιασμού της βιομηχανίας με υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας που περιγράφηκε στην §4.2. Στον Πίνακα 5.3. παρατίθενται τιμές για τις κυριότερες παραμέτρους του συστήματος συλλογής και μεταφοράς της βιομάζας.

Πίνακας 5.3: Κυριότερες παράμετροι του συστήματος συγκομιδής και μεταφοράς βιομάζας υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας

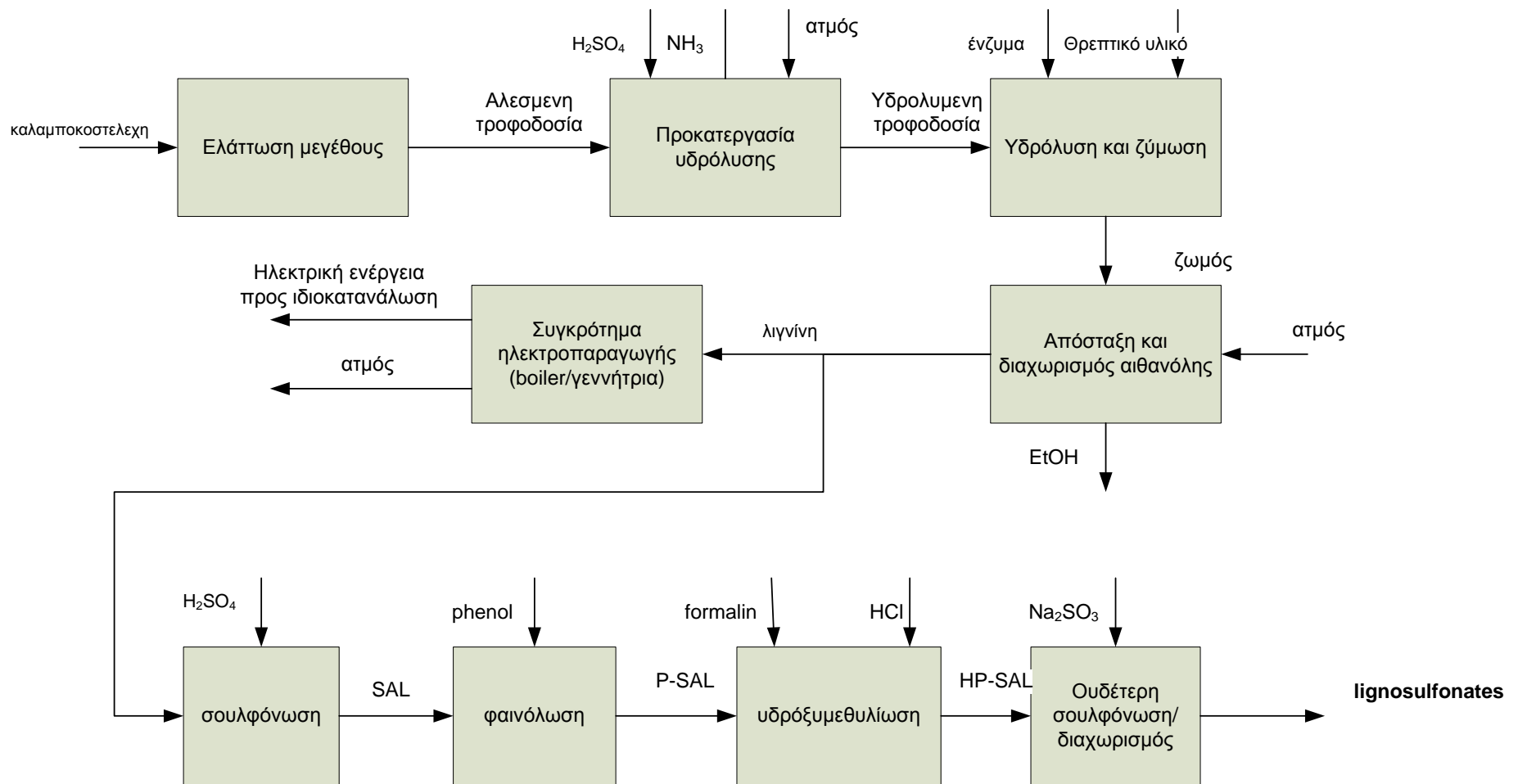
| Παράμετρος | Τιμή | Παρατηρήσεις |
|--|---------|--|
| Απόδοση χωραφιών σε υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας (t/ha) | 5.7-7.5 | |
| Περιεχόμενη υγρασία βιομάζας (%), 3 ημέρες μετά από τη συγκομιδή | 14% | Για τις καιρικές συνθήκες της περιόδου συγκομιδής |
| Συνολικός ρυθμός συγκομιδής συνεργείου (t/h) | 4 | |
| Διάμετρος κυλινδρικού δέματος (m) | 1.2 | |
| Μήκος κυλινδρικού δέματος (m) | 1 | |
| Βάρος δέματος (t) | 0.45 | |
| Ειδικό βάρος δέματος υπολειμμάτων (t/m ³) | 0.45 | |
| Χωρητικότητα φορτηγών μεταφοράς (δέματα) | 50 | Για φορτηγό ρυμουλκούμενο επί ρυμουλκού μεταφορικής ικανότητας 28t |
| Χωρητικότητα φορτηγών μεταφοράς (t) | 22.5 | Για φορτηγό ρυμουλκούμενο επί ρυμουλκού |
| Τιμή απόκτησης βιομάζας (DDP) (\$/t) | 58.5 | (Humbird et al., 2011) |
| Μεταφορά βιομάζας από το χωράφι στο depot για την παραγωγή 1 Kg EtOH (tkm) | 0.0204 | Με την χρήση τρακτέρ και ρυμουλκούμενης πλατφόρμας |
| Μεταφορά βιομάζας από το depot στο εργοστάσιο παραγωγής για την παραγωγή 1 kg EtOH (tkm) | 0.2645 | Με την χρήση φορτηγού μεταφορικής ικανότητας 28t |

- Βιομηχανική διεργασία παραγωγής αιθανόλης και παραπροϊόντων

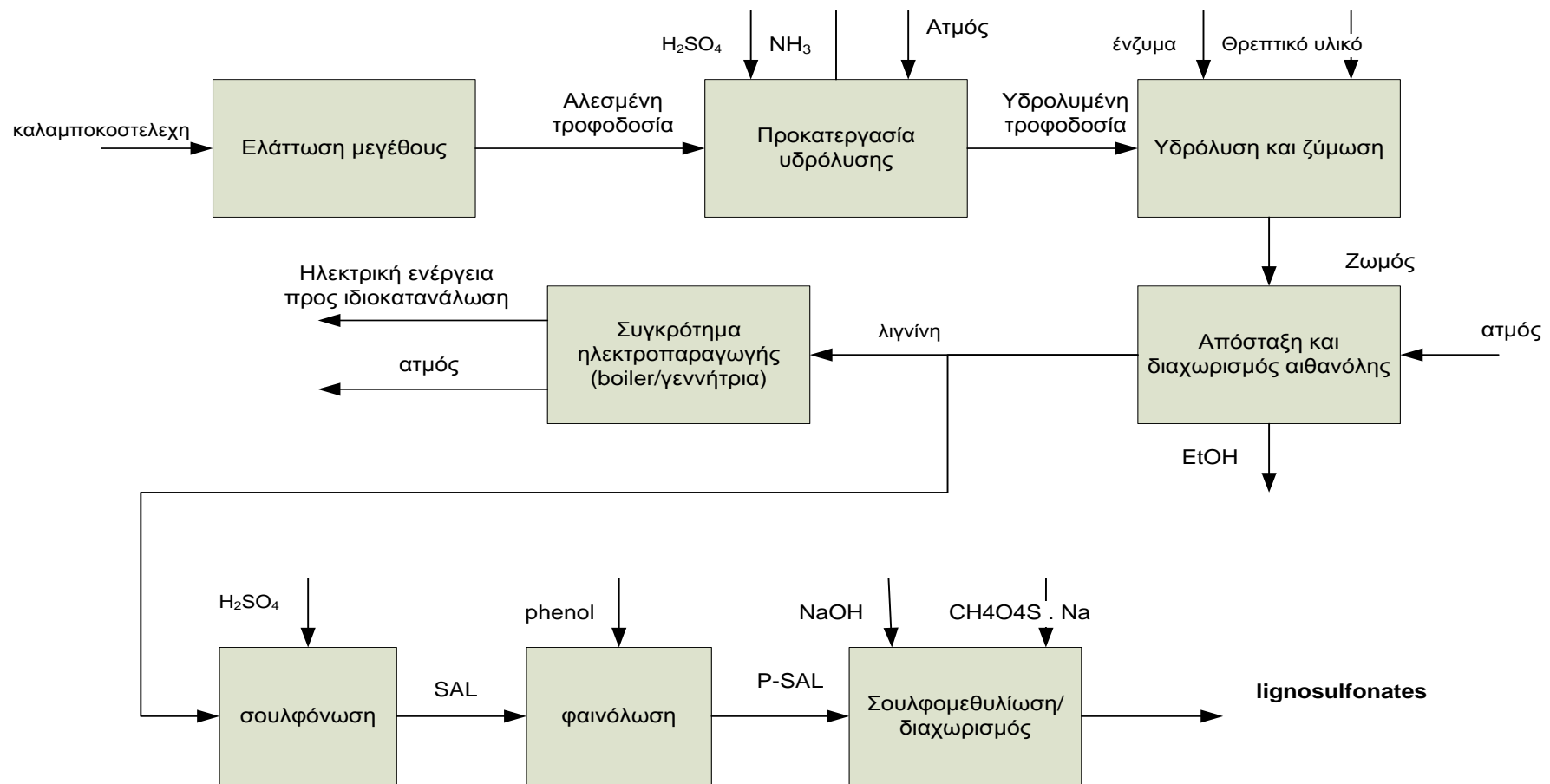
Οι πέντε βιομηχανικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται σε καθένα από τα εναλλακτικά σενάρια είναι:

- **Σενάριο EtOH.** Παραγωγή αιθανόλης μέσω προϋδρόλυσης με αραιό H_2SO_4 , ενζυματικής υδρόλυσης και ζύμωσης της βιομάζας, ακολουθούμενης από καύση της υπολειπόμενης λιγνίνης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς ιδιοκατανάλωση και προς πώληση στο δημόσιο δίκτυο (Humbird et al., 2011), βλ. Σχήμα 4.2.
- **Σενάριο NEUSULFO.** Παραγωγή αιθανόλης σύμφωνα με τα παραπάνω και καύση μέρους της υπολειπόμενης λιγνίνης για την παραγωγή ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την ιδιοκατανάλωση της μονάδας. Η υπόλοιπη ποσότητα της λιγνίνης χρησιμοποιείται για την παραγωγή *lignosulfonates* μέσω μιας διεργασίας που περιλαμβάνει διαδοχικά τη φαινόλωση της λιγνίνης (προσθήκη $-C_6H_5O$), την υδροξυμεθυλίωση της φαινολωθείσης λιγνίνης (προσθήκη $-CH_2OH$) και την ουδέτερη σουλφόνωση της τελευταίας (προσθήκη SO_3^-) (Matsushita & Yasuda, 2005), βλ. Σχήμα 5.2.
- **Σενάριο SULFOMETHYL.** Παραγωγή αιθανόλης και καύση μέρους της υπολειπόμενης λιγνίνης για την παραγωγή ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την ιδιοκατανάλωση της μονάδας. Η υπόλοιπη ποσότητα της λιγνίνης χρησιμοποιείται για την παραγωγή *lignosulfonates* μέσω μιας διεργασίας που περιλαμβάνει διαδοχικά τη φαινόλωση της λιγνίνης (προσθήκη $-C_6H_5O$) και τη σουλφομεθυλίωση της τελευταίας (Matsushita & Yasuda, 2005), βλ. Σχήμα 5.3.
- **Σενάριο ARYLSULFO.** Παραγωγή αιθανόλης και καύση μέρους της υπολειπόμενης λιγνίνης για την παραγωγή ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την ιδιοκατανάλωση της μονάδας. Η υπόλοιπη ποσότητα της λιγνίνης χρησιμοποιείται για την παραγωγή *lignosulfonates* μέσω μιας διεργασίας που περιλαμβάνει διαδοχικά τη φαινόλωση της λιγνίνης (προσθήκη $-C_6H_5O$) και την αρυλσουλφόνωση της τελευταίας (προσθήκη $CH_3C_6H_4^-$) (Matsushita & Yasuda, 2005), βλ. Σχήμα 5.4.
- **Σενάριο LIGNOGEOMAT.** Παραγωγή αιθανόλης και καύση μέρους της υπολειπόμενης λιγνίνης για την παραγωγή ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την ιδιοκατανάλωση της μονάδας. Η υπόλοιπη ποσότητα της λιγνίνης πωλείται για την χρήση της ως γεω-υλικό σε εφαρμογές σταθεροποίησης εδαφών (Ceylan et al., 2010), βλ. Σχήμα 5.5.

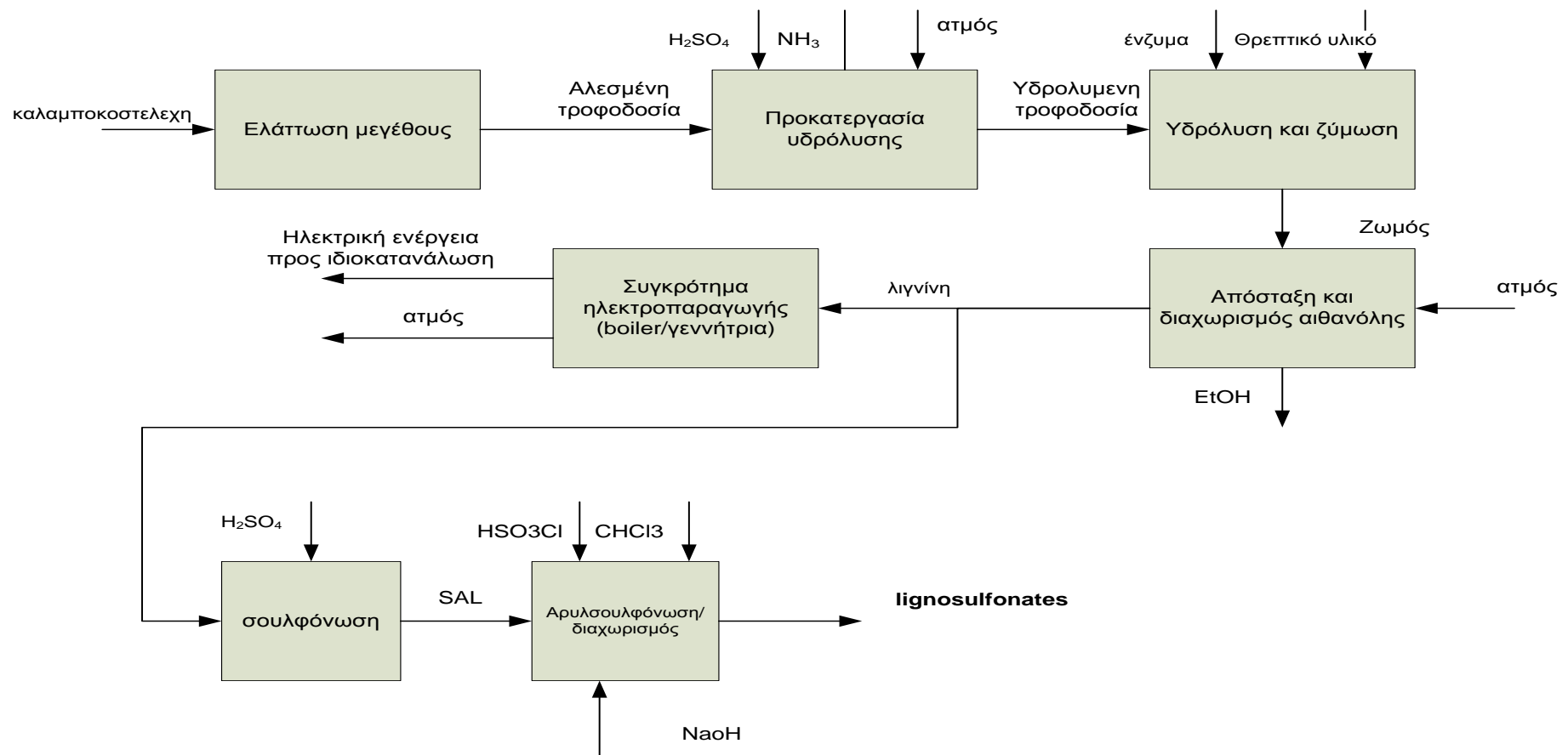
Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των πέντε εξεταζομένων τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής.



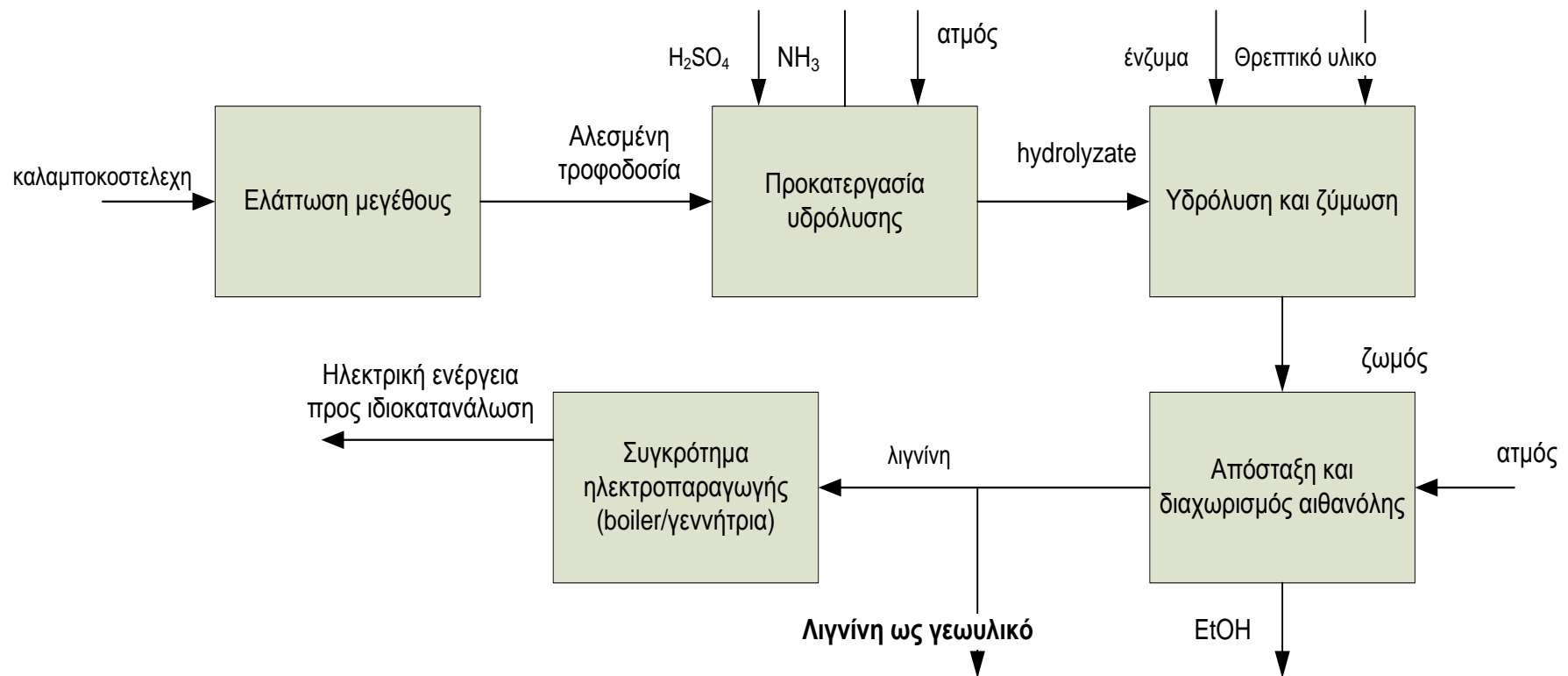
Σχήμα 5.2: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και *lignosulfonates* με τη μέθοδο της ουδέτερης σουλφόνωσης (Σενάριο NEUSULFO)



Σχήμα 5.3: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και *lignosulfonates* με τη μέθοδο της σουλφομεθυλίωσης (Σενάριο *SULFOMETHYL*)



Σχήμα 5.4: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και *lignosulfonates* με τη μέθοδο της αρυλσουλφόνωσης (Σενάριο ARYLSULFO)



Σχήμα 5.5: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το σύστημα παραγωγής αιθανόλης και λιγνίνης για τη χρήση της ως γεω-υλικού (Σενάριο *LIGNOGEOMAT*)

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη των εξεταζόμενων τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης

| Σενάριο | Τροφοδοσία (t ξηρών υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας/yr) | Δυναμικότητα αιθανόλης (t/ yr) | Δυναμικότητα Lignosulfonates (t/ yr) | Δυναμικότητα γεω-υλικού (t/ yr) | Ηλεκτρική ενέργεια προς το δημόσιο δίκτυο (Mw) |
|--------------------|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| <i>EtOH</i> | 770,000 | 213,000 | 0 | 0 | 12.71 |
| <i>NEUSULFO</i> | | | 78,000 | 0 | 0 |
| <i>SULFOMETHYL</i> | | | 68,900 | 0 | 0 |
| <i>ARYLSULFO</i> | | | 81,400 | 0 | 0 |
| <i>LIGNOGEOMAT</i> | | | 0 | 97,000 | 0 |

6.2.2. Δυναμικότητα, όρια και δεδομένα ροών υλικών των συστημάτων

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.4, ως τροφοδοσία και για τα πέντε εναλλακτικά σενάρια έχει επιλεγεί η τιμή των 770,000t ξηρών υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας/έτος αφού αυτή η τιμή υπολογίστηκε ότι εξισορροπεί τις αντίθετες τάσεις στην οικονομικότητά της που προκαλούνται από την οικονομία κλίμακας που επιτυγχάνεται με την αύξηση της δυναμικότητας από τη μια μεριά και την αύξηση του κόστους της τροφοδοσίας εξαιτίας της αύξησης της απόστασης στην οποία μεταφέρεται η βιομάζα από την άλλη (Aden et al., 2002), (Humbird et al., 2011).

Όπως έχει προαναφερθεί τα όρια των υπό εξέταση συστημάτων εκτείνονται από τη διαδικασία συλλογής της απαιτούμενης βιομάζας τροφοδοσίας έως και την παραγωγή της αιθανόλης και των παραπροϊόντων, δηλαδή σχηματοποιημένα «από το χωράφι έως την έξοδο του εργοστασίου παραγωγής».

Ως λειτουργική μονάδα για την εφαρμογή της ΕΕΚΖ των συστημάτων επιλέχθηκε το 1 kg παραγόμενης αιθανόλης.

Τα δεδομένα σχετικά με τον κατάλογο ή/και τη ροή των υλικών συλλέχθηκαν από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Όπου τέτοια δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα επιλύθηκαν τα σχετικά ισοζύγια μάζας μέσω κατάλληλων παραδοχών και υποθέσεων.

Δεδομένα σχετικά με τη ροή και τη χρήση υλικών (κατανάλωση καυσίμων και υλικών, εργασία κλπ) για την παραγωγή καλαμποκιού και τη συλλογή και μεταφορά των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας συλλέχθηκαν μέσω πρωτογενούς έρευνας στον χώρο των αγροτών. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν έγκυρες και επικαιροποιημένες βάσεις δεδομένων (Jungbluth & Chudacoff, 2007).

Στον Πίνακα 5.5. δίνονται περιληπτικά οι ροές των κυριότερων χρησιμοποιούμενων ή/και εκπεμπόμενων υλικών και απορριπτόμενης θερμότητας για καθένα από τα εξεταζόμενα συστήματα. Αναλυτικός κατάλογος των ροών των υλικών για όλα τα συστήματα και των εκπομπών αυτών δίνονται μεταξύ άλλων στο Παράρτημα Γ. Η εφαρμογή *SimaPro* τροφοδοτήθηκε με αυτά τα δεδομένα.

Πίνακας 5.5: Βασικά μεγέθη των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας για τα εξεταζόμενα συστήματα παραγωγής αιθανόλης με τη χρήση υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας ως α' ύλης

| Υλικό χρήσης ή εκπομπής/απόρριψης από το σύστημα | EtOH (*) | NEUSULFO (**) | SULFOMETHYL (**) | ARYLSULFO (**) | LIGNOGEOMAT (**) |
|--|-------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| H ₂ SO ₄ (kg/kg EtOH) | 0.0330 | 0.5998 | 0.5998 | 0.5998 | 0.0330 |
| NA ₂ SO ₃ (kg/kg EtOH) | - | 0.0172 | - | - | - |
| CH ₂ O (kg/kg EtOH) | - | 0.1282 | - | - | - |
| C ₆ H ₅ OH(kg/kg EtOH) | - | 0.8413 | 0.8413 | 0.8413 | - |
| NaOH 50% (kg/kg EtOH) | - | 0.6410 | 0.6410 | 2.5639 | - |
| HCl 36% (kg/kg EtOH) | - | 2.0040 | - | 2.5200 | - |
| CHCl ₃ (kg/kg EtOH) | - | - | - | 0.0882 | - |
| Βιογενές CO ₂ (kg/kg EtOH) | 2.9 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 1.1 |
| Βιογενές CO (kg/kg EtOH) | 0.0005 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0034 |
| Απορριπτόμενη θερμότητα (MJ/kg EtOH) | 12.13 | 11.58 | 11.57 | 11.57 | 11.51 |

Πηγή: (*):(Humbird et al., 2011), (**):πρωτογενής έρευνα

6.2.3. Κριτήρια

Θεωρητικά, για τον προσδιορισμό της αειφορίας ενός συστήματος ή ενός προϊόντος απαιτείται η μέτρηση της επίδοσής του στα πεδία του περιβάλλοντος, της οικονομίας και της κοινωνίας, αφού αυτά έχουν αναγνωρισθεί διεθνώς ως οι τρεις πυλώνες της (United Nation General Assembly, 2005). Έτσι, συγκεκριμένα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση της αειφορίας των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων. Από αυτά άλλα είναι αντικειμενικά, δηλαδή ποσοτικά και μπορούν να μετρηθούν άμεσα, και άλλα ποιοτικά, στα οποία όμως μπορούν να αποδοθούν τιμές με συγκεκριμένη μεθοδολογία. Σε κάθε περίπτωση τα κριτήρια που επιλέχθηκαν πληρούν τις κύριες απαιτήσεις που ορίζονται από τη διαδικασία εντοπισμού και ταυτοποίησής τους, που είναι (Belton & Stewart, 2002):

- Τα κριτήρια πρέπει να είναι κατανοητά.
- Τα κριτήρια πρέπει να έχουν σχέση με το μετρούμενο πεδίο.
- Τα κριτήρια πρέπει να είναι άμεσα μετρήσιμα ή να είναι δυνατόν να αποδοθούν σε αυτά τιμές μέσω συγκεκριμένης μεθοδολογίας.
- Τα κριτήρια δεν πρέπει να είναι πλεονάζοντα και να παρουσιάζουν μεταξύ τους αλληλεπικαλύψεις.
- Τα κριτήρια πρέπει να είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα.

Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση των συστημάτων παρουσιάζονται στα επόμενα.

Αντικειμενικά (ποσοτικά) κριτήρια

Κριτήριο Περιβαλλοντικής Επίδοσης (ENV). Η επίδοση των συστημάτων έναντι του συγκεκριμένου κριτηρίου προσδιορίστηκε μέσω της χρήσης της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής και συγκεκριμένα της εμπορικής ηλεκτρονικής εφαρμογής *SimaPro* (version 7.3). Με την εφαρμογή αυτή ένας συγκεκριμένος περιβαλλοντικός δείκτης αποδίδεται σε κάθε σύστημα. Το *SimaPro* υπολογίζει το περιβαλλοντικό φορτίο χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους. Η πιο πρόσφατη είναι η *ReCiPe* της οποίας ο κύριος στόχος είναι ο μετασχηματισμός της μακράς λίστας ροών υλικών στον κύκλο ζωής του προϊόντος σε ένα μικρότερο αριθμό δεικτών επίδοσης. Αυτοί οι δείκτες επίδοσης εκφράζουν την ένταση σε μια περιβαλλοντική κατηγορία και μπορούν να ταξινομηθούν σε ενδιάμεσους δείκτες (οι οποίοι είναι σχετικά αξιόπιστοι αλλά δυσερμήνευτοι) και τους τελικούς δείκτες (οι οποίοι είναι περισσότερο κατανοητοί αλλά και σχετικά αβέβαιοι). Η μέθοδος, είτε χρησιμοποιεί ενδιάμεσους είτε τελικούς δείκτες, περιλαμβάνει παράγοντες που αντιστοιχούν σε τρεις αντιλήψεις οι οποίες αποδίδονται από τους όρους *individualist* (I), *hierarchist* (H) και *egalitarian* (E) (Goedkoop et al., 2009). Οι συγκεκριμένες αντιλήψεις δεν αντιστοιχούν σε αρχέτυπα ανθρώπινης συμπεριφοράς, απλά χρησιμοποιούνται για να ομαδοποιηθούν τύποι παραδοχών και επιλογών. Αυτές είναι:

- Η ατομικιστική (*individualist*) (I) που βασίζεται σε προβλέψεις και παραδοχές σύντομου χρονικού ορίζοντα (π.χ. 20 έτη για την κλιματική αλλαγή) και είναι αισιόδοξη όσον αφορά την εξέλιξη της τεχνολογίας ότι μπορεί να εμποδίσει αρκετά περιβαλλοντικά προβλήματα στο μέλλον. Λαμβάνει υπ' όψιν της μόνο

αδιαμφισβήτητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παραδέχεται υψηλό επίπεδο προσαρμοστικής ικανότητας στις τεχνολογικές και οικονομικές εξελίξεις.

- Η ιεραρχιστική (*hierarchist*) (H) που βασίζεται σε προβλέψεις και παραδοχές ενδιάμεσου χρονικού ορίζοντα (π.χ. 100 έτη για την κλιματική αλλαγή). Αντιστοιχεί στη θεώρηση ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι δυνατό να αποφευχθούν με τη χρήση σωστού μίγματος διαχειριστικών και προληπτικών μέτρων.
- Η ισοροπητική (*egalitarian*) (E) τέλος που είναι η πιο επιφυλακτική προοπτική, βασιζόμενη σε χρονικό ορίζοντα εκτενέστερο των προηγούμενων (π.χ. 500 έτη για την κλιματική αλλαγή) καθώς και σε λογική χρήσης προληπτικών μέτρων για την αποφυγή της προσαρμογής των συστημάτων στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Βασίζεται επίσης στην παραδοχή της ισοδυναμίας των παρόντων και μελλοντικών επιδράσεων στο περιβάλλον. Μειονέκτημα της αποτελεί το γεγονός ότι λαμβάνει υπ' όψιν της περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δεν είναι πλήρως εξακριβωμένες αλλά για τις οποίες υπάρχουν κάποιες ενδείξεις.

Για την έκφραση της έντασης του περιβαλλοντικού φορτίου καθενός των εξεταζόμενων συστημάτων επιλέξαμε τον τελικό δείκτη (R) υπολογιζόμενο μέσω της ατομικιστικής (I) αντίληψης, παραδεχόμενοι μικρό χρονικό ορίζοντα (περίπου 20 έτη) και αισιοδοξία ότι η τεχνολογία μπορεί να αντιμετωπίσει θετικά πολλά από τα προβλήματα τα σχετιζόμενα με το περιβάλλον σε αυτόν τον χρονικό ορίζοντα. Σημειώνεται ότι με τη μέθοδο τελικού δείκτη ταξινομούνται οι δείκτες κατηγοριών επιπτώσεων όπως κλιματικής αλλαγής, μείωσης στρατοσφαιρικού όζοντος, ανθρώπινης τοξικότητας, δέσμευσης γης, μείωσης ορυκτών πόρων κλπ, στις κάτωθι τρεις κατηγορίες επιπτώσεων (Goedkoop et al., 2009):

- βλαβών της ανθρώπινης υγείας,
- βλαβών της βιοποικιλότητας,
- και βλαβών της διαθεσιμότητας πόρων.

Επιπρόσθετα, για την κατανομή της ολικής χρησιμοποιούμενης ενέργειας και των εκπομπών στο περιβάλλον, στα προϊόντα και στα παραπροϊόντα χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση κατανομής με βάση τη μάζα τους. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση η απαιτούμενη ενέργεια και οι ουσίες και τα υλικά που εκπέμπονται ή απορρίπτονται στο περιβάλλον κατανέμονται στα προϊόντα και στα παραπροϊόντα με βάση την κατά βάρος συμμετοχή ενός εκάστου στο συνολικό βάρος του μίγματος προϊόντων.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της EEKZ μέσω του *SimaPro* (*version 7.3, ReCiPe method, individualist (I) perspective*) παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6. Ο δείκτης R είναι ο τελικός δείκτης που εκφράζει την ένταση του περιβαλλοντικού φορτίου για καθένα από τα συστήματα και που προκύπτει από τη συνάθροιση των τριών κατηγοριών επιπτώσεων τελικού σημείου (βλαβών της ανθρώπινης υγείας, βλαβών της βιοποικιλότητας και βλαβών της διαθεσιμότητας πόρων). Στον ίδιο πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα του *SimaPro* που προσδιορίστηκαν με την εφαρμογή άλλης μεθόδου (*Eco Indicator 99*) για λόγους σύγκρισης και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων της μεθόδου *ReCiPe*.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.6 το σενάριο *LIGNOGEOMAT* παρουσιάζει την ελάχιστη ένταση περιβαλλοντικού φορτίου παρουσιαζόμενο έτσι ως αυτό με την καλύτερη

περιβαλλοντική επίδοση. Το σενάριο *EtOH* ακολουθεί, ενώ τα συστήματα *ARYLSULFO*, *SULFOMETHYL* και *NEUSULFO* έχουν με τη σειρά που παρατίθενται τη χειρότερη περιβαλλοντική επίδοση. Σημειώνεται ότι η σειρά κατάταξης των συστημάτων όσον αφορά την ένταση του περιβαλλοντικού φορτίου είναι ίδια και στις δυο μεθόδους που εφαρμόστηκαν.

Πίνακας 5.6: Μέτρηση *SimaPro* για τα εξεταζόμενα συστήματα

| | Τελικός Δείκτης με βάση τη μέθοδο <i>ReCiPe (R)</i> | Τελικός Δείκτης με βάση τη μέθοδο <i>Eco Indicator 99</i> |
|--------------------|---|---|
| <i>EtOH</i> | 0.42 | 0.19 |
| <i>NEUSULFO</i> | 1.03 | 0.52 |
| <i>SULFOMETHYL</i> | 1.12 | 0.59 |
| <i>ARYLSULFO</i> | 1.29 | 0.75 |
| <i>LIGNOGEOMAT</i> | 0.30 | 0.18 |

Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.6 μπορούμε να σημειώσουμε τα εξής:

- Η περιβαλλοντική επίδοση των σεναρίων *LIGNOGEOMAT* και *EtOH* είναι καλύτερη από τις αντίστοιχες των υπολοίπων εξεταζόμενων σεναρίων. Η καλύτερη αυτή επίδοση είναι αναμενόμενη αφού και τα δυο σενάρια χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία η οποία με τις χημικές και φυσικές διεργασίες της να έχουν αριστοποιηθεί από το *NREL* σε ημιβιομηχανική κλίμακα. Η χρήση μικρού αριθμού χημικών ουσιών (κυρίως H_2SO_4 , NH_3), ο αναλυτικός σχεδιασμός του συστήματος επεξεργασίας, η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων των διεργασιών και η χρήση εναλλακτών εξοικονόμησης θερμότητας συμβάλλουν σε αυτή την καλή περιβαλλοντική επίδοση των συστημάτων *LIGNOGEOMAT* και *EtOH*.
- Από την άλλη πλευρά η εφαρμοζόμενη τεχνολογία στα στάδια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή *lignosulfonates* στα συστήματα *ARYLSULFO*, *SULFOMETHYL* και *NEUSULFO* βρίσκεται σε κλίμακα εργαστηριακής ανάπτυξης. Η χρήση αρκετών, ισχυρών ή/και μη περιβαλλοντικά επιθυμητών, χημικών (H_2SO_4 , φαινόλη, $CHCl_3$, $C_2H_2Cl_4$) σε σημαντικές ποσότητες, αφού οι διεργασίες δεν είναι βελτιστοποιημένες, τελικά συμβάλλουν στην κακή περιβαλλοντική επίδοση των συστημάτων.

Κριτήριο Οικονομικής Επίδοσης (ECON). Το κριτήριο συνδέεται με την κερδοφορία της επένδυσης για καθένα από τα εξεταζόμενα συστήματα και μπορεί να εκφραστεί μέσω του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (EBA) το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί μέσω οικονομικής ανάλυσης. Ο EBA υπολογίζεται με την ανάλυση των καθαρών μελλοντικών χρηματοροών λαμβάνοντας υπ' όψιν την επένδυση κεφαλαίου και τις χρηματοροές για περίοδο 30 ετών που θεωρείται ότι είναι ο χρόνος ζωής των μονάδων. Οι χρηματοροές υπολογίζονται με βάση

τις προβλεπόμενες πωλήσεις για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο καθώς και το μεταβλητό κόστος των συστημάτων για την ίδια περίοδο.

Ο Πίνακας 5.7 συνοψίζει τις κύριες παραμέτρους που σχετίζονται με την οικονομικότητα του κάθε συστήματος και εμπλέκονται στους υπολογισμούς του EBA. Σημειώνεται ότι το μεταβλητό ετήσιο κόστος των συστημάτων *ARYLSULFO*, *SULFOMETHYL* και *NEUSULFO* έχει προκύψει με τη παραδοχή ότι αντιστοιχεί στο 15% της συνολικής αξίας της επένδυσής τους. Η ανάλυση της συνολικής αξίας επένδυσης των συστημάτων *ARYLSULFO*, *SULFOMETHYL* και *NEUSULFO* παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.8 ενώ στον Πίνακα 5.9 η ανάλυση του κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού για τα ίδια συστήματα, όπως αυτό προέκυψε από τον προκαταρκτικό σχεδιασμό των εγκαταστάσεών τους. Επίσης στον Πίνακα 5.10 δίνονται οι τιμές αγοράς των παραγόμενων προϊόντων και των κυριότερων υλικών που χρησιμοποιούνται στα εξεταζόμενα συστήματα.

Πίνακας 5.7: Οικονομικότητα εξεταζόμενων συστημάτων

| | Συνολική Αξία Επένδυσης (\$) | Πωλήσεις (\$/γ) | Μεταβλητό κόστος (\$/γ) | EBA |
|--------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------|
| <i>EtOH</i> | 422,500,000 | 144,557,000 | 82,551,000 | 0.170 |
| <i>NEUSULFO</i> | 822,500,000 | 169,165,000 | 123,375,000 | 0.040 |
| <i>SULFOMETHYL</i> | 822,500,000 | 165,542,000 | 123,375,000 | 0.033 |
| <i>ARYLSULFO</i> | 822,500,000 | 170,535,000 | 123,375,000 | 0.043 |
| <i>LIGNOGEOMAT</i> | 422,500,000 | 138,186,000 | 82,551,000 | 0.149 |

Πίνακας 5.8: Ανάλυση της συνολικής αξίας επένδυσης για τα συστήματα *NEUSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO*

| | Αξία (\$) | Σημείωση |
|-----------------------------------|-------------|-----------|
| (A) Αξία μηχανολογικού εξοπλισμού | 303,800,000 | |
| (B) Έμμεσο κόστος | 75,950,000 | 25% (A) |
| (C) Πάγιο κόστος επένδυσης | 379,750,000 | (A) + (B) |
| (D) Γήπεδα | 200,000 | |
| (E) Κεφάλαιο κίνησης | 18,987,000 | 5% (A) |

| | | | |
|---------------------------|------|-------------|-----------------|
| (F) Συνολική Επένδυσης | Αξία | 400,000,000 | (C) + (D) + (E) |
|---------------------------|------|-------------|-----------------|

Πίνακας 5.9: Ανάλυση της αξίας μηχανολογικού εξοπλισμού για τα συστήματα NEUSULFO, SULFOMETHYL και ARYLSULFO

| Περιγραφή | Αξία (\$) |
|---|-------------|
| Αντιδραστήρες | 300,000,000 |
| Δοχεία αποθήκευσης προϊόντων και ενδιάμεσων προϊόντων | 1,000,000 |
| Αντλίες (χημικών και νερού) | 500,000 |
| Διατάξεις διαχωρισμού στερεών/υγρών | 1,000,000 |
| Διατάξεις ξήρανσης | 800,000 |
| Διατάξεις ανάδευσης | 500,000 |
| Σύνολο | 303,800,000 |

Πίνακας 5.10: Τιμές αγοράς των προϊόντων και των κυριότερων χρησιμοποιούμενων υλικών στα εξεταζόμενα συστήματα

| | Τιμή αγοράς | Σημείωση |
|--------------------------------------|----------------|--|
| Αιθανόλη | 0.57 (\$/l) | (Humbird et al., 2011) |
| Ηλεκτρική ενέργεια | 0.125 (\$/kwh) | Στην τιμή περιλαμβάνεται και η κρατική ενίσχυση για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας |
| Λιγνίνη | 0.02 (\$/kg) | Η τιμή αντιστοιχεί στην τιμή αγοράς της υπτάμενης τέφρας (παραγόμενη από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα) που χρησιμοποιείται ως γεω-υλικό σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού. |
| Lignosulfonates | 0.4 (\$/kg) | |
| H ₂ SO ₄ , 93% | 0.088 (\$/kg) | |
| NaOH, 50% | 0.2 (\$/kg) | |
| HCl, 36% | 0.15 (\$/kg) | |
| Φαινόλη, κρυσταλλική | 0.5 (\$/kg) | |

Κριτήριο Κοινωνικής Επίδοσης (SOCIET). Το κριτήριο μπορεί να αποδοθεί μέσω του αριθμού των θέσεων εργασίας που δημιουργούνται για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Το μέγεθος αυτό αποτελεί σύνηθες και τυπικό μέτρο της κοινωνικής επίδοσης μιας επένδυσης. Στον Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται οι θέσεις εργασίας που αντιστοιχούν σε καθένα από τα εξεταζόμενα συστήματα.

Πίνακας 5.11: Θέσεις εργασίας των εξεταζομένων συστημάτων

| Σενάριο | Θέσεις εργασίας | Σημείωση |
|--------------------|-----------------|--|
| <i>EtOH</i> | 60 | (Humbird et al., 2011) |
| <i>NEUSULFO</i> | 85 | Υπόθεση: Δημιουργία 2-3 τμημάτων επιπροσθέτως αυτών του σεναρίου <i>EtOH</i> . |
| <i>SULFOMETHYL</i> | 85 | Υπόθεση: Δημιουργία 2-3 τμημάτων επιπροσθέτως αυτών του σεναρίου <i>EtOH</i> . |
| <i>ARYLSULFO</i> | 85 | Υπόθεση: Δημιουργία 2-3 τμημάτων επιπροσθέτως αυτών του σεναρίου <i>EtOH</i> . |
| <i>LIGNOGEOMAT</i> | 65 | Υπόθεση: Δημιουργία 1 τμήματος επιπροσθέτως αυτών του σεναρίου <i>EtOH</i> . |

Υποκειμενικά (ποσοτικοποιούμενα) κριτήρια

Τα υποκειμενικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση της αειφορίας των εξεταζομένων συστημάτων οφείλουν να αντιπροσωπεύουν την ικανότητά τους στα πεδία της οικονομικής και περιβαλλοντικής επίδοσης. Ασφαλώς για τη λήψη απόφασης κάποιος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μόνο αντικειμενικά κριτήρια. Παρ' όλα αυτά η συμμετοχή κάποιων υποκειμενικών κριτηρίων στη διαδικασία λήψης απόφασης μπορεί να προσφέρει κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα που σχετίζονται με μια ολοκληρωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Τα ακόλουθα υποκειμενικά κριτήρια θεωρούνται ότι άπτονται πλευρών οικονομικών και περιβαλλοντικών γιατί εκφράζουν την ικανότητα των συστημάτων σε συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις και απαιτήσεις της αγοράς και ως εκ τούτου επηρεάζουν την κρίση αυτού που αποφασίζει για τη επιλογή του καταλληλότερου συστήματος.

- Ωριμότητα της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας (*TECH*). Το επίπεδο της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας σε καθένα από τα εξεταζόμενα συστήματα έχει οικονομική σημασία αφού όσο περισσότερο ώριμο είναι αυτό τόσο φθηνότερη είναι η ανάπτυξή του και η παραπέρα εξέλιξή του. Μπορούν να διακριθούν τα παρακάτω επίπεδα ωριμότητας όσον αφορά τη τεχνολογία των συστημάτων:
 - Θεωρητική σύλληψη.
 - Ανάπτυξη σε εργαστηριακή κλίμακα.
 - Ανάπτυξη σε ημιβιομηχανική κλίμακα.
 - Πλήρως βιομηχανική και εμπορευματική ανάπτυξη.

- Ολοκλήρωση του συστήματος (*INTEGR*). Ο βαθμός ολοκλήρωσης ενός τεχνολογικού συστήματος αναφέρεται στον αριθμό των προϊόντων που αυτό παράγει αφού όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτός τόσο μικρότερο είναι το κόστος και το περιβαλλοντικό φορτίο που επιμερίζεται σε καθένα από τα προϊόντα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα πάγια κόστη και περιβαλλοντικά φορτία μιας εγκατάστασης παραγωγής μπορούν να επιμεριστούν σε όλα τα παραγόμενα από αυτήν προϊόντα. Έτσι, το περιβαλλοντικό φορτίο μιας εγκατάστασης που παράγει ένα μόνο προϊόν είναι μεγαλύτερο από την περίπτωση που στην ίδια εγκατάσταση παράγονται δυο ή και περισσότερα προϊόντα.
- Ωριμότητα της αγοράς (*MARMAT*). Εκφράζει την ικανότητα της αγοράς να απορροφήσει τα προϊόντα που παράγονται από κάθε σύστημα. Σχετίζεται με τον ανταγωνισμό που υπάρχει στην αγορά από άλλα προϊόντα, το μέγεθος της συγκεκριμένης αγοράς, τα μερίδια αγοράς των προϊόντων και των εταιρειών κλπ.
- Εφαρμογή των αρχών της Πράσινης Χημείας (*GRNCHEM*). Εκφράζει την ενσωμάτωση των αρχών της Πράσινης Χημείας, γνωστής και ως Αειφόρου Χημείας, στο σχεδιασμό των διεργασιών και των παραγόμενων προϊόντων από ένα τεχνολογικό σύστημα μεταξύ των οποίων ευρίσκονται η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον διαλυτών, μείωση ενδιάμεσων προϊόντων, χρήση ανανεώσιμων α' υλών κλπ (Anastas & Warner, 1998).

Τα προαναφερόμενα κριτήρια επιλέχθηκαν για τον προσδιορισμό της αειφορίας των εξεταζομένων συστημάτων. Αρκετοί άλλοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει παρόμοια υποκειμενικά κριτήρια για την αξιολόγηση τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής, μεταξύ των οποίων είναι η «τεχνική ωριμότητα/αξιπιστία», η «ωριμότητα της αγοράς», η «αειφορία όσον αφορά περιβαλλοντικές εκπομπές διαφορετικές από αυτές των αερίων του θερμοκηπίου» κλπ (Julio Terrados, 2010). Από την άλλη πλευρά, τα συγκεκριμένα κριτήρια ικανοποιούν την απαίτηση για τη διάθεση πληροφοριών σχετικών με πεδία όπου δεν υπάρχουν αντικειμενικά κριτήρια. Ο πίνακας 5.12 συνοψίζει την επίδοση καθενός από τα εξεταζόμενα συστήματα στα επιλεγμένα υποκειμενικά κριτήρια. Η επίδοση αυτή εκφράζεται με ποιοτικούς όρους ενώ στα επόμενα αυτή θα ποσοτικοποιηθεί με τη χρήση της μεθόδου AHP.

Πίνακας 5.12: Ποιοτική έκφραση της επίδοσης των εξεταζομένων συστημάτων έναντι των υποκειμενικών κριτηρίων

| Υποκειμενικό κριτήριο | <i>EtOH</i> | <i>NEUSULFO</i> | <i>SULFOMETHYL</i> | <i>ARYLSULFO</i> | <i>LIGNOGEOMAT</i> |
|-----------------------|-------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|
| <i>TECH</i> | + | - | - | - | + |
| <i>INTEGR</i> | 0 | + | + | + | 0 |
| <i>MARMAT</i> | 0 | + | + | + | - |
| <i>GRNCHEM</i> | 0 | 0 | 0 | - | 0 |

+: θετική επίδοση, *-*: αρνητική επίδοση, *0*: ουδέτερη (αδιάφορη) επίδοση

Σχετικά με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.12 σημειώνουμε τα εξής:

- Τα συστήματα *EtOH* και *LIGNOGEOMAT* παρουσιάζουν θετική επίδοση έναντι του κριτηρίου *TECH*. Έναντι του κριτηρίου *INTEGR* παρουσιάζουν αρνητική επίδοση αφού παράγουν δυο μόνο προϊόντα (αιθανόλη και ηλεκτρική ενέργεια), σε αντίθεση με τα συστήματα που παράγουν επιπλέον και *lignosulfonates* (*NEUSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO*) τα οποία παρουσιάζονται να έχουν θετική επίδοση *lignosulfonates*.
- Η επίδοση των συστημάτων *NEUSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO* έναντι του κριτηρίου *TECH* είναι σαφώς μικρότερη από αυτή των *EtOH* και *LIGNOGEOMAT* αφού η τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αυτά είναι προς το παρόν σε εργαστηριακή κλίμακα.
- Τα συστήματα *NEUSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO* έχουν καλύτερη επίδοση έναντι του κριτηρίου *MARMAT* από τα συστήματα *NEUSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO* αφού η αγορά των *lignosulfonates* είναι μια καλά καθιερωμένη αγορά σε σχέση με την αγορά της λιγνίνης ως γεω-υλικού. Η χρήση της λιγνίνης ως γεω-υλικού προτάθηκε σχετικά πρόσφατα και μόνο σε επιδεικτικά έργα έχει χρησιμοποιηθεί (Ceylan et al., 2010).
- Το σενάριο *ARYLSULFO* έχει τη χειρότερη επίδοση έναντι του κριτηρίου *GRNCHEM* εξαιτίας του γεγονότος ότι χρησιμοποιείται σε αυτό το χλωροφόρμιο (CHCl_3) ή ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4) ως διαλύτης. Αυτές οι δυο ουσίες έχουν χαρακτηριστεί ως ανεπιθύμητοι διαλύτες στη βιομηχανία και η χρήση τους πρέπει να αποφεύγεται όπως επιβάλλεται και από το σχετικό αξίωμα της Πράσινης Χημείας (Anastas & Warner, 1998). Σημειώνεται επίσης ότι στην χρησιμοποιούμενη μέθοδο για την Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (*SimaPro/ReCiPe Method/Individualist Perspective*) δεν λαμβάνονται υπ' όψιν οι επιπτώσεις από υλικά όπως είναι ο τετραχλωράνθρακας που έχουν χαρακτηριστεί από το *International Agency for Research on Cancer (IARC)* ως ομάδας 3, δηλαδή μη ταξινομούμενοι όσον αφορά την καρκινογένεση στους ανθρώπους.

6.2.4. Εφαρμογή της μεθόδου *Analytic Hierarchy Process*

Η μέθοδος *Analytic Hierarchy Process* χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η αειφόρος επίδοση των εξεταζόμενων συστημάτων μέσω του υπολογισμού της συνδυασμένης επίδοσης καθενός έναντι του συνόλου των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων (Winston, 2004).

Για την εφαρμογή της μεθόδου AHP ορίζονται τα εξής:

- Για την περίπτωση του κριτηρίου *ENV* ένα εναλλακτικό σενάριο A είναι προτιμητέο ενός B μόνο όταν η τιμή του A είναι μικρότερη του B, αφού το αποτέλεσμα του *SimaPro* αντιστοιχεί στο περιβαλλοντικό φορτίο του συστήματος.
- Για τις περιπτώσεις όλων των άλλων αντικειμενικών κριτηρίων ένα εναλλακτικό σενάριο A είναι προτιμητέο ενός B μόνο όταν η τιμή του A είναι μεγαλύτερη του B.

Η AHP εφαρμόζεται κατά τα αναφερόμενα στο Παράρτημα Β. Πιο συγκεκριμένα καταρτίζονται επτά πίνακες σύγκρισης κατά ζεύγη (ένας για κάθε κριτήριο) για τον

προσδιορισμό της επίδοσης κάθε σεναρίου έναντι ενός εκάστου κριτηρίου. Οι τιμές σε αυτούς τους πίνακες αποδίδουν την προτίμηση του υπεύθυνου λήψης απόφασης ανάμεσα στα σενάρια εάν λάμβανε υπ' όψιν του μόνο το συγκεκριμένο κριτήριο. Οι συντελεστές βαρύτητας (βάρη) των κριτηρίων προσδιορίζονται επίσης με τη μέθοδο *AHP* ενώ ακολουθεί ο έλεγχος συνέπειας των τιμών. Τέλος η συνδυασμένη επίδοση κάθε εναλλακτικού σεναρίου V_i υπολογίζεται από την εξίσωση 5.1

$$V_i = \sum w_j v_{ij}, \quad (5.1)$$

για $i = EtOH, NEUSULFO, SULFOMETHYL, ARYLSULFO, LIGNOGEOMAT$ και $j = ENV, ECON, SOCIET, TECH, INTEGR, MARMAT, GRNCHEM$, όπου w_j το βάρος του j κριτηρίου και v_{ij} η επίδοση του σεναρίου i έναντι του j κριτηρίου.

Στο Παράρτημα Δ δίνονται αναλυτικά οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό των βαρών των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων αλλά και για τον προσδιορισμό των επιδόσεων των εξεταζομένων συστημάτων έναντι ενός εκάστου των κριτηρίων.

6.3. Αποτελέσματα, Συζήτηση, Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση οποιωνδήποτε προτεινόμενων συστημάτων παραγωγής μέσω της εκτίμησης της αειφορίας τους συμβάλλει σημαντικά στη διαδικασία για τον εντοπισμό αυτών των συστημάτων που μπορούν να προχωρήσουν από το στάδιο της εργαστηριακής ή ημιβιομηχανικής κλίμακας σε αυτό της βιομηχανικής κλίμακας και της πλήρους εμπορικής εφαρμογής. Η αναγκαιότητα αυτής της διαδικασίας γίνεται περισσότερο φανερή στην περίπτωση των συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων αφού κατά τη διάρκεια των δυο τελευταίων δεκαετιών έχουν προταθεί πάρα πολλά τέτοια ως οικονομικά αποδοτικά ή/και ως περιβαλλοντικά φιλικές λύσεις. Έτσι ο προσδιορισμός της αειφορίας των πέντε εξεταζόμενων συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης αποκτά, υπό το φως των προηγούμενων, πολιτικοοικονομική σημασία.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που διεξήχθη πρέπει επίσης να ιδωθούν κάτω από το πρίσμα των επομένων. Ανάμεσα στους κύριους σκοπούς μας είναι η πρόταση μιας μεθόδου και ενός συνόλου κριτηρίων για την αξιολόγηση και κατάταξη τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης. Χωρίς αμφιβολία αρκετές παρόμοιες μέθοδοι ή και κριτήρια έχουν ήδη ή μπορεί αργότερα να αναπτυχθούν. Η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να βελτιωθεί με προσθήκες, συμπληρώσεις ή τροποποιήσεις αλλά το πλαίσιο της ανάλυσης εκτιμάται ότι θα παραμείνει ίδιο με αυτό που τέθηκε από την παρούσα έρευνα. Από την άλλη πλευρά η μέθοδος χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία και ακρίβεια αφού βασίζεται στην ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο *AHP*. Όλα τα προηγούμενα συμβάλλουν στην επιδίωξη να επιλεγεί ένα αειφόρο σύστημα παραγωγής βιοαιθανόλης και, παραπέρα, αειφόρα συστήματα παραγωγής βιοκαυσίμων εν γένει.

Βεβαίως η επίδοση των εναλλακτικών σεναρίων έναντι των υποκειμενικών κριτηρίων βασίζεται σε υποθέσεις που εκφράζουν υποκειμενική αξιολόγηση και κατάταξή τους όσον αφορά τα κριτήρια και τα βάρη που χρησιμοποιούνται. Έτσι η επίδοση τους μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τον υπεύθυνο λήψης απόφασης. Αυτό όμως είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα των αποφάσεων που λαμβάνονται με βάση και υποκειμενικά κριτήρια.

Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται τα βάρη των κριτηρίων και οι επιδόσεις των εξεταζόμενων συστημάτων έναντι ενός εκάστου των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων καθώς και η συνδυασμένη επίδοσή τους. Είναι προφανές ότι το κριτήριο της οικονομικής επίδοσης (*ECON*) βαρύνει περισσότερο από το κριτήριο της περιβαλλοντικής επίδοσης (*ENV*) στην αντίληψη του υπεύθυνου λήψης απόφασης. Αυτό πραγματικά αντικατοπτρίζει την πιο συνηθισμένη προτίμηση των υπευθύνων λήψεων αποφάσεων για την πραγματοποίηση επενδύσεων.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.13 το σύστημα *EtOH* έχει την καλύτερη επίδοση έναντι του κριτηρίου *ECON*, ακολουθούμενο από το σύστημα *LIGNOGEOMAT*. Το τελευταίο είναι το καλύτερο σύστημα όσον αφορά το κριτήριο *ENV*, ακολουθούμενο από το *EtOH*. Τα συστήματα παραγωγής *lignosulfonates* (*NEUSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO*) προηγούνται σε σχέση με τα κριτήρια *INTEGR* και *MARMAT*.

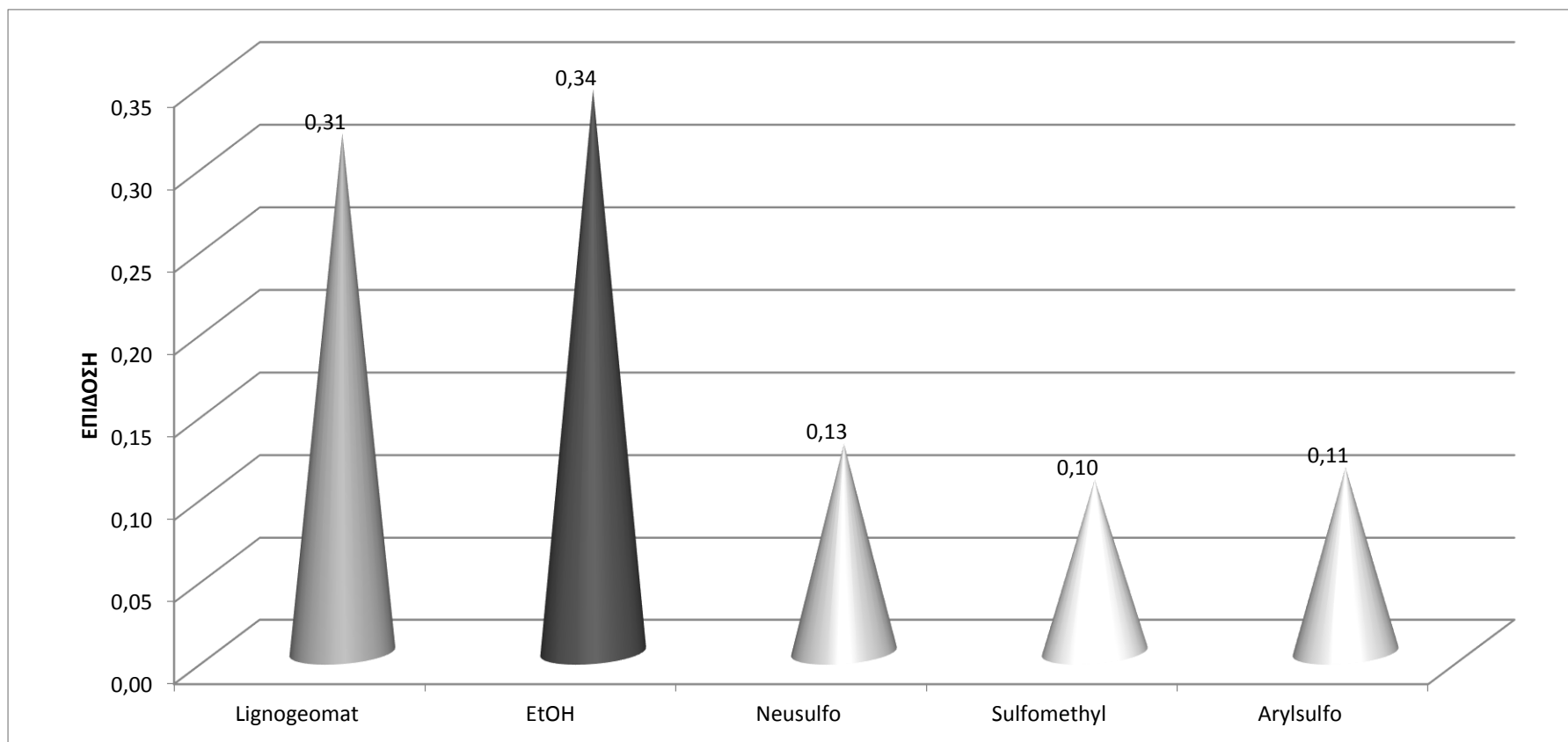
Την καλύτερη συνδυασμένη επίδοση παρουσιάζει το σύστημα *EtOH*, ακολουθούμενο από το *LIGNOGEOMAT*. Τα σεσάρια *NEUSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO* υπολείπονται μακράν.

Οι συνδυασμένες επιδόσεις των συστημάτων παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5.1. ενώ στο Διάγραμμα 5.2 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των συστημάτων έναντι ενός εκάστου των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων.

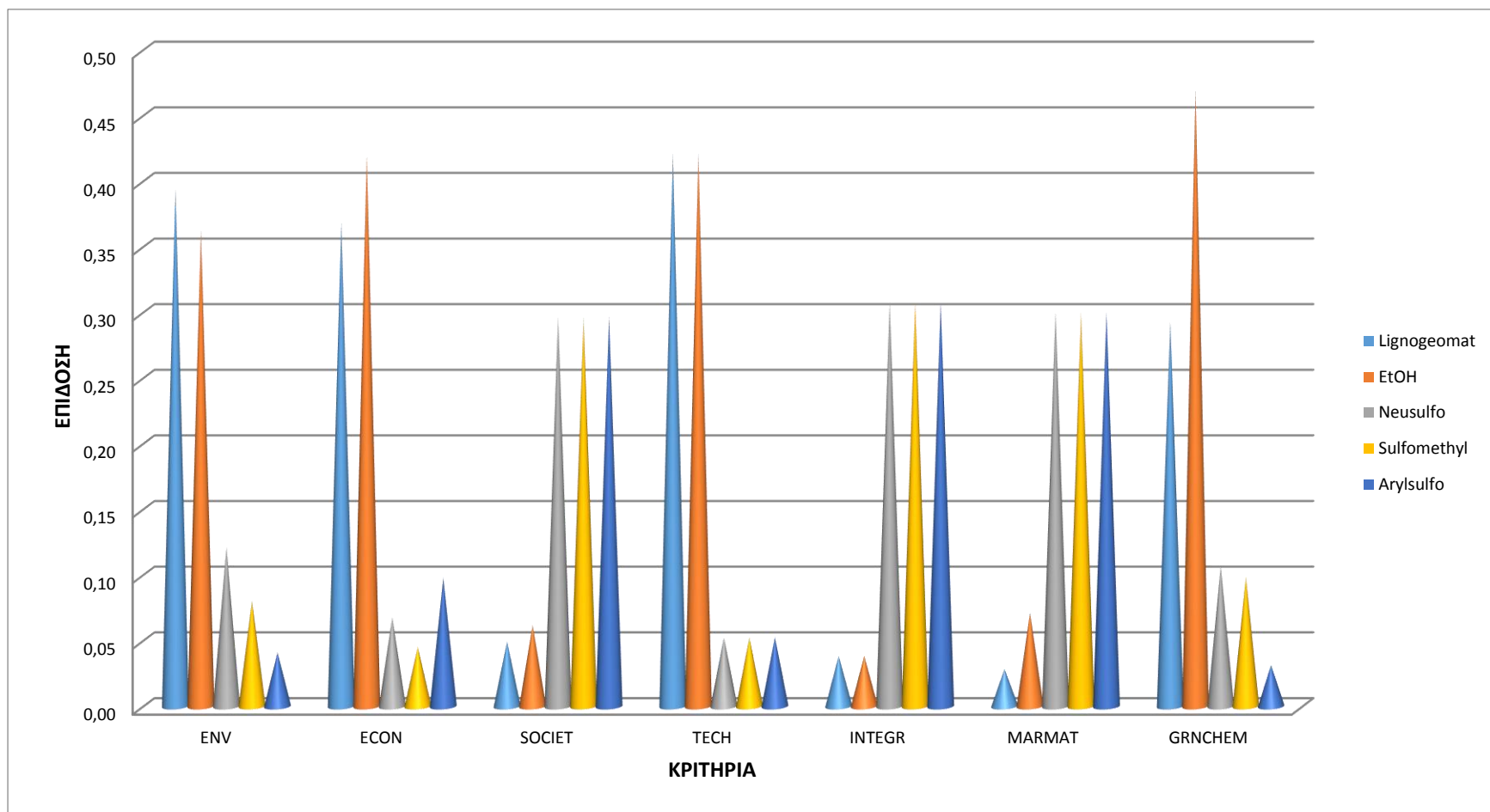
Προκειμένου να ελεγχθεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε μια επαναληπτική μέθοδος κατά την οποία, ενώ διατηρείται σταθερό το σύνολο των βαρών των υποκειμενικών κριτηρίων στο επίπεδο του 28% (το οποίο προέκυψε κατά την παρούσα ανάλυση), αυξάνεται το βάρος του κριτηρίου *ENV* με βήματα 0.01 (με αρχική τιμή $w_{ENV}=0.29$) και παράλληλα το βάρος του κριτηρίου *ECON* μειώνεται ταυτόχρονα με το ίδιο βήμα. Διαπιστώνεται – μετά από 29 κύκλους επανάληψης της διαδικασίας- ότι η αλλαγή της προτίμησης όσον αφορά τα σενάρια *EtOH* και *LIGNOGEMAT* πραγματοποιείται για τιμές βάρους περιβαλλοντικού κριτηρίου $w_{ENV} \geq 0.58$ ή ισοδύναμα για τιμές οικονομικού κριτηρίου $w_{Econ} \leq 0.14$. Γί αυτή την περιοχή τιμών το σύστημα *LIGNOGEMAT* παρουσιάζεται ελκυστικότερο στην αντίληψη του υπεύθυνου λήψης απόφασης ενώ ταυτόχρονα η σειρά προτίμησης των άλλων εναλλακτικών συστημάτων δεν αλλάζει.

Πίνακας 5.13: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων

| Κριτήριο | Βάρος κριτηρίου | ΣΕΝΑΡΙΟ | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|-------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | | <i>EtOH</i> | <i>NEUSULFO</i> | <i>SULFOMETHYL</i> | <i>ARYLSULFO</i> | <i>LIGNOGEOMAT</i> |
| <i>ECON</i> | 0.43 | 0.42 | 0.07 | 0.05 | 0.10 | 0.37 |
| <i>ENV</i> | 0.29 | 0.36 | 0.12 | 0.08 | 0.04 | 0.40 |
| <i>SOCIET</i> | 0.09 | 0.06 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.05 |
| <i>TECH</i> | 0.04 | 0.42 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.42 |
| <i>INTEGR</i> | 0.04 | 0.04 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.04 |
| <i>MARMAT</i> | 0.05 | 0.07 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.03 |
| <i>GRNCHEM</i> | 0.06 | 0.47 | 0.11 | 0.10 | 0.03 | 0.29 |
| Συνδυασμένη επίδοση (V _j) | | 0.34 | 0.13 | 0.10 | 0.11 | 0.31 |



Διάγραμμα 5.1: Συνδυασμένη επίδοση των εξεταζομένων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης



Διάγραμμα 5.2: Επίδοση των εξεταζομένων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι ενός εκάστου των χρησιμοποιουμένων κριτηρίων

Είναι φανερό ότι οι συγκεκριμένες τιμές για τα βάρη κριτηρίων ($w_{ENV} \geq 0.58$ και $w_{ECON} \leq 0.14$) αντιστοιχούν σε μια εξαιρετικά απίθανη, εντελώς θεωρητική, κατάσταση, ξένη προς την πραγματικότητα του κόσμου των επιχειρηματικών επενδύσεων, αφού αυτό θα σήμαινε ότι ένας υποψήφιος επενδυτής θα επέλεγε την ανάπτυξη μιας επένδυσης βασιζόμενος κατά 58% στην περιβαλλοντική του επίδοση ή ισοδύναμα ότι η περιβαλλοντική επίδοση θα βάρυνε στις προτιμήσεις του τέσσερις φορές περισσότερο από την οικονομική επίδοση.

Όσον αφορά την εκτίμηση της αβεβαιότητας, σημειώνεται ότι η όποια αβεβαιότητα στα αποτελέσματα που επηρεάζουν τη λήψη της απόφασης οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις επιδόσεις των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων έναντι των αντικειμενικών κριτηρίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εν γένει η επίδοση έναντι των υποκειμενικών κριτηρίων δεν συνδέεται με αβεβαιότητα οφειλόμενη σε ποσοτικά δεδομένα. Επιπρόσθετα η αβεβαιότητα που συνδέεται με το αντικειμενικό κριτήριο *SOCIET* μπορεί να θεωρηθεί ως μηδενική αφού εκφράζεται από τον αριθμό των θέσεων εργασίας που δημιουργούνται από την επένδυση, τιμή που είναι καλά προσδιορισμένη.

Όπως συνάγεται από τα ανωτέρω οι επιδόσεις των εναλλακτικών σεναρίων έναντι των αντικειμενικών κριτηρίων *ECON* και *ENV* και η όποια αβεβαιότητα αυτών είναι που επιδρούν στην αβεβαιότητα της συνολικής επίδοσης των σεναρίων και στην τελική τους κατάταξη. Σχετικά σημειώνουμε τα εξής:

- Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και στους υπολογισμούς προέρχονται από επικαιροποιημένες και έγκυρες πηγές όπως (Jungbluth & Chudacoff, 2007), (Humbird et al., 2011), (“ΔΕΣΜΗΕ, Τιμολόγηση ενέργειας απο ΑΠΕ,” 2014) κλπ.
- Περαιτέρω, ακόμα και αν θεωρηθεί ότι οι επιδόσεις των εναλλακτικών σεναρίων έναντι των αντικειμενικών κριτηρίων *ECON* και *ENV* χαρακτηρίζονται αμοιβαία από αβεβαιότητα $\pm 3\%$ (και η αβεβαιότητα από άλλες πηγές είναι μηδενική) τότε η αβεβαιότητα των συνδυασμένων συνολικών επιδόσεων τους δεν μπορεί να ξεπερνάει το $\pm 4\%$. Αυτό το επίπεδο αβεβαιότητας δεν επηρεάζει την κατάταξη των σεναρίων αφού η συνολική επίδοση του καλύτερου (*EtOH*) υπερβαίνει αυτή του *LIGNOGEOMAT* κατά 9%.
- Για τιμές αβεβαιότητας των επιδόσεων των συστημάτων στα κριτήρια *ECON* και *ENV* μεγαλύτερες του $\pm 3\%$ η λήψη απόφασης καθίσταται λιγότερο ασφαλής όσον αφορά τα σενάρια *EtOH* και *LIGNOGEOMAT*. Σε κάθε περίπτωση όμως η επίδοση των συγκεκριμένων σεναρίων υπερβαίνει (τουλάχιστον εις διπλούν) τις αντίστοιχες των σεναρίων *NEOSULFO*, *SULFOMETHYL* και *ARYLSULFO* ώστε η κατάταξη των πρώτων ως προς τα τελευταία δεν μπορεί να επηρεάζεται από εύλογες τιμές αβεβαιότητας.

Συμπερασματικά, τα συστήματα που παράγουν αιθανόλη και εναλλακτικά ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση στο δημόσιο δίκτυο ή λιγνίνη για χρήση ως γεω-υλικό, *EtOH* και *LIGNOGEOMAT*, αντίστοιχα, παρουσιάζονται ως τα πιο αειφόρα ανάμεσα στα πέντε παραγωγικά συστήματα που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, ενώ το σύστημα *EtOH* είναι το πιο αποδοτικό οικονομικά αφού έχει την καλύτερη επίδοση έναντι του κριτηρίου *ECON* και παράλληλα το *LIGNOGEOMAT* έχει την καλύτερη επίδοση έναντι του περιβαλλοντικού κριτηρίου *ENV*, το *EtOH* παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη από το *LIGNOGEOMAT* συνδυασμένη επίδοση έναντι του συνόλου των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων για

συγκεκριμένες τιμές των βαρών αυτών ($w_{\text{ECON}}=0.43$, $w_{\text{ENV}}=0.29$, $w_{\text{SOCIET}}=0.09$, $w_{\text{TECH}}=0.04$, $w_{\text{INTEGR}}=0.04$, $w_{\text{MARMAT}}=0.05$ και $w_{\text{GRNCHEM}}=0.06$). Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων έναντι των άλλων εξεταζομένων προκύπτει από το γεγονός ότι βρίσκονται σε ημιβιομηχανική κλίμακα ανάπτυξης και σε προχωρημένο στάδιο αριστοποίησης όσον αφορά την χρήση υλικών και ενέργειας, εξοπλισμού κλπ. Επιπροσθέτως η αγορά στην οποία απευθύνονται είναι αναπτυγμένη χωρίς έντονο ανταγωνισμό.

Στην άλλη πλευρά, τα συστήματα που παράγουν αιθανόλη και *lignosulfonates* έχουν την χειρότερη περιβαλλοντική επίδοση (κριτήριο *ENV*) μακράν από τα άλλα συστήματα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι ευρίσκονται σε εργαστηριακή κλίμακα ανάπτυξης και έτσι η χρήση υλικών, ενέργειας και εξοπλισμού δεν έχει βελτιστοποιηθεί. Ειδικότερα μεγάλο πρόβλημα που σχετίζεται με την περιβαλλοντική επίδοση των συστημάτων που παράγουν *lignosulfonates* αποτελεί η μεγάλη κατανάλωση H_2SO_4 , Na_2SO_3 , HCl , και άλλων παρόμοιων χημικών ουσιών. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές ανεπιθύμητων αποβλήτων στο περιβάλλον και σε αυξημένο κόστος παραγωγής. Η αντικατάσταση αυτών των χημικών με άλλα λιγότερο δαπανηρά και περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του περιβαλλοντικού φορτίου και στην αύξηση της οικονομικότητας των εν λόγω συστημάτων.

Από τα συστήματα παραγωγής *lignosulfonates* αυτό που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της αρυλσουλφόνωσης (*ARYLSULFO*) επιδεικνύει τη χειρότερη περιβαλλοντική επίδοση ανάμεσα στα πέντε εξεταζόμενα σενάρια. Σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται ανεπιθύμητος διαλύτης (CCl_4 ή εναλλακτικά $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$) γεγονός το οποίο συμβάλλει στην πολύ χαμηλή επίδοσή του έναντι του κριτηρίου *GRNCHEM*. Γίνεται φανερό ότι εξαιτίας αυτού του λόγου το συγκεκριμένο σενάριο θα πρέπει να απορριφθεί από τη διαδικασία περαιτέρω ανάπτυξης του για εμπορική εφαρμογή.

Τέλος, η περαιτέρω διερεύνηση του θέματος θα μπορούσε να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- Τον ανασχεδιασμό των συστημάτων παραγωγής *lignosulfonates* με στόχο την αύξηση της αιφόρου επίδοσής τους. Ο ανασχεδιασμός θα πρέπει οπωσδήποτε να περιλαμβάνει την αριστοποίηση των διεργασιών και του εξοπλισμού παραγωγής των συστημάτων καθώς και τη διερεύνηση της αντικατάστασης των χρησιμοποιούμενων στην παραγωγική διαδικασία επικίνδυνων ή /και ανεπιθύμητων υλικών.
- Την εξαντλητική διερεύνηση του συστήματος συλλογής και τροφοδοσίας των μονάδων με στόχο τη μείωση στο ελάχιστο της αβεβαιότητας που συνδέεται με τις τιμές των παραμέτρων του. Οι τιμές αυτές επηρεάζονται από παράγοντες όπως είναι το κλίμα, οι καλλιεργητικές πρακτικές, ο χρόνος συλλογής κλπ.
- Τον αναλυτικό προσδιορισμό τόσο των επιμέρους πηγών αβεβαιότητας όσο και της συνολικής αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει την επίδοση των εξεταζομένων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής με κριτήριο την αιεφορία.

7. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΓΝΟΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΑΣ Α΄ ΥΛΗΣ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

Για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα έχουν διερευνηθεί εναλλακτικά γεωργικά υπολείμματα (υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας, άχυρο), ενεργειακά φυτά (μίσηανθος) και δασικά υπολείμματα (υπολείμματα δασικής βιομηχανίας).

Στο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων της Ελλάδας συγκαταλέγονται τα υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας και τα υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας. Όπως δείχθηκε στο Κεφάλαιο 4 (§4.2.) το δυναμικό των εν λόγω υπολειμμάτων είναι δυνατόν να καλύψει τις ανάγκες τροφοδοσίας μιας εγκατάστασης της δυναμικότητας (770,000 t υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας) που έχει καθοριστεί από το σχεδιασμό του *NREL* ως βέλτιστη.

Το ερώτημα που ανακύπτει σχετικά με τη χρήση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας είναι κατά πόσον επηρεάζει την αειφορία ενός συστήματος παραγωγής βιοαιθανόλης, δεδομένου ότι:

- η χημική του σύσταση είναι διαφορετική από αυτή των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας που επηρεάζει την απόδοση του συστήματος σε αιθανόλη,
- έχει διαφορετικές φυσικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη συλλογή και μεταφορά προς τη μονάδα παραγωγής αιθανόλης.

Στα επόμενα θα διερευνήσουμε την επίδραση της χρήσης των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α΄ ύλης στο σύστημα παραγωγής βιοαιθανόλης με την τεχνολογία του *NREL* μέσω της σύγκρισής του με το αντίστοιχο σύστημα που χρησιμοποιεί υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας.

7.1. Τα εξεταζόμενα συστήματα

7.1.1. Δυναμικότητα, όρια και δεδομένα ροών υλικών

Και τα δυο εναλλακτικά συστήματα (με χρήση υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας ή εναλλακτικά βαμβακοκαλλιέργειας ως α' ύλης) θα εξεταστούν στα όρια που περικλείονται σχηματικά «από το χωράφι στην έξοδο της μονάδας παραγωγής αιθανόλης». Αυτή η αλυσίδα περιλαμβάνει:

- Τη συλλογή και δεματοποίηση των γεωργικών υπολειμμάτων στο χωράφι.
- Την ενδιάμεση αποθήκευση και μεταφορά στη μονάδα παραγωγής αιθανόλης.
- Τις διεργασίες παραγωγής αιθανόλης, που περιλαμβάνουν τη μείωση μεγέθους της βιομάζας, όξινη προκατεργασία και ενζυματική υδρόλυση, ζύμωση προς αιθανόλη, διαχωρισμό της παραγόμενης αιθανόλης και καύση της υπολειπόμενης λιγνίνης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς ιδιοκατανάλωση και πώληση προς το δίκτυο (Humbird et al., 2011). Απλοποιημένο διάγραμμα ροής αυτής της βιομηχανικής παραγωγής έχει παρουσιαστεί στο Σχήμα 4.2.

Ως λειτουργική μονάδα για την εφαρμογή της ΕΕΚΖ των συστημάτων ορίζεται το 1 kg παραγόμενης αιθανόλης (95% κ.β.).

Τα δεδομένα σχετικά με τον κατάλογο ή/και τη ροή των υλικών συλλέχθηκαν από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Όπου τέτοια δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα επιλύθηκαν τα σχετικά ισοζύγια μάζας μέσω κατάλληλων παραδοχών και υποθέσεων.

Δεδομένα σχετικά με τη ροή και τη χρήση υλικών (κατανάλωση καυσίμων και υλικών, εργασία κλπ) για τη συλλογή και μεταφορά των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας συλλέχθηκαν μέσω πρωτογενούς έρευνας στους χώρους παραγωγής. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν έγκυρες και επικαιροποιημένες βάσεις δεδομένων (Jungbluth & Chudacoff, 2007).

7.1.2. Σύστημα παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας (Σενάριο Α)

Η συλλογή των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας γίνεται με βάση τα αναφερόμενα στις §4.2 και §5.2.1. Ως τόπος συλλογής έχει θεωρηθεί η περιοχή της Θεσσαλίας στην οποία θα είναι εγκατεστημένη και η μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης. Οι κυριότερες χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος συλλογής παρατίθενται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1.: Χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος συλλογής και μεταφοράς υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας για τον εφοδιασμό της μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης

(*)

| | Τιμή | Σημείωση |
|---|-------------|--|
| Ποσότητα τροφοδοσίας (t υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας /yr) | 750,000 | <i>επί ξηρής βάσης</i> |
| Απαιτούμενη επιφάνεια περιοχής συλλογής (ha) | 125,000 | |
| Απόδοση χωραφιών σε βιομάζα (t υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας /ha,yr) | 5.70-7.50 | <i>επί ξηρής βάσης</i> |
| Ρυθμός δεματοποίησης (ha/hr) | 1.7 | <i>10 – 23 δέματα / hr</i> |
| Βάρος δέματος (t) | 0.450 | <i>Για διάμετρο δέματος 1.2 m</i> |
| Ειδικό βάρος δέματος (t/m ³) | 0.45 | |
| Υγρασία βιομάζας (% κ.β.) | 14 | <i>3 ημέρες μετά τη συλλογή</i> |
| Τιμή αγοράς βιομάζας στην είσοδο της μονάδας (€/t) | 35 | <i>Ίση με την τιμή που έχει οριστεί από την αγορά της τσιμεντοβιομηχανίας (βλ. Πίνακα 4.6)</i> |
| Μέση απόσταση μεταφοράς βιομάζας προς τη μονάδα (km) | 70 | <i>5 km με τρακτέρ + πλατφόρμα (προς depot) και 65 Km με φορτηγό 28t (από depot προς μονάδα παραγωγής αιθανόλης)</i> |

(*):πρωτογενής έρευνα

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι τιμές των κυριότερων χαρακτηριστικών παραμέτρων της βιομηχανικής μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης που χρησιμοποιεί ως α΄ ύλη υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας.

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικές παράμετροι τους συστήματος παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας

| | Τιμή | Σημείωση |
|---|---------|--|
| Δυναμικότητα μονάδας παραγωγής (t EtOH/yr) | 213,300 | |
| Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh/yr) | 160,000 | 2.28 KWh/gal EtOH |
| Τροφοδοσία βιομάζας (kg/kg EtOH) | 3.5 | Επί ξηρής βάσης |
| H ₂ SO ₄ (kg/kg EtOH) | 0.033 | Παράδοση στη μονάδα |
| Οργανικά χημικά (kg/kg EtOH) | 0.0017 | Παράδοση στη μονάδα |
| Ασβέστης (kg/kg EtOH) | 0.0244 | Παράδοση στη μονάδα. Χρήση στον καθαρισμό καυσαερίων |
| Υγραέριο προπάνιο (kg/kg EtOH) | 0.0002 | Παράδοση στη μονάδα. Χρήση σε ανυψωτικά μηχανήματα |
| Νερό (kg/kg EtOH) | 7.9 | |
| Λιπαντικά (kg/kg EtOH) | 0.0004 | Παράδοση στη μονάδα |
| Άμυλο (kg/kg EtOH) | 0.0133 | Παράδοση στη μονάδα |

Πηγή: (Aden et al., 2002)

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2 η απόδοση της βιομηχανικής διεργασίας για την παραγωγή αιθανόλης είναι 284.4 g EtOH/ kg ξηρών υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας (ή 3.5 kg ξηρών υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας /kg EtOH). Η απόδοση αυτή αντιστοιχεί στο 80% της θεωρητικής απόδοσης (βλ. §4.4.2) με βάση την χημική σύσταση των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας. Η χημική σύσταση των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας στην ανάλυση παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.3 (Aden et al., 2002).

Πίνακας 6.3: Χημική σύσταση υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας

(% κ.β. επί ξηρής βάσης)

| Συστατικό | | % |
|---|-----------|-------------|
| Κυτταρίνη | Γλυκάνη | 37.4 |
| Ημικυτταρίνη | Ξυλάνη | 21.1 |
| | Γαλακτάνη | 2.0 |
| | Αραβινάνη | 2.9 |
| | Μανάνη | 1.6 |
| <i>Σύνολο Ημικυτταρινών</i> | | <i>27.6</i> |
| <i>Ολοκυτταρίνη</i> <i>(Σύνολο Κυτταρίνης + Ημικυτταρινών)</i> | | <i>65</i> |
| Λιγνίνη | | 18 |
| Λοιπές διαλυτές ουσίες | | 1.1 |
| Λοιπά | | 15.9 |
| Σύνολο | | 100 |

7.1.3. Σύστημα παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας (Σενάριο Β)

Η μονάδα παραγωγής αιθανόλης τροφοδοτείται με υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας από τις περιοχές της Θεσσαλίας (κατά 60%) και της Μακεδονίας (κατά 40%). Η συλλογή της βιομάζας γίνεται με βάση τα αναφερόμενα στις §4.2 και 5.2.1.

Στον Πίνακα 6.4 παρατίθενται τιμές για τις κυριότερες παραμέτρους του συστήματος συλλογής βιομάζας.

Πίνακας 6.4: Χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος συλλογής και μεταφοράς υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για τον εφοδιασμό της μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης

(*)

| | Τιμή | Σημείωση |
|---|-----------|---|
| Ποσότητα τροφοδοσίας (t υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας /yr) | 750,000 | Επί ξηρής βάσης |
| Απαιτούμενη επιφάνεια περιοχής συλλογής (ha) | 300,000 | |
| Μέση απόσταση μεταφοράς βιομάζας προς τη μονάδα (km) | 226 | 16 km με τρακτέρ και πλατφόρμα και 210 km με φορτηγό χωρητικότητας 28t |
| Απόδοση χωραφιών σε βιομάζα (t/ha,yr) | 1.80-2.50 | |
| Ρυθμός δεματοποίησης (ha/hr) | 1.7 | 10 – 23 δέματα / hr |
| Βάρος δέματος (t) | 0.25 | Διάμετρος δέματος: 1.2 m |
| Ειδικό βάρος δέματος (t/m ³) | 0.22 | |
| Υγρασία βιομάζας (% κ.β.) | 14 | 3 ημέρες μετά τη συλλογή |
| Τιμή αγοράς βιομάζας στην είσοδο της μονάδας (€/t) | 35 | Ίση με την τιμή που έχει οριστεί από την αγορά της τσιμεντοβιομηχανίας (βλ. Πίνακα 4.6) |

(*):πρωτογενής έρευνα

Ο πίνακας 6.5 συνοψίζει τις τιμές των χαρακτηριστικών παραμέτρων του συστήματος παραγωγής αιθανόλης με τη χρήση υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως α΄ ύλης.

Πίνακας 6.5: Χαρακτηριστικές παράμετροι τους συστήματος παραγωγής βιοαιθανόλης από υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας

(*)

| | Τιμή | Σημείωση |
|---|---------|--|
| Δυναμικότητα μονάδας παραγωγής (t EtOH /yr) | 134,025 | |
| Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh/yr) | 269,000 | |
| Τροφοδοσία βιομάζας (kg/kg EtOH) | 5.6 | Επί ξηρής βάσης |
| H ₂ SO ₄ (kg/kg EtOH) | 0.033 | Παράδοση στη μονάδα |
| Οργανικά χημικά (kg/kg EtOH) | 0.0017 | Παράδοση στη μονάδα |
| Ασβέστης (kg/kg EtOH) | 0.0244 | Παράδοση στη μονάδα. Χρήση στον καθαρισμό καυσαερίων |
| Υγραέριο προπάνιο (kg/kg EtOH) | 0.0002 | Παράδοση στη μονάδα. Χρήση σε ανυψωτικά μηχανήματα |
| Νερό (kg/kg EtOH) | 7.9 | |
| Λιπαντικά (kg/kg EtOH) | 0.0004 | Παράδοση στη μονάδα |
| Άμυλο (kg/kg EtOH) | 0.0133 | |

(*): πρωτογενής έρευνα

Η βιομηχανική απόδοση παραγωγής αιθανόλης από υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας θεωρείται ότι είναι 178.7 g/kg που αντιστοιχεί στο 80% της θεωρητικής απόδοσης που προκύπτει από την περιεκτικότητα της βιομάζας σε ολοκυτταρίνη (βλ. §4.4.2). Η χημική σύσταση των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.6 (Silverstein et al., 2007).

Πίνακας 6.6: Χημική σύσταση υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας

(% κ.β. επί ξηρής βάσης)

| Συστατικό | | % |
|---|-----------|-------------|
| Κυτταρίνη | Γλυκάνη | 31.1 |
| Ημικυτταρίνη | Ξυλάνη | 8.3 |
| | Γαλακτάνη | 1.1 |
| | Αραβινάνη | 1.3 |
| | Μανάνη | - |
| <i>Σύνολο Ημικυτταρινών</i> | | <i>10.7</i> |
| <i>Ολοκυτταρίνη</i> <i>(Σύνολο Κυτταρίνης + Ημικυτταρινών)</i> | | <i>41.8</i> |
| Λιγνίνη | | 30.1 |
| Λοιπές διαλυτές ουσίες | | - |
| Λοιπά | | 28.1 |
| Σύνολο | | 100 |

Συγκρίνοντας τη χημική σύσταση των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας με την αντίστοιχη των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας σημειώνουμε την υπεροχή των πρώτων όσον αφορά την περιεκτικότητά τους σε λιγνίνη και ταυτόχρονα την υστέρησή τους όσον αφορά την περιεκτικότητά τους σε ολοκυτταρίνη. Το γεγονός αυτό καθιστά αποδοτικότερη την βιομάζα υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας στην παραγωγή αιθανόλης και, αντίθετα, την βιομάζα των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη χρήση τους ως α΄ ύλης στα εξεταζόμενα συστήματα.

7.1.4. Κριτήρια

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (§5.2.3), για τον προσδιορισμό της αειφορίας ενός συστήματος ή ενός προϊόντος απαιτείται η μέτρηση της επίδοσής του στα πεδία του περιβάλλοντος, της οικονομίας και της κοινωνίας (United Nation General Assembly, 2005). Τα κριτήρια μπορεί να είναι αντικειμενικά ή και υποκειμενικά.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση σύγκρισης των δυο συστημάτων παραγωγής αιθανόλης η μοναδική διαφορά τους έγκειται στην χρήση δυο διαφορετικών λιγνοκυτταρινούχων α΄ υλών. Η παραγωγή ακριβώς των ίδιων προϊόντων, η χρήση ίδιας τεχνολογίας, η δημιουργία του ίδιου αριθμού θέσεων εργασίας, η χρήση ίδιων συστημάτων συλλογής, η χρήση ίδιων δευτερευουσών υλών καθιστούν τη σύγκρισή τους έναντι κοινωνικών κριτηρίων, αλλά και των υποκειμενικών κριτηρίων που ετέθησαν στο Κεφάλαιο 5, περιττή.

Έτσι η σύγκριση των δυο εναλλακτικών συστημάτων περιορίζεται στα αντικειμενικά κριτήρια και συγκεκριμένα στην περιβαλλοντική και στην οικονομική επίδοσή τους.

Κριτήριο Περιβαλλοντικής επίδοσης (ENV)

Η επίδοση των εξεταζομένων συστημάτων έναντι του συγκεκριμένου κριτηρίου προσδιορίστηκε και εδώ μέσω της χρήσης της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής και συγκεκριμένα της εμπορικής ηλεκτρονικής εφαρμογής *SimaPro*. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του *Eco Indicator 99 (EI 99)*. Η *EI 99* είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος για την Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής. Χρησιμοποιεί τις ίδιες κατηγορίες επιπτώσεων (ενδιάμεσου και τελικού σημείου) με τη *RECIPE* για την οποία αναφερθήκαμε στο Κεφάλαιο (§5.2.3.1). Ως εκ τούτου συμπεριλαμβάνει και την επίπτωση στην χρήση γης. Η συγκεκριμένη επίπτωση ενδιαφέρει τη σύγκριση στην προκειμένη περίπτωση αφού σχετίζεται με την καλλιέργεια της γης για παραγωγή του καλαμποκιού και του βαμβακιού. Για την έκφραση της έντασης του περιβαλλοντικού φορτίου καθενός από τα εξεταζόμενα συστήματα μέσω του *SimaPro* επιλέξαμε την ατομικιστική (*individualist*) (I) αντίληψη, παραδεχόμενοι μικρό χρονικό ορίζοντα (περίπου 20 έτη) και αισιοδοξία ότι η τεχνολογία μπορεί να αντιμετωπίσει θετικά πολλά από τα προβλήματα τα σχετιζόμενα με το περιβάλλον σε αυτόν τον χρονικό ορίζοντα.

Τα δεδομένα σχετικά με τον κατάλογο ή/και τη ροή των υλικών συλλέχθηκαν από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, ενώ δεδομένα σχετικά με τη ροή και τη χρήση υλικών (κατανάλωση καυσίμων και υλικών, εργασία κλπ) για την παραγωγή καλαμποκιού και βαμβακιού, τη συλλογή και τη μεταφορά της βιομάζας συλλέχθηκαν μέσω πρωτογενούς έρευνας στους χώρους παραγωγής. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν έγκυρες και επικαιροποιημένες βάσεις δεδομένων (Jungbluth & Chudacoff, 2007).

Στον Πίνακα 6.7 παρατίθενται τιμές για τις εκπομπές χαρακτηριστικών ουσιών και για τα δυο εξεταζόμενα συστήματα.

Αναλυτικός κατάλογος των ροών των υλικών για όλα τα συστήματα και των εκπομπών αυτών, δίνεται στο Παράρτημα Ε.

Πίνακας 6.7: Εκπομπές χαρακτηριστικών ουσιών των εξεταζομένων σεναρίων

(*)

| | Σενάριο A | Σενάριο B | Σημείωση |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| CO ₂ βιογενές (kg/kg EtOH) | 2.93 | 5.93362 | Αποδέκτης: αέρας |
| Απόρριψη θερμότητας (MJ/kg EtOH) | 25.85 | 45.36 | Αποδέκτης: αέρας |
| CO (kg/kg EtOH) | 0.000497 | 0.000833 | Αποδέκτης: αέρας |
| Βιογενές CH ₄ (kg/kg EtOH) | 3.0*10 ⁻⁵ | 5.1*10 ⁻⁵ | Αποδέκτης: αέρας |
| Ορυκτέλαια (kg/kg EtOH) | 0.000426 | 0.000426 | Απόρριψη |
| PAH (μg/kg EtOH) | 944 | 1.89 | Αποδέκτης: αέρας |
| PAH (μg/kg EtOH) | 32.9 | 83.8 | Αποδέκτης: νερό |
| TOC (mg/kg EtOH) | 317 | 784 | Αποδέκτης: νερό |
| VOC (mg/kg EtOH) | 2.06 | 5.25 | Αποδέκτης: νερό |
| Διοξίνες (ng/kg EtOH) | 2.21 | 3.7 | Αποδέκτης: αέρας |

(*): πρωτογενής έρευνα

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της ΕΕΚΖ μέσω του *SimaPro (version 7.3, EI-99 method, individualist (I) perspective)* παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.8 και για τα δυο συστήματα. Υπενθυμίζουμε ότι ο δείκτης *EI-99* είναι ο τελικός δείκτης που εκφράζει την ένταση του περιβαλλοντικού φορτίου για καθένα από τα συστήματα και που προκύπτει από τη συνάθροιση των τριών κατηγοριών επιπτώσεων τελικού σημείου (βλαβών της ανθρώπινης υγείας, βλαβών της βιοποικιλότητας και βλαβών της διαθεσιμότητας πόρων) που με τη σειρά τους προκύπτουν από τη συνάθροιση των κατηγοριών επιπτώσεων ενδιάμεσου σημείου όπως αυτές παρατίθενται στον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 6.8: Μέτρηση *SimaPro* (Τελικός Δείκτης *EI-99*) για τα εξεταζόμενα συστήματα (*version 7.3, EI-99 method, individualist (I) perspective*)

| | Σενάριο Α | Σενάριο Β |
|---|----------------------|----------------------|
| Καρκινογένεση | 0.00449 | 0.00766 |
| Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών | $2.89 \cdot 10^{-5}$ | $7.51 \cdot 10^{-5}$ |
| Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα οφειλόμενες σε συγκεντρώσεις ανόργανων ουσιών | 0.0266 | 0.0629 |
| Κλιματική αλλαγή | 0.0122 | 0.0333 |
| Ακτινοβολία | $3.49 \cdot 10^{-5}$ | $8.5 \cdot 10^{-5}$ |
| Μείωση στρατοσφαιρικού στρώματος όζοντος | $1.42 \cdot 10^{-6}$ | $3.81 \cdot 10^{-6}$ |
| Οικοτοξικότητα | 0.00667 | 0.0122 |
| Οξίνιση/Ευτροφισμός | 0.00548 | 0.0106 |
| Χρήσεις γης | 0.0639 | 0.126 |
| Ορυκτοί πόροι | 0.00138 | 0.00446 |
| Ορυκτά καύσιμα | 0.00138 | 0.0967 |
| EI 99 | 0.157 | 0.354 |

Από τον Πίνακα 6.8 προκύπτει ότι η ένταση του περιβαλλοντικού φορτίου του σεναρίου που χρησιμοποιεί υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας είναι μεγαλύτερη ($EI_{99}=0.354$) από την αντίστοιχη του σεναρίου που χρησιμοποιεί υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας ($EI_{99}=0.157$).

Κριτήριο Οικονομικής επίδοσης (ECON)

Για την οικονομική επίδοση των εξεταζόμενων σεναρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά διάφορα μέτρα. Μεταξύ αυτών βρίσκεται και το μοναδιαίο κόστος λειτουργίας καθενός σεναρίου (δηλαδή το ανηγμένο λειτουργικό κόστος ανά 1 Kg παραγόμενης EtOH), το οποίο περιλαμβάνει το κόστος τροφοδοσίας της μονάδας παραγωγής, τη δαπάνη για αμοιβές εργασίας, το κόστος συντήρησης, δαπάνες για ασφάλιση του εξοπλισμού και φόρους, τις αποσβέσεις και το κόστος των δευτερευουσών υλών. Η συγκεκριμένη παράμετρος αποτελεί χαρακτηριστικό μέτρο της οικονομικής επίδοσης των σεναρίων δεδομένου ότι η τιμή πώλησης του παραγόμενου προϊόντος είναι ίδια και ως εκ τούτου όσο μικρότερο είναι το μοναδιαίο κόστος λειτουργίας ενός σεναρίου τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομική του επίδοση.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι στην ανάλυσή μας τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούνται ως αρνητικό κόστος και περιλαμβάνονται έτσι στο μοναδιαίο κόστος λειτουργίας των συστημάτων. Για τον υπολογισμό των εσόδων αυτών ως τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από βιομάζα χρησιμοποιήθηκε η τιμή €150/MWh που αντιστοιχεί στην τιμολόγηση της ΔΣΜΗΕ για την περίπτωση βιομάζας που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≥ 5 MW (“ΔΕΣΜΗΕ, Τιμολόγηση ενέργειας από ΑΠΕ,” 2014).

Το λειτουργικό κόστος των δυο εξεταζόμενων σεναρίων και η ανάλυσή του στα επιμέρους κόστη παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9: Μοναδιαίο λειτουργικό κόστος των εξεταζόμενων σεναρίων

(€/kg παραγόμενης EtOH)

| | Σενάριο A^(*) | Σενάριο B^(**) : |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Κόστος τροφοδοσίας | 0.1232 | 0.1958 |
| Κόστος δευτερευουσών υλών | 0.0889 | 0.1415 |
| Δαπάνες αμοιβών εργασίας | 0.0105 | 0.0168 |

| | | |
|--|---------------|---------------|
| Συντήρηση | 0.0115 | 0.0183 |
| Ασφάλιση και Φόροι | 0.0085 | 0.0135 |
| Αποσβέσεις εξοπλισμού | 0.0411 | 0.0651 |
| Πώληση περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας | -0.1312 | -0.3510 |
| Σύνολο | 0.1725 | 0.1050 |

(*): (Aden et al., 2002),

(**): πρωτογενής έρευνα

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 6.9 το σενάριο στο οποίο χρησιμοποιούνται υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας παρουσιάζει καλύτερη οικονομική επίδοση αφού έχει το μικρότερο μοναδιαίο κόστος λειτουργίας (€0.11/kg EtOH) από τα δυο συστήματα. Το πλεονέκτημα αυτό οφείλεται κυρίως στα αυξημένα έσοδα από την πώληση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που με τη σειρά τους προέρχονται από τη μεγαλύτερη συγκέντρωση λιγνίνης στα συγκεκριμένα υπολείμματα.

7.2. Εφαρμογή της μεθόδου *Analytic Hierarchy Process*

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης που προηγήθηκε το εξεταζόμενο σενάριο παραγωγής αιθανόλης με τη χρήση λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας είναι προτιμητέο έναντι του κριτηρίου της περιβαλλοντικής επίδοσης (*ENV*). Αντίθετα το σενάριο παραγωγής αιθανόλης με τη χρήση λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας είναι προτιμητέο έναντι του κριτηρίου της οικονομικής επίδοσης (*ECON*). Σημειώνεται ότι η προτίμηση αυτή είναι λογική, αδιαμφισβήτητη και ανεξάρτητη από τον φορέα λήψης της απόφασης.

Αφού η προτίμηση είναι αντικρουόμενη έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος *Analytic Hierarchy Process* για τον προσδιορισμό του σεναρίου με την καλύτερη επίδοση έναντι του συνόλου των κριτηρίων και παραπέρα για την κατάταξη των σεναρίων (Winston, 2004). Την επίδοση έναντι των δυο κριτηρίων (περιβαλλοντικής και οικονομικής επίδοσης) την ορίζουμε ως επίδοση αειφορίας αφού, όπως αναφέραμε, η επίδοση στο κοινωνικό πεδίο των δυο σεναρίων είναι ίδια και ως εκ τούτου συνεισφέρει ισόποσα και στα δυο σενάρια.

Για την εφαρμογή της μεθόδου *AHP* ορίζονται τα εξής και για τα δυο χρησιμοποιούμενα κριτήρια:

Το σενάριο A είναι προτιμητέο του B μόνο όταν η τιμή του A είναι μικρότερη του B, αφού το αποτέλεσμα μέτρησης της εφαρμογής *SimaPro (version 7.3, EI-99 method, individualist (I) perspective)* αντιστοιχεί στο περιβαλλοντικό φορτίο του συστήματος ενώ το αποτέλεσμα της οικονομικής ανάλυσης είναι το μοναδιαίο λειτουργικό κόστος. Είναι λογικό στην αντίληψη οποιουδήποτε φορέα λήψης απόφασης το σύστημα με τη μικρότερη ένταση περιβαλλοντικού φορτίου και το μικρότερο λειτουργικό κόστος να είναι το προτιμητέο.

Με δεδομένα τα ανωτέρω η μέθοδος *AHP* εφαρμόζεται κατά τα αναφερόμενα στο Παράρτημα Β. Συγκεκριμένα συντάσσονται δυο πίνακες σύγκρισης κατά ζεύγη (ένας για κάθε κριτήριο) για τον προσδιορισμό της επίδοσης κάθε σεναρίου έναντι εκάστου κριτηρίου. Οι τιμές σε αυτούς τους πίνακες αποδίδουν την προτίμηση του φορέα λήψης απόφασης ανάμεσα στα σενάρια εάν λάμβανε υπ' όψιν του μόνο το συγκεκριμένο κριτήριο. Τα βάρη των κριτηρίων προσδιορίζονται επίσης με τη μέθοδο *AHP* ενώ ακολουθεί ο έλεγχος συνέπειας των τιμών. Τέλος, η συνδυασμένη επίδοση κάθε εναλλακτικού σεναρίου V_i υπολογίζεται από την εξίσωση 6.1

$$V_i = \sum w_j v_{ij}, \quad (6.1)$$

όπου w_j το βάρος του κριτηρίου j και v_{ij} η επίδοση του σεναρίου i έναντι του κριτηρίου j με τιμές $i=A,B$ και $j= ENV, ECON$.

Στο Παράρτημα ΣΤ' δίνονται αναλυτικά οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό των βαρών των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων αλλά και για τον προσδιορισμό των επιδόσεων των εξεταζόμενων συστημάτων έναντι εκάστου των κριτηρίων.

7.3. Αποτελέσματα, Συζήτηση, Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη σύγκριση δυο συστημάτων που παράγουν βιοκαύσιμο (αιθανόλη) σημαντική βαρύτητα στην αντίληψη του φορέα λήψης απόφασης λαμβάνει η επίδοση των εξεταζόμενων σεναρίων έναντι του περιβαλλοντικού κριτηρίου. Με αυτή την παραδοχή η ανάλυση μας βασίζεται κατ' αρχήν στην υπόθεση ότι το περιβαλλοντικό κριτήριο *ENV* βαρύνει στην αντίληψη του φορέα λήψης απόφασης λίγο περισσότερο απ' ότι το οικονομικό κριτήριο *ECON*. Η υπόθεση αυτή είναι λογική αφού η χρήση των βιοκαυσίμων έχει εισαχθεί στην κοινωνία πρώτιστα για περιβαλλοντικούς λόγους.

Με βάση την παραπάνω θεώρηση υπολογίζεται η συνολική επίδοση των δυο εξεταζόμενων σεναρίων έναντι του συνόλου των δυο κριτηρίων στον Πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση υπεροχής περιβαλλοντικού κριτηρίου)

| Κριτήριο | Βάρος κριτηρίου | ΣΕΝΑΡΙΟ | |
|-------------------------------|-----------------|---------|------|
| | | A | B |
| <i>ENV</i> | 0.67 | 0.83 | 0.17 |
| <i>ECON</i> | 0.33 | 0.25 | 0.75 |
| Συνδυασμένη επίδοση (V_j) | | 0.64 | 0.36 |

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 6.10 το σενάριο A (χρήσης υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας) υπερέχει του B (χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας) ως προς την αειφορία του. Αυτό συμβαίνει γιατί η επίδοση του A είναι μεγαλύτερη αυτή του B έναντι του κριτηρίου *ENV* που βαρύνει περισσότερο στην αντίληψη του φορέα λήψης απόφασης. Προκύπτει ευνότητα επίσης ότι όσο η βαρύτητα του περιβαλλοντικού κριτηρίου *ENV* είναι μεγαλύτερη από αυτή του οικονομικού κριτηρίου το σενάριο A θα είναι τόσο περισσότερο προτιμητέο.

Στοχεύοντας στην διερεύνηση της επίδρασης της βαρύτητας των κριτηρίων του φορέα λήψης απόφασης στην τελική απόφαση εξετάσαμε πώς αυτή μεταβάλλεται με την αύξηση της βαρύτητας του οικονομικού κριτηρίου (και ταυτόχρονης μείωσης της βαρύτητας του περιβαλλοντικού κριτηρίου). Συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι κάτωθι περιπτώσεις.

- *Περίπτωση ίσης βαρύτητας κριτηρίων*

Κατά την περίπτωση που και τα δυο κριτήρια βαρύνουν εξίσου στην αντίληψη του φορέα λήψης απόφασης το σενάριο A υπερέχει πάλι του B στην επίδοση έναντι του συνόλου των κριτηρίων, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6.11.

Πίνακας 6.11: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση ίσης βαρύτητας κριτηρίων)

| Κριτήριο | Βάρος κριτηρίου | ΣΕΝΑΡΙΟ | |
|-------------------------------|-----------------|---------|------|
| | | A | B |
| ENV | 0.5 | 0.83 | 0.17 |
| ECON | 0.5 | 0.25 | 0.75 |
| Συνδυασμένη επίδοση (V_j) | | 0.54 | 0.46 |

- Περίπτωση ελαφράς υπεροχής κριτηρίου ECON έναντι του ENV

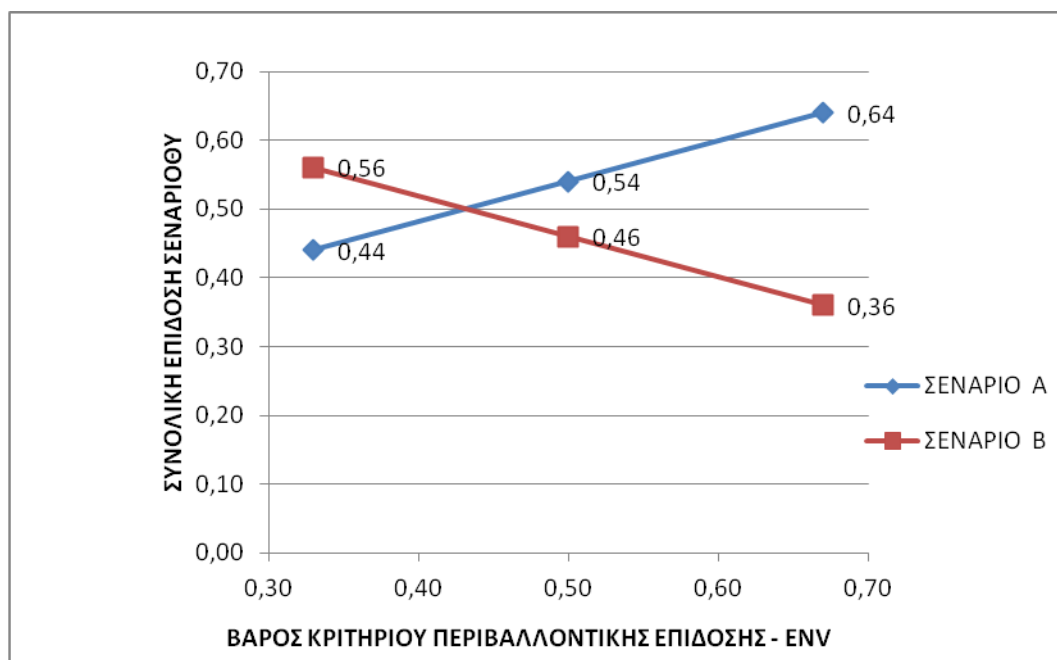
Εδώ θεωρείται ότι το κριτήριο της οικονομικής επίδοσης ECON γίνεται ελάχιστα βαρύτερο από το κριτήριο της περιβαλλοντικής επίδοσης ENV στην προτίμηση του φορέα λήψης απόφασης.

Στην περίπτωση αυτή το σενάριο B υπερέχει του σεναρίου στην επίδοση έναντι του συνόλου των κριτηρίων, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6.12.

Πίνακας 6.12: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση ελαφράς υπεροχής του κριτηρίου ECON έναντι του κριτηρίου ENV)

| Κριτήριο | Βάρος κριτηρίου | ΣΕΝΑΡΙΟ | |
|-------------------------------|-----------------|---------|------|
| | | A | B |
| ENV | 0.33 | 0.83 | 0.17 |
| ECON | 0.67 | 0.25 | 0.75 |
| Συνδυασμένη επίδοση (V_j) | | 0.44 | 0.56 |

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διερεύνησης δίνονται σχηματικά στο Διάγραμμα 6.1.



Διάγραμμα 6.1: Επίδραση του βάρους περιβαλλοντικού κριτηρίου στην επίδοση αιεφορίας των εξεταζόμενων σεναρίων

Σε όλη την ανάλυση που προηγήθηκε έχει γίνει η εξής σιωπηρή παραδοχή:

- Κατά τη διάρκεια διαχείρισης (φόρτωσης, μεταφοράς και αποθήκευσης) της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας δεν παρατηρείται καμιά απώλεια της μάζας της.

Στην πραγματικότητα η υπόθεση αυτή δεν είναι αληθής. Απώλειες βάρους της βιομάζας παρατηρούνται κατά τα στάδια του χειρισμού της πριν την βιομηχανική επεξεργασία της για την παραγωγή της βιοαιθανόλης. Οι απώλειες αυτές οφείλονται σε περιβαλλοντικές αιτίες, όπως αποσύνθεση οφειλόμενη σε υπεριώδη ακτινοβολία και σε βροχή καθώς και σε βιοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα παρουσία μικροβίων, ιδιαίτερα όταν η βιομάζα αποθηκεύεται σε ανοικτούς χώρους (Wiselogel et al., 1996), (Khanchi, Jones, Sharma, & Huhnke, 2013). Οι απώλειες έχουν αρνητική επίδραση τόσο στην περιβαλλοντική όσο και στην οικονομική επίδοση της παραγωγής της αιθανόλης αφού όσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες τόσο μεγαλύτερη βιομάζα πρέπει να συλλεχθεί από τα χωράφια ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες τροφοδοσίας της μονάδας παραγωγής. Σε πρόσφατη έρευνα υπολογίστηκε ότι οι απώλειες αυτές στην περίπτωση της δεματοποίησης της βιομάζας σε κυλινδρικές μπάλες είναι της τάξης του 5% (Cecava M, 2014).

Για τη διερεύνηση της επίδρασης των απωλειών της βιομάζας στην επίδοση αιεφορίας των εξεταζόμενων συστημάτων επαναλάβαμε την ανάλυση θεωρώντας απώλειες 5% κατά βάρος στις δυο λιγνοκυτταρινούχες α' ύλες κατά τα στάδια μεταφοράς και αποθήκευσής τους. Τα αναθεωρημένα αποτελέσματα των επιδόσεων των εξεταζόμενων κριτηρίων έναντι ενός εκάστου των κριτηρίων δίνονται στον Πίνακα 6.13.

Πίνακας 6.13: Ένταση περιβαλλοντικού φορτίου και κόστος λειτουργίας των εξεταζομένων συστημάτων (υπόθεση απώλειας βιομάζας κατά τα στάδια της μεταφοράς και αποθήκευσης: 5% κ.β.)

| | Ένταση περιβαλλοντικού φορτίου (EI 99) | Λειτουργικό κόστος (€/kg παραγόμενης EtOH) |
|-----------|---|---|
| Σενάριο A | 0.2840 | 0.1217 |
| Σενάριο B | 0.370 | 0.1098 |

Η συνολική επίδοση των εξεταζομένων συστημάτων βασισμένη στις αναθεωρημένες τιμές της έντασης περιβαλλοντικού φορτίου και του κόστους λειτουργίας των δίνεται στον πίνακα 6.14. Όπως προκύπτει, η επίδοση αειφορίας του σεναρίου A υπερέρχει πάλι του σεναρίου B όποτε και σε αυτή την περίπτωση είναι και πάλι προτιμητέο.

Πίνακας 6.14: Επίδοση των εξεταζόμενων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης έναντι των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων (περίπτωση υπεροχής περιβαλλοντικού κριτηρίου)

| Κριτήριο | Βάρος κριτηρίου | ΣΕΝΑΡΙΟ | |
|-------------------------------|-----------------|---------|------|
| | | A | B |
| ENV | 0.67 | 0.86 | 0.14 |
| ECON | 0.33 | 0.45 | 0.55 |
| Συνδυασμένη επίδοση (V_j) | | 0.72 | 0.28 |

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε μπορούμε να αναφέρουμε συμπερασματικά τα κάτωθι.

- Το σύστημα παραγωγής βιοαιθανόλης που χρησιμοποιεί υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας ως α' ύλη έχει καλύτερη περιβαλλοντική επίδοση σε σχέση με αυτό που χρησιμοποιεί υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη απόδοση βιομάζας του πρώτου στα χωράφια αλλά και στην

καλύτερη βιομηχανική απόδοσή του λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας σε ολοκυτταρίνη.

- Αντίθετα το σύστημα παραγωγής βιοαιθανόλης που χρησιμοποιεί υπολείμματα βαμβακοκαλλιέργειας υπερτερεί στην οικονομική επίδοση. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητα της συγκεκριμένης βιομάζας σε λιγνίνη η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από βιομάζα είναι υψηλή με αποτέλεσμα το σύστημα να έχει σημαντικά έσοδα από αυτήν.
- Σε σχέση με την επίδοση των δυο σεναρίων έναντι του συνόλου των κριτηρίων (επίδοση αειφορίας), το σενάριο της χρήσης υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας για την παραγωγή βιοαιθανόλης υπερέχει αυτού της χρήσης υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας για τιμές $W_{ENV} \geq 0.5$ που αντιστοιχεί στην περίπτωση της ίσης βαρύτητας των δυο χρησιμοποιούμενων κριτηρίων.
- Οι απώλειες της χρησιμοποιούμενης στα συστήματα βιομάζας κατά την μεταφορά και ενδιάμεση αποθήκευσή της είναι σημαντικές (5% κ.β.) και προκαλούν αύξηση του κόστους λειτουργίας τους καθώς και της έντασης του περιβαλλοντικού φορτίου τους. Παρά ταύτα η σειρά προτίμησης των συστημάτων δεν αλλάζει.

Επιπρόσθετα της προηγούμενης ανάλυσης, μελλοντική έρευνα που άπτεται του θέματος μπορεί να περιλάβει:

- την επίδραση των πηγών αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης στην κατάταξη των σεναρίων ως προς την αειφορία τους,
- τη συστηματική δειγματοληψία βιομάζας λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας από τον ελληνικό χώρο με σκοπό τον επακριβή προσδιορισμό της σύστασής τους και τη σύγκρισή τους με αντίστοιχα δεδομένα από τον διεθνή χώρο. Στη συγκεκριμένη σύγκριση θα ήταν δυνατόν να συσχετιστεί η σύσταση της βιομάζας με διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα, στοιχεία και πρακτικές καλλιεργητικών τεχνικών κλπ,
- τον προσδιορισμό πρακτικών για τον περιορισμό των απωλειών της βιομάζας κατά τα στάδια της μεταφοράς και ενδιάμεσης αποθήκευσής της,
- τη διερεύνηση της επίδρασης του μεγέθους της δυναμικότητας των μονάδων παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα καλλιεργειών στην αειφορία τους. Συγκεκριμένα, αυτό προϋποθέτει τη διερεύνηση της επίδρασης του μεγέθους της δυναμικότητας των μονάδων στην ένταση του περιβαλλοντικού φορτίου τους καθώς και στην οικονομικότητά τους αλλά και σε κοινωνικές παραμέτρους, όπως η απασχόληση.

8. ΣΥΝΟΨΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα διατριβή ασχοληθήκαμε κατά σειρά με τα κάτωθι θέματα:

- Την αξιολόγηση εν γένει των βιοκαυσίμων (Κεφάλαιο 2). Σταθήκαμε ιδιαίτερα στον προσδιορισμό και στην ταυτοποίηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που προκύπτουν από την παραγωγή και την χρήση τους σε όλο το εύρος της εφοδιαστικής αλυσίδας τους. Για το σκοπό αυτό αφού πρώτα ταξινομήσαμε τα βιοκαύσιμα, διερευνήσαμε τις επιπτώσεις τους στο οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό πεδίο λαμβάνοντας υπ' όψιν το επίπεδο των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών παραγωγής και εμπορικών και βιομηχανικών εφαρμογών τους, τα φυσικοχημικά και άλλα χαρακτηριστικά των βιοκαυσίμων και των α' υλών τους, το επίπεδο ανάπτυξης της ανθρώπινης κοινωνίας (π.χ. στις συγκοινωνίες, στις εμπορευματικές μεταφορές κλπ), αλλά και τα σύγχρονα προβλήματά της (π.χ. επισιτιστικό πρόβλημα, κλιματική αλλαγή κλπ). Με βάση τα προσδιορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των βιοκαυσίμων καταδείξαμε αυτά που κινούνται σε ελπιδοφόρα κατεύθυνση όσον αφορά την αιεφορία τους.
- Την εφοδιαστική αλυσίδα των βιοκαυσίμων στην Ευρώπη (Κεφάλαιο 3). Στο συγκεκριμένο θέμα εστιάσαμε στην αξιολόγηση των στοιχείων δυναμικότητας, παραγωγής, εμπορίας και κατανάλωσης βασικών τύπων βιοκαυσίμων μεταφοράς (*biodiesel* και βιοαιθανόλης) και των α' υλών τους καθώς και σε χρηματοοικονομικές πλευρές της εμπορικής διακίνησής τους. Διερευνήσαμε επίσης τις επιπτώσεις της εξέλιξης της ζήτησης των συγκεκριμένων βιοκαυσίμων στις χρήσεις γης καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.
- Την χρήση των στερεών βιοκαυσίμων και των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών στη βιομηχανία (Κεφάλαιο 4). Συγκεκριμένα εξετάσαμε τις βιομηχανικές χρήσεις των λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας στην τσιμεντοβιομηχανία, η οποία αποτελεί βασικό κλάδο της ελληνικής βιομηχανίας, και την χρήση τους στην παραγωγή βιοαιθανόλης. Ιδιαίτερα σταθήκαμε στο σύστημα της συλλογής των εν λόγω υπολειμμάτων από τα χωράφια και της ενδιάμεσης αποθήκευσης και μεταφοράς τους προς τις μονάδες βιομηχανικής χρήσης προκειμένου να προσδιορίσουμε το κόστος απόκτησής τους αλλά και τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων από τα στάδια της συλλογής και της ενδιάμεσης αποθήκευσής τους. Παράλληλα προσδιορίσαμε το δυναμικό των εν λόγω υπολειμμάτων στον ελληνικό χώρο. Με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου σεναρίου χρήσης των εν λόγω υπολειμμάτων όσον αφορά την επίδοση αιεφορίας τους (δηλαδή σε σχέση με ένα σύνολο περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων) συγκρίναμε τα σενάρια χρήσης τους στην παραγωγή θερμικής ενέργειας στην τσιμεντοβιομηχανία και στην παραγωγή βιοαιθανόλης χρησιμοποιώντας ως εργαλείο για την Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (EEKZ) την εφαρμογή *SimaPro* και σαν εργαλείο για τη σύζευξη των επιμέρους επιδόσεων σε ένα ενιαίο δείκτη αιεφορίας τη μέθοδο *Analytic Hierarchy Process (AHP)*.

- Τη διερεύνηση της χρήσης λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας στην παραγωγή βιοαιθανόλης (Κεφάλαιο 5). Σε αυτό το κεφάλαιο διερευνήσαμε το επίπεδο της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας για την παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα. Χρησιμοποιώντας την πιο σύγχρονη και πιο καλά τεκμηριωμένη τεχνολογία (*NREL*) εξετάσαμε πέντε διαφορετικά συστήματα παραγωγής βιοαιθανόλης με χρήση υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας ως α΄ ύλης. Τα πέντε αυτά συστήματα, εκτός από βιοαιθανόλη, παράγουν εναλλακτικά ηλεκτρική ενέργεια προς το δημόσιο δίκτυο, *lignosulfonates* ή λιγνίνη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό σε έργα πολιτικού μηχανικού. Αξιολογήσαμε τα πέντε αυτά σενάρια με βάση το δείκτη αειφορίας που προσδιορίστηκε μέσω της μεθόδου *AHP* λαμβάνοντας υπ΄ όψιν τις επί μέρους επιδόσεις τους έναντι οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων. Ακολούθησε η κατάταξη των σεναρίων και η απόρριψη κάποιων από αυτά.
- Τη διερεύνηση της επίδρασης της σύνθεσης των λιγνοκυτταρινούχων γεωργικών υπολειμμάτων στην επίδοση αειφορίας των συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης που χρησιμοποιούν τέτοια α΄ ύλη (Κεφάλαιο 6). Εδώ προσδιορίσαμε την αειφόρο επίδοση ενός συστήματος παραγωγής βιοαιθανόλης επιλέγοντας εναλλακτικά δυο είδη λιγνοκυτταρινούχων γεωργικών υπολειμμάτων που έχουν διαφορετική χημική σύσταση αλλά και φυσικομηχανικές ιδιότητες. Η χημική σύσταση επιδρά στην απόδοση της βιομηχανικής διεργασίας παραγωγής αιθανόλης ενώ οι φυσικομηχανικές ιδιότητες στις επιδόσεις του συστήματος συλλογής, αποθήκευσης και μεταφοράς. Και τα δυο έχουν συνέπειες στις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις του συστήματος.

Κατά τη διερεύνηση των θεμάτων της διατριβής καταλήξαμε σε πλήθος συμπερασμάτων, τα κυριότερα των οποίων μπορούν να συνοψιστούν ως κάτωθι:

- Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων CO₂ έχει αποτύχει να ελέγξει την αύξηση των εκπομπών και των επιπέδων συγκέντρωσης του αερίου στην ατμόσφαιρα που είναι κυρίως υπεύθυνο για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτό μαρτυρούν τόσο η συνεχής αύξηση των επιπέδων συγκέντρωσης του αερίου στην ατμόσφαιρα από τότε που ενεργοποιήθηκε το σύστημα (το έτος 2000 η συγκέντρωση ήταν 270 ppm ενώ το Φεβρουάριο του 2014 έφτασε τα 398 ppm) όσο και ο καταποντισμός της χρηματιστηριακής τιμής του δικαιώματος εκπομπής CO₂ που αφαίρεσε οποιοδήποτε οικονομικό κίνητρο από τις επιχειρήσεις για χρήση τεχνολογιών και καυσίμων που θα μείωναν τις αντίστοιχες εκπομπές τους.
- Η χρήση βρώσιμων προϊόντων, όπως τα φυτικά έλαια ή τα σπορέλαια ως καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι ανήθικη και παράλογη από κάθε άποψη τη στιγμή που εκατοντάδες εκατομμύρια άνθρωποι στον πλανήτη υποσιτίζονται ή και πεθαίνουν από πείνα. Βεβαίως πρόκειται για πολιτικό ζήτημα. Επίσης η παραγωγή βιοκαυσίμων από βρώσιμη βιομάζα δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ζήτημα της αγοράς γιατί, όπως έχει δείξει η πράξη, αυτό έχει οδηγήσει σε υπερβολική αύξηση των τιμών συγκεκριμένων βρώσιμων προϊόντων, όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, η σίκαλη κλπ. Συγκεκριμένοι περιορισμοί θα πρέπει να τεθούν

παγκοσμίως στην χρήση βρώσιμων προϊόντων για ενεργειακές χρήσεις καθώς και τρόποι ελέγχου των περιορισμών αυτών. Ο αειφόρος τρόπος παραγωγής βιοκαυσίμων απαιτεί τη χρήση εγχώριων α' υλών. Αυτό σημαίνει ότι εάν μια χώρα δεν διαθέτει τις απαιτούμενες α' ύλες δεν θα πρέπει να αποπειράται την παραγωγή βιοκαυσίμων συμβάλλοντας έτσι σε ένα καλύτερο αποτέλεσμα από πλευράς αειφορίας.

- iii. Η χρήση των υπολειμμάτων γεωργικών και δασικών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων φαίνεται να υπερτερεί σε σχέση με τη χρήση άλλου τύπου βιομάζας, όπως τα βρώσιμα αγροτικά προϊόντα, επειδή διαθέτουν μεγάλο δυναμικό και δεν ανταγωνίζονται την παραγωγή τροφίμων. Επιπλέον, αν δεν αξιοποιηθούν, αποσυντίθενται σε CO₂ συμβάλλοντας ούτως ή άλλως στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η χρήση των υπολειμμάτων (γεωργικών και δασικών) έχει πιθανώς τις λιγότερες αρνητικές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις στα ανθρωπογενή συστήματα συγκρινόμενη με την χρήση των προϊόντων των ενεργειακών καλλιεργειών. Η εφοδιαστική αλυσίδα των βιοκαυσίμων περιλαμβάνει σε αρκετές περιπτώσεις πολύπλοκα συστήματα logistics, ιδιαίτερα για τα τμήματα που αφορούν τον εφοδιασμό των παραγωγικών μονάδων με τις απαιτούμενες ποσότητες βιομάζας. Αυτό είναι περισσότερο έντονο στις περιπτώσεις όπου έχουμε κατακερματισμό της γης και σύντομες περιόδους συλλογής της βιομάζας. Σε αυτά τα συστήματα εφοδιασμού χρησιμοποιούνται κατά κόρον γεωργικά μηχανήματα και οχήματα μεταφοράς που συμβάλλουν αρνητικά στη συνολική περιβαλλοντική επίδοση του συστήματος, αφού αυτά λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Παρ' όλα αυτά, αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις είναι λιγότερες από τις αντίστοιχες των βιοκαυσίμων που προέρχονται από βιομάζα ενεργειακών καλλιεργειών.
- iv. Η αξιολόγηση της χρήσης γης ως περιβαλλοντικής κατηγορίας σε μελέτες ανάλυσης επιπτώσεων κύκλου ζωής είναι έως σήμερα ανεπαρκής. Οι λόγοι μπορεί να είναι αντικειμενικοί και υποκειμενικοί, αλλά η εξέταση της χρήσης γης σε ένα τεχνολογικό σύστημα όπως είναι τα συστήματα παραγωγής βιοκαυσίμων αποτελεί sine qua non συνθήκη για την εξέταση της αειφορίας του και ως εκ τούτου θα πρέπει εξετάζεται η επίδοσή του σε αυτήν.
- v. Όσο περισσότερο ολοκληρωμένα είναι τα συστήματα παραγωγής των βιοκαυσίμων, δηλαδή όσο περισσότερα προϊόντα και παραπροϊόντα παράγονται από αυτά, τόσο μικρότερες είναι οι οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές αρνητικές επιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή οι συνολικές επιπτώσεις επιμερίζονται αναλόγως σε κάθε παραγόμενο προϊόν ή παραπροϊόν που έχει αξία. Τα βιοδιύλιστήρια αποτελούν μια υποσχόμενη τεχνολογία. Επειδή είναι ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής, έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν στο ελάχιστο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους αλλά και το κόστος παραγωγής. Η εξοικονόμηση υλικών, χώρων, κεφαλαίων και ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί σε τέτοιου είδους βιομηχανικές μονάδες είναι πολύ μεγάλη.
- vi. Το ελληνικό δυναμικό λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας και καλαμποκοκαλλιέργειας υπολογίζεται σε 2,079,000 t. Οι ποσότητες αυτές είναι αρκετές για να καλύψουν θεωρητικά την τροφοδοσία 3 μονάδων παραγωγής αιθανόλης (τροφοδοσίας 770,000 t/έτος ή για την παραγωγή περίπου 10,000,000 t κλίνκερ υπό την παραδοχή ότι τα υπολείμματα θα μπορούσαν να επιτύχουν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας κλινκεροποίησης.

- vii. Το σενάριο της χρήσης της βιομάζας λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας ως καυσίμου στη τσιμεντοβιομηχανία υπερέχει στο κριτήριο της περιβαλλοντικής επίδοσης του σεναρίου χρήσης της για την παραγωγή αιθανόλης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της εξοικονόμησης συμβατικού καυσίμου (*retcoke*) αλλά και της «ουδετερότητας» του βιογενούς εκπεμπόμενου CO₂ κατά την χρήση της στη τσιμεντοβιομηχανία. Το σενάριο χρήσης της εν λόγω βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης όμως υπερέχει ξεκάθαρα στο κριτήριο της οικονομικής επίδοσης. Αυτό οφείλεται αφενός στην τιμή αγοράς της αιθανόλης και αφετέρου στην επιδοτούμενη υψηλή τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που διατίθεται στο δημόσιο δίκτυο. Στο κριτήριο της κοινωνικής επίδοσης τα δυο σενάρια παρουσιάζονται περίπου ισότιμα. Η συνδυασμένη επίδοση του πρώτου σεναρίου υπερέχει του άλλου στο σύνολο των κριτηρίων (υπό προϋποθέσεις που σχετίζονται με τη σχετική βαρύτητα του περιβαλλοντικού και οικονομικού κριτηρίου) καθιστώντας το προτιμητέο στην οπτική ενός φορέα που πιθανόν να ήταν υπεύθυνος για τη λήψη απόφασης χρήσης της βιομάζας στο ένα ή στο άλλο σενάριο (π.χ κρατικές υπηρεσίες εφαρμογής αναπτυξιακής πολιτικής).
- viii. Από τα σενάρια χρήσης των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας σε συστήματα παραγωγής βιοαιθανόλης που εξετάστηκαν στο Κεφάλαιο 5 αυτά που ξεχωρίζουν ως προς την επίδοση αειφορίας τους είναι τα σενάρια στα οποία, εκτός από αιθανόλη, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια προς πώληση το δημόσιο δίκτυο ή εναλλακτικά λιγνίνη για χρήση της ως γεω-υλικού σε έργα πολιτικού μηχανικού (σταθεροποίησης εδαφών). Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων έναντι των άλλων εξεταζόμενων προκύπτει από το γεγονός ότι βρίσκονται σε ημιβιομηχανική κλίμακα ανάπτυξης και σε προχωρημένο στάδιο όσον αφορά την χρήση υλικών και ενέργειας, εξοπλισμού κλπ. Στην άλλη πλευρά, τα συστήματα που παράγουν αιθανόλη και *lignosulfonates* έχουν την χειρότερη περιβαλλοντική επίδοση, ενώ αυτό που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της αρυλσουλφόνωσης επιδεικνύει τη χειρότερη περιβαλλοντική επίδοση ανάμεσα σε όλα τα συστήματα. Στο τελευταίο σύστημα επίσης χρησιμοποιείται ανεπιθύμητος οργανικός διαλύτης (CCl₄ ή εναλλακτικά C₂H₂Cl₄), γεγονός το οποίο αντίκειται στις αρχές της Πράσινης Χημείας. Εξαιτίας αυτών των λόγων το συγκεκριμένο σενάριο προτείνεται να απορριφθεί από τη διαδικασία μελλοντικής ανάπτυξής του για εμπορική εφαρμογή.
- ix. Όσον αφορά την επίδραση της χημικής σύστασης της λιγνοκυτταρινούχας τροφοδοσίας των συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης προκύπτει ότι η χρήση των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας υπερισχύει στην περιβαλλοντική επίδοση ενώ των υπολειμμάτων βαμβακοκαλλιέργειας στην οικονομική επίδοση. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη απόδοση παραγωγής των πρώτων στα χωράφια αλλά και στην καλύτερη βιομηχανική απόδοσή τους λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητάς τους σε ολοκυτταρίνη αλλά και στην υψηλή περιεκτικότητα των δεύτερων σε λιγνίνη, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο. Στη συνολική επίδοση αειφορίας το σενάριο χρήσης των υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας υπερισχύει για όλες τις τιμές βάρους του περιβαλλοντικού κριτηρίου $W_{ENV} \geq 0.5$ που αντιστοιχεί στην περίπτωση της ίσης βαρύτητας των δυο χρησιμοποιηθέντων κριτηρίων (περιβαλλοντικού και οικονομικού).
- x. Η αβεβαιότητα των παραμέτρων που σχετίζονται με την ανάλυση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων είναι σημαντική. Αν και η

αβεβαιότητα που οφείλεται στα μοντέλα υπολογισμού υπάρχει, εν τέλει αυτή που επικρατεί είναι η αβεβαιότητα που οφείλεται σε εξωτερικές πηγές. Τέτοιου τύπου αβεβαιότητα μπορεί να έρχεται ως επακόλουθο απουσίας κατανόησης ή γνώσης ή να οφείλεται σε εγγενή τυχαιότητα των υπό εξέταση διεργασιών. Παραδείγματα τέτοιων πηγών αβεβαιότητας αποτελούν:

- το εύρος των τιμών των παραμέτρων των χρησιμοποιούμενων καλλιεργητικών τεχνικών (απόδοση της καλλιεργούμενης βιομάζας, δεδομένα λίπανσης, δεδομένα εντομοκτονιών κλπ),
- το εύρος των τιμών αγοράς των α' και β' υλών,
- το εύρος των τιμών των κλιματικών παραμέτρων κλπ.

Σχολιάζοντας τα παραπάνω συμπεράσματα θα θέλαμε να σημειώσουμε τα εξής:

Στην ανάλυση μας για την αξιολόγηση είχαμε πάντα κατά νου ότι η αειφόρος επίδοση συνίσταται από τρεις επιμέρους επιδόσεις: στο περιβαλλοντικό, στο οικονομικό και στο κοινωνικό πεδίο. Η άποψή μας είναι ότι, επειδή τα βιοκαύσιμα είναι προϊόντα που έχουν εισαχθεί για να αντιμετωπίσουν κυρίως περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η επίδοσή τους έναντι των περιβαλλοντικών κριτηρίων θα πρέπει να βαρύνει περισσότερο σε σχέση με τα άλλα δυο είδη κριτηρίων (οικονομικά και κοινωνικά). Έτσι αντιμετωπίσαμε τη διαδικασία για τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων. Παρ' όλα αυτά, επειδή γνωρίζουμε ότι στην κοινωνία όπως είναι διαμορφωμένη σήμερα και ιδιαίτερα στον κόσμο των επιχειρήσεων επικρατούν κυρίως τα οικονομικά κριτήρια, αλλά και για λόγους πληρότητας της ανάλυσης μας, εξετάσαμε μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας και τις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα οικονομικά κριτήρια υπερίσχυαν ως προς το βάρος τους των περιβαλλοντικών κριτηρίων στην οπτική του φορέα λήψης απόφασης.

Ως έκφραση της οικονομικής επίδοσης χρησιμοποιήσαμε δείκτες που βασίζονται στο επιχειρηματικό κέρδος. Η άποψή μας είναι ότι το επιχειρηματικό κέρδος δεν είναι αλληλένδετο με την ανθρώπινη φύση (σε αντίθεση με την ποιότητα του περιβάλλοντος, που πρέπει να υπερβαίνει ένα ελάχιστο επίπεδο που να εξασφαλίζει στον άνθρωπο τη διαβίωση και αναπαραγωγή του) και ότι είναι δυνατόν να υπάρξουν ανθρώπινες κοινωνίες χωρίς αυτό. Παρά ταύτα θεωρούμε ότι κάποια οικονομικά μεγέθη όπως το κόστος παραγωγής, λειτουργίας κλπ έχουν θέση στα κριτήρια αξιολόγησης ενός προϊόντος/συστήματος/υπηρεσίας. Βεβαίως αυτή η περίπτωση ανάλυσης είναι ιδεατή αφού ακόμα και μέρος αυτών των μεγεθών αντιστοιχεί σε επιχειρηματικό κέρδος.

Για τον προσδιορισμό της περιβαλλοντικής επίδοσης των εξετασθέντων συστημάτων χρησιμοποιήσαμε την εμπορική εφαρμογή *SimaPro* η οποία, βασισμένη σε μεθόδους Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής, προσδιορίζει την ένταση του περιβαλλοντικού φορτίου αθροίζοντας επί μέρους επιπτώσεις σε κατανοητούς και διεθνώς αναγνωρισμένους δείκτες. Το *SimaPro* κατέχει σήμερα διεθνή αναγνώριση και χρησιμοποιείται συστηματικά τόσο από ερευνητικούς φορείς όσο και από επιχειρήσεις.

Από τις γνωστές πολυκριτηριακές μεθόδους ανάλυσης (*AHP*, *ELECTRE*, *PROMETHEE* κλπ) που χρησιμοποιούνται σε προβλήματα λήψης απόφασης όπου είναι απαραίτητος ο συνδυασμός αλληλοσυγκρουόμενων επιδόσεων σε ένα μοναδικό δείκτη, επιλέξαμε την *AHP* (*Analytic*

Hierarchy Process). Η χρήση της *AHP* είναι πλατιά διαδεδομένη διεθνώς πολλά χρόνια τώρα σε πεδία κυβερνητικών και επιχειρηματικών αποφάσεων και ως εκ τούτου η εγκυρότητά της έχει δοκιμαστεί ενώ ταυτόχρονα η πρακτικότητά της είναι ευρέως αποδεκτή παρά την κριτική που έχει δεχτεί σε επιμέρους θέματα (μη μονοτονικότητα διαδικασίας προσδιορισμού βαρών των κριτηρίων, αναστροφή κατάταξης με την προσθήκη παραπάνω εναλλακτικών σεναρίων κλπ).

Παραπέρα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης που διεξήχθη πρέπει επίσης να ιδωθούν κάτω από το πρίσμα των επομένων. Ανάμεσα στους κύριους σκοπούς μας ήταν η πρόταση μιας μεθόδου και ενός συνόλου κριτηρίων για την αξιολόγηση και κατάταξη τεχνολογικών συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων. Χωρίς αμφιβολία αρκετές παρόμοιες μέθοδοι ή και κριτήρια έχουν ήδη ή μπορεί αργότερα να αναπτυχθούν. Η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να βελτιωθεί με προσθήκες, συμπληρώσεις ή τροποποιήσεις, το πλαίσιο όμως της ανάλυσης δεν μπορεί παρά να παραμείνει ίδιο με αυτό που τέθηκε από την παρούσα έρευνα. Αυτή νομίζουμε ότι είναι η κύρια συμβολή μας στην έρευνα. Η συμβολή της διατριβής στην παραγωγή νέας γνώσης περιλαμβάνει επίσης, μεταξύ άλλων, όσα περιέχονται στο παρόν κεφάλαιο ως κύρια συμπεράσματα της έρευνας.

9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Σημαντικά πεδία που δεν κατέστη δυνατόν να εξεταστούν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής επαρκώς και τα οποία μπορούν να συμπεριληφθούν μεταξύ άλλων σε μελλοντική έρευνα είναι τα παρακάτω:

- Ο ανασχεδιασμός των συστημάτων παραγωγής *lignosulfonates* με στόχο την αύξηση της αιιφόρου επίδοσής τους. Ο ανασχεδιασμός θα πρέπει οπωσδήποτε να περιλάβει την βελτιστοποίηση των διεργασιών και του εξοπλισμού παραγωγής των συστημάτων καθώς και τη διερεύνηση της αντικατάστασης των χρησιμοποιούμενων στην παραγωγική διαδικασία επικίνδυνων ή /και ανεπιθύμητων υλικών.
- Η συστηματική δειγματοληψία βιομάζας λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων καλαμποκοκαλλιέργειας και βαμβακοκαλλιέργειας από τον ελληνικό χώρο με σκοπό τον επακριβή προσδιορισμό της σύστασής τους και τη σύγκρισή τους με αντίστοιχα δεδομένα από τον διεθνή χώρο. Στη συγκεκριμένη σύγκριση θα ήταν δυνατόν να συσχετιστεί η σύσταση της βιομάζας με διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα, στοιχεία και πρακτικές καλλιεργητικών τεχνικών κλπ.
- Η διερεύνηση της επίδρασης του μεγέθους της δυναμικότητας των μονάδων παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα καλλιεργειών στην αιιφορία τους. Συγκεκριμένα, αυτό προϋποθέτει την εξέταση της επίδρασης του μεγέθους της δυναμικότητάς των μονάδων στην ένταση του περιβαλλοντικού φορτίου τους καθώς και στην οικονομικότητά τους αλλά και σε κοινωνικές παραμέτρους όπως η απασχόληση κλπ.
- Ο αναλυτικός προσδιορισμός τόσο των επιμέρους πηγών αβεβαιότητας όσο και της συνολικής αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει την επίδοση των εξεταζομένων εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής με κριτήριο την αιιφορία.

- About Lignin, International Lignin Institute. (2014). Retrieved January 01, 2014, from <http://www.ili-lignin.com/aboutlignin.php>
- Aden, A., Ruth, M., Ibsen, K., Jechura, J., Neeves, K., Sheehan, J., ... Lukas, J. (2002). *Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover*. Colorado.
- Aita, G., & Kim, M. (2010). Pretreatment Technologies for the Conversion of Lignocellulosic Materials to Bioethanol. In *Sustainability of the Sugar and Sugar–Ethanol Industries* (pp. 117–145). American Chemical Society.
- Algenol Biofuels. (2014). Retrieved from <http://www.algenolbiofuels.com/>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University press (p. 30). New York.
- Barnabè, D., Bucchi, R., Rispoli, A., Chiavetta, C., Porta, P. L., Bianchi, C. L., ... Carvoli, G. (2013). Land Use Change Impacts of Biofuels : A Methodology to Evaluate Biofuel Sustainability. In Z. Fang (Ed.), *Biofuels - Economy, Environment and Sustainability* (pp. 3–38).
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach* (p. 372). Springer.
- Biolyfe Production Plant. (2014). Retrieved from <http://www.biolyfe.eu>
- Börjesson, P. (2009). Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective – What determines this? *Applied Energy*, 86(5), 589–594. doi:10.1016/j.apenergy.2008.11.025
- Carbon Dioxide Emission Allowances Electronic Trading System. (2014). Retrieved from <http://www.sendeco2.com>
- Carpentieri, M., Corti, A., & Lombardi, L. (2005). Life cycle assessment (LCA) of an integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC) with CO₂ removal. *Energy Conversion and Management*, 46(11-12), 1790–1808. doi:10.1016/j.enconman.2004.08.010
- Cecava M. (2014). Storage and Processing of Corn Stover Eastern Iowa Mid-Scale Trials: Practical Considerations. Retrieved from <http://bionergy.illinois.edu/news/biorefinery/pp-cacava.pdf>
- Ceylan, H., Gopalakrishnan, K., & Kim, S. (2010). *Biofuel Co-products Uses for Pavement Geomaterials Stabilization*. Ames, IA.
- Charles, C., & Bridle, R. (2013). *A review of costs and benefits of*.
- Chemical Engineering Magazine, CPI. (2014). Retrieved from <http://www.che.com>

- Chevalier, C., & Meunier, F. (2005). Environmental assessment of biogas co- or tri-generation units by life cycle analysis methodology. *Applied Thermal Engineering*, 25(17-18), 3025–3041. doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.03.011
- Chisti, Y. (2008). Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*, 26(3), 126–31. doi:10.1016/j.tibtech.2007.12.002
- Clariant. (2014). Retrieved from <http://www.clariant.com>
- Committee of Professional Agricultural Organisations/General Committee for Agricultural Cooperation in the European Union WebPage. Factsheets. (2010). Retrieved from <http://www.copa-cogeca.be/Factsheets.aspx>
- Cross Border Bioenergy Working Group. (2012). *EU Handbook - Biofuel Markets*.
- Directive 04/156 (2004).
- Directive 09/28/EC (2009).
- Directive 09/30/EC (2009).
- Dorado, M. P., Cruz, F., Palomar, J. M., & López, F. J. (2006). An approach to the economics of two vegetable oil-based biofuels in Spain. *Renewable Energy*, 31(8), 1231–1237. doi:10.1016/j.renene.2005.06.010
- DuPont Nevada Site Cellulosic Ethanol Facility. (2014). Retrieved from 3. <http://biofuels.dupont.com/cellulosic-ethanol/nevada-site-ce-facility>
- Energy Argus Petroleum Coke Market Overview*. (2013).
- EU transport in figures Statistical Pocketbook*. (2012). doi:10.2832/52252
- European Biodiesel Board Statistics. (2014). Retrieved from <http://www.ebb-eu.org/stats.php>
- European Biomass Industry Association. (2014). Retrieved from <http://www.eubia.org/>
- European Commission, Eurostat, Statistics. (2014). Retrieved from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/themes>
- European Commission, Eurostat, Statistics, Agriculture, Data. (2014). Retrieved from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data>
- European Commission, Eurostat, Statistics, Energy, Data. (2014). Retrieved from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data>
- European Commission/DG Environment. (2003). *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives*.

- European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. (2011). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*.
- Fischer, G., Prieler, S., van Velthuisen, H., Berndes, G., Faaij, A., Londo, M., & de Wit, M. (2010). Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures, Part II: Land use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 34(2), 173–187. doi:10.1016/j.biombioe.2009.07.009
- Fonseca, M. B., Burrell, A., Gay, H., Henseler, M., Kavallari, A., Barek, R. M., ... Tonini, A. (2010). *Impacts of the EU biofuel target on agricultural markets and land use : a comparative modelling assessment*. doi:10.2791/45105
- Food and Agricultural Organization of the UN Statistics. (2014). Retrieved from <http://www.fao.org/statistics/databases/en/>
- Fronzel, M., & Peters, J. (2007). Biodiesel: A new Oildorado? *Energy Policy*, 35(3), 1675–1684. doi:10.1016/j.enpol.2006.04.022
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. De, Struijs, J., & Zelm, R. Van. (2009). *ReCiPe 2008. Potentials* (pp. 1–44).
- Grover, S., Kathuria, R. S., & Kaur, M. (2012). Energy Values and Technologies for Non woody Biomass : as a clean source of Energy, 1(2), 10–14.
- Hartmann, D., & Kaltschmitt, M. (1999). Electricity generation from solid biomass via co-combustion with coal Energy and emission balances from a German case study, 16.
- Holladay, J. E., White, J. F., Bozell, J. J., & Johnson, D. (2007). *Top Value-Added Chemicals from Biomass Volume II — Results of Screening for Potential Candidates from Biorefinery Lignin* (Vol. II, p. 87). U.S. Department of Energy (DOE). doi:10.1126/science.1109835
- Humbird, D., Davis, R., Tao, L., Kinchin, C., HSU, D., & Aden, A. (2011). *Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol Dilute-Acid Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover*. Colorado.
- ISO 14044:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines (2006).
- Johnson, J. J. (2006). *Technology Assessment of biomass ethanol: a multiobjective life cycle approach under uncertainty*.
- Julio Terrados, G. A. and J. A. (2010). *Paths to Sustainable Energy*. (A. Ng, Ed.). InTech. doi:10.5772/546
- Jungbluth, N., & Chudacoff, M. (2007). Life cycle inventories of bioenergy. *Zurich, Ecoinvent ...*, (17).
- Khanchi, A., Jones, C. L., Sharma, B., & Huhnke, R. L. (2013). Characteristics and compositional change in round and square switchgrass bales stored in South Central Oklahoma. *Biomass and Bioenergy*, 58, 117–127. doi:10.1016/j.biombioe.2013.10.017

- Kim, S., & Dale, B. E. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, 26(4), 361–375. doi:10.1016/j.biombioe.2003.08.002
- Kim, S., & Dale, B. E. (2005). Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. *Biomass and Bioenergy*, 29(6), 426–439.
- Klass, D. (1998). *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. Academic Press.
- Kutas, G., Lindberg, C., & Steenblik, R. (2007). *Biofuels--at what Cost?: Government Support for Ethanol and Biodiesel in the European Union*.
- Ladanai, S., & Vinterbäck, J. (2009). *Global Potential of Sustainable Biomass for Energy*.
- Lonza L.; Hass H.; Maas H.; Reid A.; Rose K.D. (2011). *EU renewable energy targets in 2020 : Analysis of scenarios for transport JEC Biofuels Programme*. doi:10.2788/74948
- Manzanera, M. (2011). *Alternative Fuel*. InTech.
- Matsushita, Y., & Yasuda, S. (2005). Preparation and evaluation of lignosulfonates as a dispersant for gypsum paste from acid hydrolysis lignin. *Bioresource Technology*, 96(4), 465–70. doi:10.1016/j.biortech.2004.05.023
- Mukhopadhyay, K. (2004). An assessment of a Biomass Gasification based Power Plant in the Sunderbans. *Biomass and Bioenergy*, 27(3), 253–264. doi:10.1016/j.biombioe.2003.11.008
- National Biodiesel Board, Production Statistics. (2014). Retrieved from www.biodiesel.org/production/production-statistics
- Obernberger, I., Brunner, T., & Bärnthaler, G. (2006). Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. *Biomass and Bioenergy*, 30(11), 973–982.
- Oers, L. Van, Koning, A. De, & Tamis, W. (2006). *Life cycle approaches for Conservation Agriculture*.
- Oils, V., Gas, N., & Average, I. (2008). Comprehensive Survey on Energy Use for Biodiesel Production Sample Survey Sent to NBB Members, 4898(573).
- Pacific Northwest National Laboratory. (2014). Retrieved from <http://www.pnnl.gov>
- Petrou, E. C., & Pappis, C. P. (2009). Biofuels: A Survey on Pros and Cons. *Energy & Fuels*, 23(2), 1055–1066. doi:10.1021/ef800806g
- Petrou, E., & Mihiotis, A. (2007). Design of a Factories ' Supply System with Biomass in Order to Be Used as an Alternative Fuel — A Case Study, (5), 3718–3722.
- Pimentel, D., & Patzek, T. W. (2005). Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research*, 14(1), 65–76. doi:10.1007/s11053-005-4679-8

- Platts, Global Ethanol Market Update. (2014). Retrieved from www.platts.com
- POET-DSM. (2014). POET-DSM Advanced Biofuels. Retrieved from <http://poet-dsm.com>
- Pradhan, A., Shrestha, D. S., Mcaloon, A., Yee, W., Haas, M., & Duffield, J. A. (2011). Transactions of ASABE, 54(3), 1031–1039.
- Ranta T., Lahtinenb P., Elo J., L. J. (2007). The effect of CO2 emission trade on the wood fuel market in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 31(8), 535–542.
- Regulation (EC) no. 490/2013 (2013).
- Regulation (EC) no. 599/2009 (2009).
- Russi, D. (2008). An integrated assessment of a large-scale biodiesel production in Italy: Killing several birds with one stone? *Energy Policy*, 36(3), 1169–1180. doi:10.1016/j.enpol.2007.11.016
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hil.
- Sassner, P., Galbe, M., & Zacchi, G. (2008). Techno-economic evaluation of bioethanol production from three different lignocellulosic materials. *Biomass and Bioenergy*, 32(5), 422–430. doi:10.1016/j.biombioe.2007.10.014
- Silverstein, R. A., Chen, Y., Sharma-shivappa, R. R., Boyette, M. D., & Osborne, J. (2007). A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks, 98, 3000–3011. doi:cx
- Smith, M. E., Flach, B., Bendz, K., Krautgartner, R., & Lieberz, S. (2013). *USDA FAS EU Biofuels Annual 2013*.
- Snow, A. A., & Smith, V. H. (2012). Genetically Engineered Algae for Biofuels: A Key Role for Ecologists. *BioScience*, 62(8), 765–768. doi:10.1525/bio.2012.62.8.9
- Thamsiroj, T., & Murphy, J. D. (2009). Is it better to import palm oil from Thailand to produce biodiesel in Ireland than to produce biodiesel from indigenous Irish rape seed? *Applied Energy*, 86(5), 595–604. doi:10.1016/j.apenergy.2008.07.010
- Trentacoste, E. M., Shrestha, R. P., Smith, S. R., Glé, C., Hartmann, A. C., Hildebrand, M., & Gerwick, W. H. (2013). Metabolic engineering of lipid catabolism increases microalgal lipid accumulation without compromising growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(49), 19748–53. doi:10.1073/pnas.1309299110
- United Nation General Assembly. 2005 World Summit Outcome, Resolution A/60/1, adopted by the General Assembly on 15 September 2005 (2005).
- United Nations Environment Programme: Project GEF ID 1361 Executive Summary*. (2005).

- United States Department of Agriculture, Economic Research Service. (2014). Retrieved from <http://ers.usda.gov/>
- US Department of Energy Alternative Fuels Data Center. (2014). Retrieved from <http://www.afdc.energy.gov/fuels/prices.html>
- US Energy Information Agency Renewable and Alternative Fuels. (2014). Retrieved from <http://www.eia.gov/renewable/data.cfm>
- Van Dyne, D. L., Weber, J. a., & Braschler, C. H. (1996). Macroeconomic effects of a community-based biodiesel production system. *Bioresource Technology*, 56(1), 1–6. doi:10.1016/0960-8524(95)00173-5
- Vanholme, R., Cesarino, I., Rataj, K., Xiao, Y., Sundin, L., Goeminne, G., ... Boerjan, W. (2013). Caffeoyl shikimate esterase (CSE) is an enzyme in the lignin biosynthetic pathway in Arabidopsis. *Science (New York, N.Y.)*, 341(6150), 1103–6. doi:10.1126/science.1241602
- Von Blottnitz, H., & Curran, M. A. (2007). A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 15(7), 607–619. doi:10.1016/j.jclepro.2006.03.002
- Wikipedia, Table of biofuel crop yields. (2014). Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Table_of_biofuel_crop_yields
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*. (C. Hinrichs, Ed.) Scenario (Vol. 2, p. 1440). Duxbury Press.
- Wiseloge, A. E., Agblevor, F. A., Johnson, D. K., Deutch, S., Fennell, J. A., & Sanderson, M. A. (1996). Compositional changes during storage of large round switchgrass bales. *Bioresource Technology*, 56(1), 103–109. doi:10.1016/0960-8524(95)00171-9
- Yusuf, N. N. a. N., Kamarudin, S. K., & Yaakub, Z. (2011). Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 52(7), 2741–2751. doi:10.1016/j.enconman.2010.12.004
- ΔΕΗ. (2014). Retrieved from www.dei.gr
- ΔΕΣΜΗΕ, Τιμολόγηση ενέργειας απο ΑΠΕ. (2014). Retrieved from www.desmie.gr
- Σκορδιλής, Α. (1990). *Εισαγωγή στην επεξεργασία απορριμάτων. Μηχανική διαλογή*. ΤΕΕ.
- Τσακαλάκης Κ. (2010). *Τεχνολογία παρασκευής τσιμεντου & σκυροδέματος*. ΑΘΗΝΑ.
- Υπουργείο Γεωργίας. Στατιστικά Δεδομένα. Χρονολογικές Σειρές. (2014). Retrieved from http://www.minagric.gr/greek/agro_pol/3.htm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Α.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ SimaPro ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΧΡΗΣΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΒΑΜΒΑΚΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΛΙΝΚΕΡ

| | | | | | |
|--------------------|--|-------|-----------|-------|----------|
| SimaPro 7.3 | process | Date: | 7/28/2014 | Time: | 10:21 μμ |
| Project | COTTON STALKS FOR THERMAL OR ETHANOL I | | | | |
| Process | | | | | |
| Category type | waste treatment | | | | |
| Process identifier | UPRC138614062400004 | | | | |
| Type | | | | | |
| Process name | | | | | |
| Status | | | | | |
| Time period | Unspecified | | | | |
| Geography | Unspecified | | | | |

| | |
|----------------------------|-------------|
| Technology | Unspecified |
| Representativeness | Unspecified |
| Waste treatment allocation | Unspecified |
| Cut off rules | Unspecified |
| Capital goods | Unspecified |
| Boundary with nature | Unspecified |
| Infrastructure | No |
| Date | 3/29/2010 |
| Record | |
| Generator | |
| Literature references | |
| Collection method | |
| Data treatment | |
| Verification | |
| Comment | |
| Allocation rules | |
| System description | |

Waste treatment

| | | | | |
|-------------------------------------|---|-----|-----------------|--------------|
| cotton stalks burned in cement kiln | 1 | ton | All waste types | Incineration |
|-------------------------------------|---|-----|-----------------|--------------|

Avoided products

| | | | | |
|-----------------------------------|--------|-----|-----------|--|
| Petroleum coke, at refinery/RER U | 0.4786 | ton | Undefined | |
|-----------------------------------|--------|-----|-----------|--|

Resources

Materials/fuels

Electricity/heat

Emissions to air

| | | | | |
|--------------------------|--|------|----|-----------|
| Carbon dioxide, biogenic | | 1760 | kg | Undefined |
|--------------------------|--|------|----|-----------|

| | | | | |
|--------------|--|---------|----|-----------|
| Particulates | | 0.07995 | mg | Undefined |
|--------------|--|---------|----|-----------|

| | | | | |
|---------------------------|--|---------|----|-----------|
| Carbon monoxide, biogenic | | 0.11193 | mg | Undefined |
|---------------------------|--|---------|----|-----------|

| | | | | |
|-----------------|--|---------|----|-----------|
| Nitrogen oxides | | 0.70356 | mg | Undefined |
|-----------------|--|---------|----|-----------|

| | | | | |
|--------------|--|----------|----|-----------|
| Acetaldehyde | | 0.001148 | mg | Undefined |
|--------------|--|----------|----|-----------|

| | | | |
|--|----------|----|-----------|
| Ammonia | 0.03262 | kg | Undefined |
| Arsenic | 1.89E-05 | kg | Undefined |
| Benzene | 0.017109 | kg | Undefined |
| Benzene, ethyl- | 0.000564 | kg | Undefined |
| Benzene, hexachloro- | 1.35E-10 | kg | Undefined |
| Benzo(a)pyrene | 9.4E-06 | kg | Undefined |
| Bromine | 0.001129 | kg | Undefined |
| Cadmium | 1.32E-05 | kg | Undefined |
| Calcium | 0.110011 | kg | Undefined |
| Chlorine | 0.00339 | kg | Undefined |
| Chromium | 7.45E-05 | kg | Undefined |
| Chromium VI | 7.53E-07 | kg | Undefined |
| Copper | 0.000414 | kg | Undefined |
| Dinitrogen monoxide | 0.043333 | kg | Undefined |
| Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin | 5.86E-10 | kg | Undefined |
| Fluorine | 0.009402 | kg | Undefined |
| Formaldehyde | 0.002446 | kg | Undefined |

| | | | |
|--|----------|----|-----------|
| Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified | 0.017109 | kg | Undefined |
| Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated | 0.058364 | kg | Undefined |
| Lead | 0.00047 | kg | Undefined |
| Magnesium | 0.00678 | kg | Undefined |
| Manganese | 0.003198 | kg | Undefined |
| Mercury | 5.64E-06 | kg | Undefined |
| Methane, biogenic | 0.007531 | kg | Undefined |
| m-Xylene | 0.002255 | kg | Undefined |
| Nickel | 0.000113 | kg | Undefined |
| NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | 0.011289 | kg | Undefined |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | 0.000209 | kg | Undefined |
| Phenol, pentachloro- | 1.52E-07 | kg | Undefined |
| Phosphorus | 0.005644 | kg | Undefined |
| Potassium | 0.439725 | kg | Undefined |
| Sodium | 0.024465 | kg | Undefined |
| Sulfur dioxide | 0.047011 | kg | Undefined |
| Toluene | 0.005644 | kg | Undefined |

Zinc 0.005644 kg Undefined

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

Calculated parameters

A.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ SimaPro ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΧΡΗΣΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΒΑΜΒΑΚΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ Α΄ ΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

| | | | |
|-----------------------|--|-------|----------|
| SimaPro 7.3 | process | | |
| Project | EtOH 12 | | |
| Date: | 8/4/2014 | Time: | 10:51 μμ |
| Type | Unit process | | |
| Process name | ethanol, 95% in H2O, from cotton stalksr at distillery/kg/GR | | |
| Record | Data entry by: Evangelos Petrou | | |
| Literature references | Life Cycle Inventories of Bioenergy/2007/Jungbluth N. | | |
| Collection method | Sampling procedure: Data is adapted to Swiss conditions from NREL ethanol process design from yellow poplar, modelling by ENERS (CH) | | |

Extrapolations: Direct emissions (resulting from the combustion of unconverted solids, incl. lignin) are based on the the combustion of wood chips (with emission control), according to the corresponding dry matter content, carbon content and energy content.

Data treatment

Uncertainty adjustments: none

Products

| | | | |
|--|-----|----|-----|
| Ethanol, 99.5% in H ₂ O, from 1t cotton stalks, at distillery (without transportation)/GR U | 162 | kg | 100 |
|--|-----|----|-----|

Avoided products

Resources

Materials/fuels

| | | | |
|--|--------|----|--|
| Tap water, at user/RER U | 1612.5 | kg | |
| Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U | 22.1 | kg | |

| | | |
|--|----------|----|
| CHEMICALS INORGANIC | 0.032 | kg |
| Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U | 1.55 | kg |
| Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U | 9.7 | kg |
| Maize starch, at plant/DE U | 14.4 | kg |
| Propane/ butane, at refinery/RER U | 0.034436 | kg |
| Chemicals organic, at plant/GLO U | 27.5 | kg |
| Ethanol fermentation plant/CH/I U | 3.88E-08 | p |
| Lubricating oil, at plant/RER U | 0.072021 | kg |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, building/CH/I U | 2.47E-08 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U | 9.86E-08 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U | 9.86E-08 | p |
| NAOH | 24.5 | KG |
| SO2 | 0.17 | KG |
| NH3 | 12.7 | KG |

Emissions to air

| | | |
|---------------------------|---------|----|
| Heat, waste | 1640 | MJ |
| Acetaldehyde | 0.00108 | kg |
| Ammonia | 0.30062 | kg |
| Arsenic | 0.00002 | kg |
| Benzene | 0.01743 | kg |
| Benzene, ethyl- | 0.00057 | kg |
| Benzene, hexachloro- | 0.00000 | kg |
| Benzo(a)pyrene | 0.00001 | kg |
| Bromine | 0.00106 | kg |
| Cadmium | 0.00001 | kg |
| Calcium | 0.10345 | kg |
| Carbon monoxide, biogenic | 0.13406 | kg |
| Chlorine | 0.00318 | kg |
| Chromium | 0.00007 | kg |
| Chromium VI | 0.00000 | kg |

| | | |
|--|---------|----|
| Copper | 0.00039 | kg |
| Dinitrogen monoxide | 0.38904 | kg |
| Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p- | 0.00000 | kg |
| Fluorine | 0.00088 | kg |
| Formaldehyde | 0.00249 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified | 0.01743 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated | 0.05937 | kg |
| Lead | 0.00044 | kg |
| Magnesium | 0.00638 | kg |
| Manganese | 0.00302 | kg |
| Mercury | 0.00001 | kg |
| Methane, biogenic | 0.00831 | kg |
| m-Xylene | 0.00230 | kg |
| Nickel | 0.00011 | kg |
| Nitrogen oxides | 0.77809 | kg |
| NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | 0.01168 | kg |

| | | |
|---------------------------------------|----------|----|
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | 0.00021 | kg |
| Particulates, < 2.5 um | 0.09575 | kg |
| Phenol, pentachloro- | 0.00000 | kg |
| Phosphorus | 0.00530 | kg |
| Potassium | 0.41379 | kg |
| Sodium | 0.02299 | kg |
| Sulfur dioxide | 0.04403 | kg |
| Toluene | 0.00575 | kg |
| Zinc | 0.00530 | kg |
| Carbon dioxide, biogenic | 1001.607 | kg |
| Carbon dioxide | 0.104 | |
| Emissions to water | | |
| Heat, waste | 1184.3 | MJ |
| Emissions to soil | | |
| Final waste flows | | |
| Non material emissions | | |

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

| | | |
|---|----------|----|
| Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U | 0.072021 | kg |
|---|----------|----|

| | | |
|---|------|----|
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming/CH U | 62.3 | kg |
|---|------|----|

Input parameters

Calculated parameters

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

Πρόβλημα

Η επιλογή του βέλτιστου ανάμεσα σε διαφορετικά εναλλακτικά σενάρια πλήθους n ($i=1,2,3,\dots, n$) με βάση την επίδοσή τους έναντι διαφορετικών κριτηρίων πλήθους m ($j=1,2,3,\dots,m$).

Μεθοδολογία λύσης

- i. Προσδιορισμός βαρών κριτηρίων

Η AHP ξεκινάει με τον προσδιορισμό των βαρών w_j εκάστου κριτηρίου στην εκτίμηση του decision maker. Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια του πίνακα σύγκρισης ζευγών A ($m \times m$).

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \ddots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mm} \end{pmatrix}$$

όπου το κάθε στοιχείο του πίνακα A a_{kl} , ($k, l=1,2,\dots,m$), αποδίδει τη σπουδαιότητα του κριτηρίου l έναντι του κριτηρίου k όπως αυτή αποτυπώνεται στην κρίση του decision maker. Η σπουδαιότητα μετρείται στην κλίμακα 1-9 με βάση την κωδικοποίηση που δίνεται στον κάτωθι πίνακα.

Πίνακας Β1. Κλίμακα για την απόδοση τιμών στη σπουδαιότητα των κριτηρίων

| βαθμός | Σπουδαιότητα |
|-------------------|---|
| 1 | Το κριτήριο k είναι ίσης σπουδαιότητας με το κριτήριο l . |
| 3 | Το κριτήριο k είναι ελαφρώς μεγαλύτερης σπουδαιότητας από το κριτήριο l . |
| 5 | Το κριτήριο k είναι ισχυρώς μεγαλύτερης σπουδαιότητας από το κριτήριο l σύμφωνα με την κρίση και τη εμπειρία του decision maker. |
| 7 | Το κριτήριο k είναι αυταπόδεικτα μεγαλύτερης σπουδαιότητας από το κριτήριο l . |
| 9 | Το κριτήριο k είναι απολύτως μεγαλύτερης σπουδαιότητας από το κριτήριο l . |
| 2, 4, 6, 8 | Ενδιάμεσες τιμές. Π.χ. η τιμή 2 σημαίνει ότι κριτήριο k είναι μεταξύ ίσης και ελαφρώς μεγαλύτερης σπουδαιότητας από το κριτήριο l . |

Η εκπλήρωση συνέπειας κατασκευής του πίνακα απαιτεί $\alpha_{\kappa\lambda}=1/\alpha_{\lambda\kappa}$ που σημαίνει ότι όταν π.χ. το κριτήριο κ είναι 5 φορές σπουδαιότερης σημασίας από το κριτήριο λ τότε ο κριτήριο λ είναι 1/5 σπουδαιότερο (ή πέντε φορές μικρότερης σπουδαιότητας) από το κριτήριο κ .

Ας υποθέσουμε ότι ο πίνακας A εκπληρώνει το κριτήριο συνέπειας. Αποδεικνύεται (η απόδειξη ξεφεύγει από τους σκοπούς της διατριβής) ότι το διάνυσμα που περιέχει τα βάρη των κριτηρίων,

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$$

μπορεί να υπολογιστεί από την κάτωθι διαδικασία.

- a) Προσδιορίζεται ο πίνακας A_{norm}

$$A_{norm} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \dots & a'_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a'_{m1} & \dots & a'_{mm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{a_{11}}{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{m1}} & \dots & \frac{a_{12}}{a_{12}+a_{22}+\dots+a_{m2}} & \dots & \frac{a_{1n}}{a_{m1}+a_{m2}+\dots+a_{mm}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{m1}} & \dots & \dots & \dots & \frac{a_{nn}}{a_{m1}+a_{m2}+\dots+a_{mm}} \end{pmatrix}$$

- b) Προσδιορίζονται οι τιμές w_1, w_2, \dots, w_m , μέσω των τύπων

$$w_1 = (\alpha'_{11} + \alpha'_{21} + \dots + \alpha'_{m1}) / m$$

$$w_2 = (\alpha'_{12} + \alpha'_{22} + \dots + \alpha'_{m2}) / m$$

....

$$w_n = (\alpha'_{1m} + \alpha'_{2m} + \dots + \alpha'_{mm}) / n$$

οι οποίες είναι οι καλύτερες εκτιμήσεις για τα βάρη των κριτηρίων στην κρίση του decision maker.

Οι τιμές των w αθροίζουν στην τιμή 1, ($w_1 + w_2 + \dots + w_m = 1$)

Για τον έλεγχο συνέπειας των προσδιοριζόμενων τιμών των βαρών ακολουθείται η εξής διαδικασία.

- a) Προσδιορίζεται ο πίνακας $A W^T$, όπου W^T είναι ο ανάστροφος πίνακας του W

$$A W^T = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \dots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \dots & \alpha_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{m1} & \dots & \alpha_{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha''_1 \\ \alpha''_2 \\ \vdots \\ \alpha''_m \end{pmatrix}$$

- b) Υπολογίζεται η τιμή

$$\delta = 1/n \chi (\alpha''_1/w_1 + \alpha''_2/w_2 + \dots + \alpha''_m/w_m)$$

- c) Υπολογίζεται η τιμή CI (consistency index) από τη σχέση

$$CI = \delta - m/m - 1$$

Αυτή συγκρίνεται με τιμές του Random Index (RI) που προέρχονται από τον κάτωθι πίνακα.

Πίνακα B2. Τιμές Random Index (RI) έναντι πλήθους κριτηρίων

| n | RI |
|----|------|
| 2 | 0 |
| 3 | 0.58 |
| 4 | 0.90 |
| 5 | 1.12 |
| 6 | 1.24 |
| 7 | 1.32 |
| 8 | 1.41 |
| 9 | 1.45 |
| 10 | 1.51 |

Στην ιδεατή περίπτωση του απόλυτα συνεπούς decision maker είναι $CI=0$.

Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις όσο μικρότερη είναι η τιμή του CI τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα υπάρχει ο decision maker να είναι συνεπής στις προτιμήσεις του. Συγκεκριμένα θεωρείται ότι για τιμές $CI/RI < 0.10$ οι εκτιμήσεις των βαρών των κριτηρίων αντιστοιχούν σε συνεπή κρίση του decision maker. Εάν $CI/RI > 0.10$ τότε οι προσδιοριζόμενες τιμές των βαρών των κριτηρίων περιέχουν ασυνέπεια με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν αποτελέσματα με νόημα από την διενεργούμενη ανάλυση.

ii. Προσδιορισμός επίδοσης σεναρίου έναντι κριτηρίου

Για καθένα από τα κριτήρια οικοδομείται ο πίνακας σύγκρισης ζευγών B ($n \times n$).

$$B_j = \begin{pmatrix} \beta_{11j} & \beta_{12j} & \dots & \beta_{1nj} \\ \beta_{21j} & & \ddots & \vdots \\ \dots & \beta_{n1j} & \dots & \dots \\ & & & \beta_{nnj} \end{pmatrix}$$

Το κάθε στοιχείο $\beta_{\kappa\lambda j}$ ενός εκάστου τέτοιου πίνακα αποδίδει την προτίμηση που επιδεικνύει ο decision maker με βάση τα χαρακτηριστικά των σεναρίων, στο σενάριο κ έναντι του σεναρίου λ ($\kappa, \lambda = 1, 2, \dots, n$) για το συγκεκριμένο κριτήριο j ($j = 1, 2, \dots, m$). Για την απόδοση τιμών στα στοιχεία χρησιμοποιείται η κλίμακα του Πίνακα $B1$.

Ακολούθως υπολογίζεται ο κανονικοποιημένος πίνακας B_{norm} για καθένα από τα σενάρια έναντι εκάστου κριτηρίου.

$$B_{norm,j} = \begin{pmatrix} \frac{\beta_{11j}}{\beta_{11j} + \beta_{21j} + \dots + \beta_{n1j}} & \frac{\beta_{12j}}{\beta_{12j} + \beta_{22j} + \dots + \beta_{n2j}} & \dots & \frac{\beta_{1nj}}{\beta_{1nj} + \beta_{2nj} + \dots + \beta_{nnj}} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ \frac{\beta_{n1j}}{\beta_{11j} + \beta_{21j} + \dots + \beta_{n1j}} & \dots & \frac{\beta_{n2j}}{\beta_{12j} + \beta_{22j} + \dots + \beta_{n2j}} & \frac{\beta_{nnj}}{\beta_{1nj} + \beta_{2nj} + \dots + \beta_{nnj}} \end{pmatrix}$$

Η επίδοση εκάστου σεναρίου έναντι του κριτηρίου j , προκύπτει από τη μέση τιμή εκάστης γραμμής του πίνακα $B_{norm,j}$.

Για παράδειγμα η επίδοση του σεναρίου n έναντι του κριτηρίου j , προσδιορίζεται από την τιμή

$$p_{n,j} = \frac{\frac{\beta_{11j}}{\beta_{11j} + \beta_{21j} + \dots + \beta_{n1j}} + \frac{\beta_{12j}}{\beta_{12j} + \beta_{22j} + \dots + \beta_{n2j}} + \dots + \frac{\beta_{1nj}}{\beta_{1nj} + \beta_{2nj} + \dots + \beta_{nnj}}}{n}$$

Έτσι δημιουργείται το διάνυσμα P

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nm} \end{pmatrix}$$

Όπου τα στοιχεία του p_{ij} είναι η επίδοση του σεναρίου i ($i=1,2,\dots,n$) έναντι του κριτηρίου j ($j=1,2,\dots,m$).

iii. Προσδιορισμός επίδοσης σεναρίου στο σύνολο των κριτηρίων

Η συνδυασμένη επίδοση ενός εκάστου σεναρίου έναντι όλων των κριτηρίων δίδεται από τα στοιχεία του πίνακα Z που προσδιορίζεται μέσω της σχέσης:

$$Z = P \times W = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nm} \end{pmatrix} (w_1, w_2, \dots, w_m)^T = \begin{pmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \dots \\ \zeta_m \end{pmatrix}$$

Όπου,

$$\zeta_1 = w_1 \times p_{11} + w_2 \times p_{12} + \dots + w_m \times p_{1m},$$

$$\zeta_2 = w_1 \times p_{21} + w_2 \times p_{22} + \dots + w_m \times p_{2m},$$

...

$$\zeta_n = w_1 \times p_{n1} + w_2 \times p_{n2} + \dots + w_m \times p_{nm},$$

Σημείωση

Σημειώνεται ότι οι διάφορες τιμές που εκφράζουν κάθε φορά την προτίμηση μεταξύ των σεναρίων ή την βαρύτητα των κριτηρίων, κατά την εφαρμογή της *AHP* στην παρούσα διατριβή, αποδόθηκαν αυθαίρετα καταβάλλοντας προσπάθεια κάθε φορά για την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση της οπτικής του φορέα λήψης απόφασης. Προκειμένου να αρθεί οποιαδήποτε πιθανή μονομέρεια, κάθε φορά που εφαρμόζεται η *AHP* για τη συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων, αυτή ακολουθείται από εξαντλητική ανάλυση της ευαισθησίας της συνολικής επίδοσης των σεναρίων με σκοπό να αναδειχθούν οι οριακές καταστάσεις.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΡΟΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ LIGNOSULFONATES ΚΑΙ ΓΕΩΥΛΙΚΟΥ.

i. ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ & ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ EtOH

| | | | | | |
|--------------------|---|-------|-----------|-------|----------|
| SimaPro 7.3 | process | Date: | 10/2/2014 | Time: | 10:20 μμ |
| Project | EtOH 12 | | | | |
| Process | | | | | |
| Category type | material | | | | |
| Process identifier | UPRC957219356100002 | | | | |
| Type | Unit process | | | | |
| Process name | ethanol, 95% in H2O, from corn stover at distillery/kg/GR | | | | |
| Status | | | | | |

Extrapolations: Direct emissions (resulting from the combustion of unconverted solids, incl. lignin) are based on the the combustion of wood chips (with emission control), according to the corresponding dry matter content, carbon content and energy content.

Data treatment

Uncertainty adjustments: none

System description

Ecoinvent

Products

| | | | |
|--|---|----|-----|
| Ethanol, 95% in H ₂ O, from corn stover, at distillery/GR U | 1 | kg | 100 |
|--|---|----|-----|

Avoided products

Resources

Materials/fuels

| | | | |
|----------------------------------|-----|----|--|
| corn stover (dry), at farm/ GR U | 3,5 | kg | |
|----------------------------------|-----|----|--|

| | | | |
|-------------|----------|---|--|
| Baling/CH U | 0,007782 | p | |
|-------------|----------|---|--|

| | | | |
|--------------------|----------|---|--|
| Loading bales/CH U | 0,031128 | p | |
|--------------------|----------|---|--|

| | | |
|--|-------------|-----|
| Chopping, maize/CH U | 0,0005833 | ha |
| Tap water, at user/RER U | 7,99 | kg |
| Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U | 0,033 | kg |
| Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U | 0,0016626 | kg |
| Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U | 0,0244 | kg |
| Maize starch, at plant/DE U | 0,01332 | kg |
| Propane/ butane, at refinery/RER U | 0,00024 | kg |
| Chemicals organic, at plant/GLO U | 5,79749E-05 | kg |
| Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U | 0,2645 | tkm |
| Transport, tractor and trailer/CH U | 0,02035 | tkm |
| Ethanol fermentation plant/CH/I U | 2,2978E-10 | p |
| Lubricating oil, at plant/RER U | 0,00042666 | kg |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, building/CH/I U | 1,461E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U | 5,844E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U | 5,844E-10 | p |
| Electricity/heat | | |

Emissions to air

| | | |
|---------------------------|-------------|----|
| Heat, waste | 12,1284 | MJ |
| Acetaldehyde | 3,9991E-06 | kg |
| Ammonia | 0,001114505 | kg |
| Arsenic | 6,5562E-08 | kg |
| Benzene | 0,00006461 | kg |
| Benzene, ethyl- | 0,00000213 | kg |
| Benzene, hexachloro- | 5,1121E-13 | kg |
| Benzo(a)pyrene | 3,5497E-08 | kg |
| Bromine | 3,93365E-06 | kg |
| Cadmium | 4,5892E-08 | kg |
| Calcium | 0,00038353 | kg |
| Carbon monoxide, biogenic | 0,000497 | kg |
| Chlorine | 1,18006E-05 | kg |
| Chromium | 2,59634E-07 | kg |
| Chromium VI | 2,62248E-09 | kg |
| Copper | 1,44232E-06 | kg |

| | | |
|---|-------------|----|
| Dinitrogen monoxide | 0,001442315 | kg |
| Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p- | 2,20101E-12 | kg |
| Fluorine | 3,27793E-06 | kg |
| Formaldehyde | 9,2302E-06 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified | 0,00006461 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated | 0,000220101 | kg |
| Lead | 1,63244E-06 | kg |
| Magnesium | 2,33667E-05 | kg |
| Manganese | 1,12105E-05 | kg |
| Mercury | 1,96676E-08 | kg |
| Methane, biogenic | 0,000030813 | kg |
| m-Xylene | 8,52005E-06 | kg |
| Nickel | 3,93365E-07 | kg |
| Nitrogen oxides | 0,0028847 | kg |
| NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | 0,000043309 | kg |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | 7,8099E-07 | kg |
| Particulates, < 2.5 um | 0,00035497 | kg |

| | | |
|---|-------------|----|
| Phenol, pentachloro- | 5,7512E-10 | kg |
| Phosphorus | 1,96676E-05 | kg |
| Potassium | 0,001534085 | kg |
| Sodium | 0,000085225 | kg |
| Sulfur dioxide | 0,000163244 | kg |
| Toluene | 0,0000213 | kg |
| Zinc | 1,96676E-05 | kg |
| Carbon dioxide, biogenic | 2,9356 | kg |
| Waste to treatment | | |
| Disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill/CH U | 0,05671 | kg |
| Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U | 0,000426 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming/CH U | 0,11063 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill/CH U | 0,11063 | kg |
| Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2/CH U | 0,0032 | m3 |

ii. ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ & ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ NEUSULFO

SimaPro 7.3 process Date: 10/2/2014 Time: 10:36 μμ
Project EtOH & NEUSULFO lgnslfnt
Process
Category type material
Process identifier UPRC957219365400001
Type Unit process
Process name ethanol, 95% H2O from corn stover & NEUSULFO lignosulfonate at distillery/kg/GR
Record
Generator Evangelos Ch. Petrou
Literature references Life Cycle Inventories of Bioenergy/2007/Jungbluth N.
Data has been published entirely in
Copyright: true; Page: ethanol-based biofuels
Collection method
Data treatment

Verification

EtOH & LIGNOSULFONATE PRODUCTION USING NREL
2011 METHOD AND MATSUSHITA -YASUDA PAPER
(Neutral sulfonation method)

Comment

Allocation rules

System description

Ecoinvent

Products

NEUSULFO Ethanol, 95% in H2O, from corn stover, at distillery/GR U

1 kg

Lignosulfonate, NEUSULFO, at distillery

0,358 kg

Materials/fuels

corn stover (dry), at farm/ GR U

3,5 kg

Baling/CH U

0,007782 p

Loading bales/CH U

0,031128 p

Chopping, maize/CH U

0,000583 ha

Tap water, at user/RER U

22,95 kg

| | | |
|--|----------|-----|
| Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U | 0,599881 | kg |
| Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U | 0,001663 | kg |
| Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U | 0,0244 | kg |
| Maize starch, at plant/DE U | 0,01332 | kg |
| Propane/ butane, at refinery/RER U | 0,00077 | kg |
| Chemicals organic, at plant/GLO U | 0,000042 | kg |
| Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U | 0,2645 | tkm |
| Transport, tractor and trailer/CH U | 0,02035 | tkm |
| Ethanol fermentation plant/CH/I U | 2,3E-10 | p |
| Lubricating oil, at plant/RER U | 0,00045 | kg |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, building/CH/I U | 1,46E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Phenol, at plant/RER U | 0,84125 | kg |
| Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U | 0,64096 | kg |
| Sulphite, at plant/RER U | 0,017225 | kg |

| | | |
|---|----------|----|
| Formaldehyde ETH U | 0,12822 | kg |
| Hydrochloric acid, 36% in H2O, from reacting propylene and chlorine, at plant/RER U | 2,003732 | kg |
| Emissions to air | | |
| Heat, waste | 11,5785 | MJ |
| Acetaldehyde | 2,9E-06 | kg |
| Ammonia | 0,00081 | kg |
| Arsenic | 4,8E-08 | kg |
| Benzene | 0,000047 | kg |
| Benzene, ethyl- | 1,55E-06 | kg |
| Benzene, hexachloro- | 3,72E-13 | kg |
| Benzo(a)pyrene | 2,58E-08 | kg |
| Bromine | 2,86E-06 | kg |
| Cadmium | 3,34E-08 | kg |
| Calcium | 0,000279 | kg |
| Carbon monoxide, biogenic | 0,000362 | kg |
| Chlorine | 8,59E-06 | kg |
| Chromium | 1,89E-07 | kg |

| | | |
|--|----------|----|
| Chromium VI | 1,89E-07 | kg |
| Dinitrogen monoxide | 0,00105 | kg |
| Copper | 1,05E-06 | kg |
| Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p- | 1,6E-12 | kg |
| Fluorine | 2,39E-06 | kg |
| Formaldehyde | 6,72E-06 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified | 4,7E-05 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated | 0,00016 | kg |
| Lead | 1,19E-06 | kg |
| Magnesium | 1,72E-05 | kg |
| Manganese | 8,16E-06 | kg |
| Mercury | 1,43E-08 | kg |
| Methane, biogenic | 2,24E-05 | kg |
| m-Xylene | 6,2E-06 | kg |
| Nickel | 2,86E-07 | kg |
| Nitrogen oxides | 0,0021 | kg |
| NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | 3,15E-05 | kg |

| | | |
|---|----------|----|
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | 5,69E-07 | kg |
| Particulates, < 2.5 um | 0,000258 | kg |
| Phenol, pentachloro- | 4,19E-10 | kg |
| Phosphorus | 1,43E-05 | kg |
| Potassium | 0,001117 | kg |
| Sodium | 6,2E-05 | kg |
| Sulfur dioxide | 0,000163 | kg |
| Toluene | 2,13E-05 | kg |
| Zinc | 1,43E-05 | kg |
| Carbon dioxide, biogenic | 2,3 | kg |
| Waste to treatment | | |
| Disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill/CH U | 0,05671 | kg |
| Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U | 0,00045 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming/CH U | 0,07936 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill/CH U | 0,07936 | kg |
| Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2/CH U | 0,01528 | m3 |

iii. ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ & ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ SULFOMETHYL

| | | | | | |
|----------------------------|---|-------|-----------|-------|----------|
| SimaPro 7.3 | process | Date: | 10/2/2014 | Time: | 10:38 μμ |
| Project | LIGNOSULFONATE, SULFOMETHYL, at distillery | | | | |
| Process | | | | | |
| Category type | material | | | | |
| Process identifier | UPRC957219382100003 | | | | |
| Type | Unit process | | | | |
| Process name | ethanol, 95% in H2O & Lignosulfonate from corn stover at distillery/kg/GR | | | | |
| Status | | | | | |
| Time period | Unspecified | | | | |
| Geography | Unspecified | | | | |
| Technology | Unspecified | | | | |
| Representativeness | Unspecified | | | | |
| Multiple output allocation | Unspecified | | | | |

| | |
|-------------------------|---|
| Substitution allocation | Unspecified |
| Cut off rules | Unspecified |
| Capital goods | Unspecified |
| Boundary with nature | Unspecified |
| Infrastructure | No |
| Date | 8/15/2006 |
| Record | |
| Generator | E. Ch. Petrou |
| Literature references | |
| Collection method | |
| Data treatment | |
| Verification | |
| Comment | production of EtOH from corn stover and lignosulfonate using sulfomethylation of remaining lignin |
| Allocation rules | |
| System description | Ecoinvent |

Products

| | | |
|---|-------|----|
| SULFOMETHYL Ethanol, 95% in H2O, from corn stover, at distillery/GR U | 1 | kg |
| Lignosulfonate, using Sulfomethylation meethod, at distillery/ GR U | 0,316 | kg |

Avoided products

Resources

Materials/fuels

| | | |
|--|----------|----|
| corn stover (dry), at farm/ GR U | 3,5 | kg |
| Baling/CH U | 0,007782 | p |
| Loading bales/CH U | 0,031128 | p |
| Chopping, maize/CH U | 0,000583 | ha |
| Tap water, at user/RER U | 22,95 | kg |
| Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U | 0,599881 | kg |
| Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U | 0,001663 | kg |
| Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U | 0,0244 | kg |
| Maize starch, at plant/DE U | 0,01332 | kg |

| | | |
|---|----------|-----|
| Propane/ butane, at refinery/RER U | 0,00077 | kg |
| Chemicals organic, at plant/GLO U | 0,19228 | kg |
| Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U | 0,2645 | tkm |
| Transport, tractor and trailer/CH U | 0,02035 | tkm |
| Ethanol fermentation plant/CH/I U | 2,3E-10 | p |
| Lubricating oil, at plant/RER U | 0,00045 | kg |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, building/CH/I U | 1,46E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Phenol ETH U | 0,84125 | kg |
| Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U | 0,64096 | kg |
| Hydrochloric acid, 36% in H2O, from reacting propylene and chlorine, at plant/RER U | 0 | kg |
| Electricity/heat | | |
| Emissions to air | | |
| Heat, waste | 11,562 | MJ |
| Acetaldehyde | 2,87E-06 | kg |

| | | |
|---------------------------------------|----------|----|
| Ammonia | 0,0008 | kg |
| Arsenic | 4,71E-08 | kg |
| Benzene | 4,64E-05 | kg |
| Benzene, ethyl- | 1,53E-06 | kg |
| Benzene, hexachloro- | 3,67E-13 | kg |
| Benzo(a)pyrene | 2,55E-08 | kg |
| Bromine | 2,83E-06 | kg |
| Cadmium | 3,3E-08 | kg |
| Calcium | 0,000275 | kg |
| Carbon monoxide, biogenic | 0,000357 | kg |
| Chlorine | 8,48E-06 | kg |
| Chromium | 1,86E-07 | kg |
| Chromium VI | 1,88E-09 | kg |
| Copper | 1,04E-06 | kg |
| Dinitrogen monoxide | 0,001036 | kg |
| Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p- | 1,58E-12 | kg |
| Fluorine | 2,35E-06 | kg |

| | | |
|---|----------|----|
| Formaldehyde | 6,63E-06 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified | 4,64E-05 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated | 0,000158 | kg |
| Lead | 1,17E-06 | kg |
| Magnesium | 1,7E-05 | kg |
| Manganese | 8,05E-06 | kg |
| Mercury | 1,41E-08 | kg |
| Methane, biogenic | 2,21E-05 | kg |
| m-Xylene | 6,12E-06 | kg |
| Nickel | 2,83E-07 | kg |
| Nitrogen oxides | 0,002072 | kg |
| NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | 4,33E-05 | kg |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | 3,11E-05 | kg |
| Particulates, < 2.5 um | 0,000355 | kg |
| Phenol, pentachloro- | 5,75E-10 | kg |
| Phosphorus | 1,97E-05 | kg |
| Potassium | 0,001534 | kg |

| | | |
|---|----------|----|
| Sodium | 8,52E-05 | kg |
| Sulfur dioxide | 0,000163 | kg |
| Toluene | 2,13E-05 | kg |
| Zinc | 1,97E-05 | kg |
| Carbon dioxide, biogenic | 2,29 | kg |
| Waste to treatment | | |
| Disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill/CH U | 0,05671 | kg |
| Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U | 0,00045 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming/CH U | 0,07865 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill/CH U | 0,07865 | kg |
| Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2/CH U | 0,01528 | m3 |

iv. ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ & ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ARYLSULFO

| | | | | | |
|-----------------------|---|-------|-----------|-------|----------|
| SimaPro 7.3 | process | Date: | 10/2/2014 | Time: | 10:31 μμ |
| Project | EtOH & ARYLSULFO lgnslfnt | | | | |
| Process | | | | | |
| Category type | material | | | | |
| Process identifier | UPRC957219396400002 | | | | |
| Type | Unit process | | | | |
| Process name | ethanol 95% H2O from cornstover &ARYLSULFO lgnslfnt at distillery/kg/GR | | | | |
| Record | | | | | |
| Generator | E. Ch. Petrou | | | | |
| Literature references | Life Cycle Inventories of Bioenergy/2007/Jungbluth N. Data has been published entirely in Copyright: true; Page: ethanol-based biofuels | | | | |
| Comment | Production of EtOH from corn stover using NREL 2011 report and lignosulfonate from remaining lignin using Matsushita-Yasuda paper | | | | |

Products

| | | |
|---|-------|----|
| ARLSLFO Ethanol, 95% in H2O, from corn stover, at distillery/GR U | 1 | kg |
| lignosulfonate from arylsulfonation of lignin/ GR U | 0,373 | kg |

Avoided products

Resources

Materials/fuels

| | | |
|--|----------|----|
| corn stover (dry), at farm/ GR U | 3,5 | kg |
| Baling/CH U | 0,007782 | p |
| Loading bales/CH U | 0,031128 | p |
| Chopping, maize/CH U | 0,000583 | ha |
| Tap water, at user/RER U | 22,95 | kg |
| Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U | 0,599881 | kg |
| Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U | 0,001663 | kg |

| | | |
|---|----------|---------|
| Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U | 0,0244 | kg |
| Maize starch, at plant/DE U | 0,01332 | kg |
| Propane/ butane, at refinery/RER U | 0,00077 | kg |
| Chemicals organic, at plant/GLO U | 0,000042 | kg |
| Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U | 0,2645 | tkm |
| Transport, tractor and trailer/CH U | 0,02035 | tkm |
| Ethanol fermentation plant/CH/I U | 2,3E-10 | p |
| Lubricating oil, at plant/RER U | 0,00045 | kg |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, building/CH/I U | 1,46E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Phenol, at plant/RER U | 0,84125 | kg |
| Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U | 2,563876 | kg |
| Trichloromethane, at plant/RER U | 0,0882 | kg |
| Hydrochloric acid, 36% in H2O, from reacting propylene and chlorine, at plant/RER U | 2,52 | kg |
| All other basic inorganic chemical manufacturing | 0,0187 | USD2002 |

Electricity/heat

Emissions to air

| | | |
|---------------------------|----------|----|
| Heat, waste | 11,5688 | MJ |
| Acetaldehyde | 2,87E-06 | kg |
| Ammonia | 0,0008 | kg |
| Arsenic | 4,71E-08 | kg |
| Benzene | 4,64E-05 | kg |
| Benzene, ethyl- | 1,53E-06 | kg |
| Benzene, hexachloro- | 3,67E-13 | kg |
| Benzo(a)pyrene | 2,55E-08 | kg |
| Bromine | 2,83E-06 | kg |
| Cadmium | 3,3E-08 | kg |
| Calcium | 0,000275 | kg |
| Carbon monoxide, biogenic | 0,000357 | kg |
| Chlorine | 8,48E-06 | kg |
| Chromium | 1,86E-07 | kg |

| | | |
|--|----------|----|
| Chromium VI | 1,88E-09 | kg |
| Copper | 1,04E-06 | kg |
| Dinitrogen monoxide | 0,001036 | kg |
| Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p- | 1,58E-12 | kg |
| Fluorine | 2,35E-06 | kg |
| Formaldehyde | 6,63E-06 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified | 4,64E-05 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated | 0,000158 | kg |
| Lead | 1,17E-06 | kg |
| Magnesium | 1,7E-05 | kg |
| Manganese | 8,05E-06 | kg |
| Mercury | 1,41E-08 | kg |
| Methane, biogenic | 2,21E-05 | kg |
| m-Xylene | 6,12E-06 | kg |
| Nickel | 2,83E-07 | kg |
| Nitrogen oxides | 0,002072 | kg |
| NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | 3,11E-05 | kg |

| | | |
|---|----------|----|
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | 5,61E-07 | kg |
| Particulates, < 2.5 um | 0,000255 | kg |
| Phenol, pentachloro- | 4,13E-10 | kg |
| Phosphorus | 1,41E-05 | kg |
| Potassium | 0,001102 | kg |
| Sodium | 6,12E-05 | kg |
| Sulfur dioxide | 0,000117 | kg |
| Toluene | 1,53E-05 | kg |
| Zinc | 1,41E-05 | kg |
| Carbon dioxide, biogenic | 2,295 | kg |
| Waste to treatment | | |
| Disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill/CH U | 0,05671 | kg |
| Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U | 0,000448 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming/CH U | 0,07869 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill/CH U | 0,07869 | kg |
| Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2/CH U | 0,01528 | m3 |

v. ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ & ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ LIGNOGEOMAT

process Date: 10/2/2014 Time: 11:14 μμ

Project EtOH & ARYLSULFO lgnslfnt

Process

Category type material

Process identifier UPRC957219396400003

Type Unit process

Process name LIGNOGEOMAT ethanol, 95% in H2O, from corn stover at distillery/kg/GR

Status

Time period Unspecified

Geography Unspecified

Technology Unspecified

Representativeness Unspecified

Multiple output allocation Unspecified

Substitution allocation Unspecified

Cut off rules Unspecified

Capital goods Unspecified

Boundary with nature Unspecified

Infrastructure No

Date 12/30/1899

Record

Generator EVangelos Ch. Petrou

Literature references Life Cycle Inventories of Bioenergy/2007/Jungbluth N.

Data has been published entirely in

Copyright: true; Page: ethanol-based biofuels

Comment Ethanol production from corn stover using NREL 2011 report and lignin as geomaterial

Products

| | | |
|---|------|----|
| LIGNOGEOMAT Ethanol, 95% in H2O, from corn stover, at distillery/GR U | 1 | kg |
| Lignin, as geomaterial at distillery/ GR, U | 0,44 | kg |

Avoided products

Resources

Materials/fuels

| | | |
|--|----------|-----|
| corn stover (dry), at farm/ GR U | 3,5 | kg |
| Baling/CH U | 0,007782 | p |
| Loading bales/CH U | 0,031128 | p |
| Chopping, maize/CH U | 0,000583 | ha |
| Tap water, at user/RER U | 7,99 | kg |
| Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U | 0,033 | kg |
| Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U | 0,001663 | kg |
| Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U | 0,0244 | kg |
| Maize starch, at plant/DE U | 0,01332 | kg |
| Propane/ butane, at refinery/RER U | 0,00024 | kg |
| Chemicals organic, at plant/GLO U | 3,95E-05 | kg |
| Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U | 0,2645 | tkm |
| Transport, tractor and trailer/CH U | 0,02035 | tkm |
| Ethanol fermentation plant/CH/I U | 2,3E-10 | p |
| Lubricating oil, at plant/RER U | 0,000427 | kg |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, building/CH/I U | 1,46E-10 | p |

| | | |
|--|----------|----|
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, common components for heat+electricity/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Cogen unit 6400kWth, wood burning, components for electricity only/CH/I U | 5,84E-10 | p |
| Emissions to air | | |
| Heat, waste | 11,5139 | MJ |
| Acetaldehyde | 2,72E-06 | kg |
| Ammonia | 0,000758 | kg |
| Arsenic | 4,46E-08 | kg |
| Benzene | 4,39E-05 | kg |
| Benzene, ethyl- | 1,45E-06 | kg |
| Benzene, hexachloro- | 3,48E-13 | kg |
| Benzo(a)pyrene | 2,41E-08 | kg |
| Bromine | 2,67E-06 | kg |
| Cadmium | 3,12E-08 | kg |
| Calcium | 0,000261 | kg |
| Carbon monoxide, biogenic | 0,000338 | kg |
| Chlorine | 8,02E-06 | kg |
| Chromium | 1,77E-07 | kg |
| Chromium VI | 1,78E-09 | kg |
| Copper | 9,81E-07 | kg |
| Dinitrogen monoxide | 0,000981 | kg |
| Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p- | 1,5E-12 | kg |
| Fluorine | 2,23E-06 | kg |
| Formaldehyde | 6,28E-06 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified | 4,39E-05 | kg |
| Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated | 0,00015 | kg |
| Lead | 1,11E-06 | kg |

| | | |
|---|----------|----|
| Magnesium | 1,61E-05 | kg |
| Manganese | 7,62E-06 | kg |
| Mercury | 1,34E-08 | kg |
| Methane, biogenic | 2,1E-05 | kg |
| m-Xylene | 5,79E-06 | kg |
| Nickel | 2,67E-07 | kg |
| Nitrogen oxides | 0,001962 | kg |
| NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | 2,95E-05 | kg |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | 5,31E-07 | kg |
| Particulates, < 2.5 um | 0,000241 | kg |
| Phenol, pentachloro- | 3,91E-10 | kg |
| Phosphorus | 1,34E-05 | kg |
| Potassium | 0,001043 | kg |
| Sodium | 5,8E-05 | kg |
| Sulfur dioxide | 0,000111 | kg |
| Toluene | 1,45E-05 | kg |
| Zinc | 1,34E-05 | kg |
| Carbon dioxide, biogenic | 1,09 | kg |
| Waste to treatment | | |
| Disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill/CH U | 0,05671 | kg |
| Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U | 0,000426 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to landfarming/CH U | 0,11063 | kg |
| Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill/CH U | 0,11063 | kg |
| Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2/CH U | 0,00032 | m3 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΒΑΡΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Προσδιορισμός επίδοσης εξεταζόμενων συστημάτων έναντι του κριτηρίου ENV μέσω της AHP

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|---------|----------|-------------|-----------|---------|
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | |
| Lignogeomat | 1 | 1 1/9 | 3 1/3 | 5 | 9 | |
| EtOH | 9/10 | 1 | 3 | 4 1/2 | 9 | |
| Neusulfo | 1/3 | 3/10 | 1 | 1 1/2 | 3 | |
| Sulfomethyl | 2/9 | 1/5 | 2/3 | 1 | 2 | |
| Arylsulfo | 1/9 | 1/9 | 1/3 | 1/2 | 1 | |
| | 2 17/30 | 2 13/18 | 8 1/3 | 12 1/2 | 24 | |
| | <i>Normalized Score</i> | | | | | |
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | average |
| Lignogeomat | 0.39 | 0.41 | 0.40 | 0.40 | 0.38 | 0.40 |
| EtOH | 0.35 | 0.37 | 0.36 | 0.36 | 0.38 | 0.36 |
| Neusulfo | 0.13 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.12 |
| Sulfomethyl | 0.09 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| Arylsulfo | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Προσδιορισμός επίδοσης εξεταζόμενων συστημάτων έναντι του κριτηρίου ECON μέσω της AHP

| | | | | | | |
|-------------|-------------|------|----------|-------------|-----------|--|
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | |
| Lignogeomat | 1 | 8/9 | 8 | 7 | 6 | |
| EtOH | 1 1/8 | 1 | 9 | 8 | 7 | |

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|-------|----------|-------------|-----------|---------|
| Neusulfo | 1/8 | 1/9 | 1 | 4 | 1/2 | |
| Sulfomethyl | 1/7 | 1/8 | 1 1/3 | 1 | 1/5 | |
| Arylsulfo | 1/6 | 1/7 | 2 | 5 | 1 | |
| | 2 5/9 | 2 1/4 | 21 1/3 | 25 | 14 2/3 | |
| | <i>Normalized Score</i> | | | | | |
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | average |
| Lignogeomat | 0.39 | 0.39 | 0.38 | 0.28 | 0.41 | 0.37 |
| EtOH | 0.44 | 0.44 | 0.42 | 0.32 | 0.48 | 0.42 |
| Neusulfo | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.16 | 0.03 | 0.07 |
| Sulfomethyl | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 0.05 |
| Arylsulfo | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.20 | 0.07 | 0.10 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Προσδιορισμός επίδοσης εξεταζόμενων συστημάτων έναντι του κριτηρίου SOCIET μέσω της AHP

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|--------|----------|-------------|-----------|---------|
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | |
| Lignogeomat | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | |
| EtOH | 3 | 1 | 1/8 | 1/8 | 1/8 | |
| Neusulfo | 5 | 8 | 1 | 1 | 1 | |
| Sulfomethyl | 5 | 8 | 1 | 1 | 1 | |
| Arylsulfo | 5 | 8 | 1 | 1 | 1 | |
| | 19 | 25 1/3 | 3 1/3 | 3 1/3 | 3 1/3 | |
| | <i>Normalized Score</i> | | | | | |
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | average |
| Lignogeomat | 0.05 | 0.01 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 |
| EtOH | 0.16 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.06 |
| Neusulfo | 0.26 | 0.32 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Sulfomethyl | 0.26 | 0.32 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Arylsulfo | 0.26 | 0.32 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Προσδιορισμός επίδοσης εξεταζομένων συστημάτων έναντι του κριτηρίου TECH μέσω της AHP

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|-------|----------|-------------|-----------|---------|
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | |
| Lignogeomat | 1 | 1 | 8 | 8 | 8 | |
| EtOH | 1 | 1 | 8 | 8 | 8 | |
| Neusulfo | 1/8 | 1/8 | 1 | 1 | 1 | |
| Sulfomethyl | 1/8 | 1/8 | 1 | 1 | 1 | |
| Arylsulfo | 1/8 | 1/8 | 1 | 1 | 1 | |
| | 2 3/8 | 2 3/8 | 19 | 19 | 19 | |
| | <i>Normalized Score</i> | | | | | |
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | average |
| Lignogeomat | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| EtOH | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| Neusulfo | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Sulfomethyl | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Arylsulfo | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Προσδιορισμός επίδοσης εξεταζομένων συστημάτων έναντι του κριτηρίου INTEGR μέσω της AHP

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|------|----------|-------------|-----------|---------|
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | |
| Lignogeomat | 1 | 1 | 1/8 | 1/8 | 1/8 | |
| EtOH | 1 | 1 | 1/8 | 1/8 | 1/8 | |
| Neusulfo | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | |
| Sulfomethyl | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | |
| Arylsulfo | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | |
| | 26 | 26 | 3 1/4 | 3 1/4 | 3 1/4 | |
| | <i>Normalized Score</i> | | | | | |
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | average |

| | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| Lignogeomat | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| EtOH | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| Neusulfo | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Sulfomethyl | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Arylsulfo | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Προσδιορισμός επίδοσης εξεταζομένων συστημάτων έναντι του κριτηρίου MARMAT μέσω της AHP

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|--------|----------|-------------|-----------|---------|
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | |
| Lignogeomat | 1 | 1/5 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | |
| EtOH | 5 | 1 | 1/6 | 1/6 | 1/6 | |
| Neusulfo | 9 | 6 | 1 | 1 | 1 | |
| Sulfomethyl | 9 | 6 | 1 | 1 | 1 | |
| Arylsulfo | 9 | 6 | 1 | 1 | 1 | |
| | 33 | 19 1/5 | 3 5/18 | 3 5/18 | 3 5/18 | |
| | <i>Normalized Score</i> | | | | | |
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | average |
| Lignogeomat | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| EtOH | 0.15 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.07 |
| Neusulfo | 0.27 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.30 |
| Sulfomethyl | 0.27 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.30 |
| Arylsulfo | 0.27 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.30 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Προσδιορισμός επίδοσης εξεταζομένων συστημάτων έναντι του κριτηρίου GRNCHEM μέσω της AHP

| | | | | | | |
|-------------|-------------|------|----------|-------------|-----------|--|
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | |
| Lignogeomat | 1 | 1/2 | 4 | 4 | 8 | |

| | | | | | | |
|-------------|-------------------------|--------|----------|-------------|-----------|---------|
| EtOH | 2 | 1 | 6 | 6 | 9 | |
| Neusulfo | 1/4 | 1/4 | 1 | 1 | 5 | |
| Sulfomethyl | 1/4 | 1/6 | 1 | 1 | 5 | |
| Arylsulfo | 1/8 | 1/9 | 1/5 | 1/5 | 1 | |
| | 3 5/8 | 2 1/36 | 12 1/5 | 12 1/5 | 28 | |
| | <i>Normalized Score</i> | | | | | |
| | Lignogeomat | EtOH | Neusulfo | Sulfomethyl | Arylsulfo | average |
| Lignogeomat | 0.28 | 0.25 | 0.33 | 0.33 | 0.29 | 0.29 |
| EtOH | 0.55 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.32 | 0.47 |
| Neusulfo | 0.07 | 0.12 | 0.08 | 0.08 | 0.18 | 0.11 |
| Sulfomethyl | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.18 | 0.10 |
| Arylsulfo | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.03 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Προσδιορισμός βαρών των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων στην ΑΗΡ

| | RECIPE | IRR | TECH | INTEGR | MARMAT | GRNCHEM | SOCIET | |
|---------------------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|
| RECIPE | 1 | 1/3 | 8 | 8 | 5 | 5 | 4 | |
| IRR | 3 | 1 | 9 | 9 | 6 | 6 | 5 | |
| TECH | 1/8 | 1/9 | 1 | 1 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | |
| INTEGR | 1/8 | 1/9 | 1 | 1 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | |
| MARMAT | 1/6 | 1/6 | 5/8 | 5/8 | 1 | 1 | 1/2 | |
| GRNCHEM | 1/5 | 1/6 | 1 3/5 | 1 3/5 | 1 | 1 | 1/2 | |
| SOCIET | 1/4 | 1/5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | |
| | 4 13/15 | 2 4/45 | 23 9/40 | 23 9/40 | 16 1/4 | 16 1/4 | 12 | |
| Normalized weights | | | | | | | | |
| | RECIPE | IRR | TECH | INTEGR | MARMAT | GRNCHEM | SOCIET | AVERAGE |
| RECIPE | 0.21 | 0.16 | 0.34 | 0.34 | 0.31 | 0.31 | 0.33 | 0.29 |
| IRR | 0.62 | 0.48 | 0.39 | 0.39 | 0.37 | 0.37 | 0.42 | 0.43 |
| TECH | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| INTEGR | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| MARMAT | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.05 |
| GRNCHEM | 0.04 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.06 |
| SOCIET | 0.05 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.08 | 0.09 |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ

| | |
|---|---|
| <i>Anti-dumping</i> | Πολιτική επιβολής μέτρων (συνήθως δασμών) για τον περιορισμό εισαγωγών προϊόντων με τιμές χαμηλότερες από αυτές που επικρατούν ήδη ή σε τιμές κάτω του <u>κόστους</u> παραγωγής. |
| <i>Biodiesel</i> | Βιοκαύσιμο που προορίζεται για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης. |
| <i>Characterization</i> | Χαρακτηρισμός (ποσοτικοποίηση). Αναφέρεται ως στάδιο της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής. Κατά το στάδιο αυτό προσδιορίζεται ποσοτικά η συνολική επίπτωση μιας συγκεκριμένης κατηγορίας. |
| Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) | Δείκτης Κόστους Εγκατάστασης. Υπολογίζεται και δημοσιεύεται μηνιαίως με ευθύνη του περιοδικού Chemical Engineering. |
| Combustor | Καυστήρας. |
| Consumer Price Index (CPI) | Δείκτης Τιμών Καταναλωτή. Δημοσιεύεται μηνιαίως από το περιοδικό Chemical Engineering. |
| <i>Corn stover</i> | Υπολείμματα καλαμποκοκαλλιέργειας αποτελούμενα από τα στελέχη (κορμός και κλαδιά), τα φύλλα και τους σπάδικες του φυτού της καλαμποκιάς. |
| <i>Cotton stalks</i> | Στελέχη (κορμός και κλαδιά) του φυτού της βαμβακιάς. |
| <i>Countervailing</i> | Αντιστάθμιση. Αναφέρεται ως πολιτική επιβολής μέτρων (συνήθως δασμών) για την εξισορρόπηση χαμηλών τιμών εισαγόμενων προϊόντων με αυτές που επικρατούν στην αγορά. |
| <i>Decision maker</i> | Φορέας (φυσικό ή άλλο πρόσωπο) υπεύθυνος για τη λήψη απόφασης επί συγκεκριμένου προβλήματος. |
| <i>Depot</i> | Χώρος ενδιάμεσης αποθήκευσης. |
| <i>Diesel</i> | Ορυκτό καύσιμο που χρησιμοποιείται σε μηχανές εσωτερικής καύσης. |
| <i>Disability Adjusted Life Years- DALY</i> | Έτη Ζωής Προσαρμοσμένης Ανικανότητας. Αποτελεί μέτρο κατηγορίας περιβαλλοντικών επιπτώσεων και εκφράζει τον χρόνο ανικανότητας οφειλομένης σε ασθένειες και θάνατο. |

| | |
|----------------------------------|--|
| <i>Downstream supply chain</i> | Κατάντη Αλυσίδα Εφοδιασμού. Αναφέρεται στην κατεύθυνση ροή υλικών σε μια αλυσίδα εφοδιασμού από τις ά ύλες προς το τελικό προϊόν. |
| <i>Dumping margins</i> | Η διαφορά μεταξύ της κανονικής τιμής ενός εμπορεύματος και της τιμής του που προκύπτει από την πρακτική dumping. |
| <i>EtOH</i> | Αιθανόλη. Σύντμηση της λέξης <i>ethanol</i> . |
| <i>Duty Delivered Paid – DDP</i> | Τιμή εμπορεύματος με πληρωμένους τους δασμούς παραδοτέου σε συγκεκριμένη τοποθεσία (όρος <i>INCOTERM</i>). |
| <i>External uncertainty</i> | Εξωτερική αβεβαιότητα. Όρος αβεβαιότητας ενός μοντέλου μέτρησης που οφείλεται σε εξωτερικές πηγές, π.χ. αβεβαιότητα δεομένων. |
| <i>Heat waste</i> | Απορριπτόμενη θερμότητα. |
| <i>Internal uncertainty</i> | Εσωτερική αβεβαιότητα. Όρος αβεβαιότητας ενός μοντέλου μέτρησης που οφείλεται σε εγγενείς αδυναμίες του. |
| <i>Lignosulfonates</i> | Υλικό που προκύπτει με προσθήκη θειώδους οξέος σε λιγνίνη. |
| <i>LPG</i> | Υγραέριο. |
| <i>Net Energy Ratio</i> | Καθαρός Ενεργειακός Λόγος. Είναι ίσος με το πηλίκο του ενεργειακού περιεχομένου του βιοκαυσίμου προς το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή του |
| <i>Normalization</i> | Κανονικοποίηση. Αναφέρεται ως στάδιο της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής. Κατά το στάδιο αυτό οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας συγκεκριμένης κατηγορίας αξιολογείται σε σχέση με κάποια χαρακτηριστική τιμή, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση έναντι μιας γραμμής βάσης. |
| <i>Organosolv</i> | Διαδικασία παραγωγής λιγνίνης από λιγνοκυτταρινούχα υλικά μέσω κατεργασίας τους με οργανικούς διαλύτες. |
| <i>Petcoke</i> | Πετρελαϊκό κωκ. Προκύπτει κατά τη διεργασία δύλισης του αργού πετρελαίου. |
| <i>Pilot plant</i> | Μονάδα επίδειξης λειτουργίας. |

| | |
|---|--|
| <i>Potentially Affected Fraction</i> | Κλάσμα δυνητικής επίδρασης. Αναφέρεται σε μέρος πληθυσμού που μπορεί να επηρεαστεί με κάποιο τρόπο αρνητικά υπό την επίδραση περιβαλλοντικού φορτίου. |
| <i>Potentially Disappeared Fraction</i> | Κλάσμα δυνητικώς εξαφανιζόμενου. Αναφέρεται σε βιολογικό είδος που μπορεί να εξαφανιστεί υπό τη επίδραση περιβαλλοντικού φορτίου. |
| <i>Power generator</i> | Γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. |
| <i>Power Take Off (PTO)</i> | Δυναμοδότης. Μηχανισμός μετάδοσης κίνησης από την μηχανή του γεωργικού ελκυστήρα προς τις παρελκόμενες μηχανές του. |
| <i>Splash and dash</i> | Εμπορική πρακτική κατά την οποία <i>biodiesel</i> εισαγόμενο στις ΗΠΑ αναμιγνύεται με ελάχιστη ποσότητα <i>biodiesel</i> που έχει παραχθεί στις ΗΠΑ με σκοπό την είσπραξη της κρατικής ενίσχυσης που απευθύνεται μόνο για <i>biodiesel</i> που έχει παραχθεί στις ΗΠΑ. |
| <i>Upstream supply chain</i> | Ανάτη Αλυσίδα Εφοδιασμού. Αναφέρεται στην κατεύθυνση της εφοδιαστικής που είναι αντίθετη στη ροή των υλικών (από το τελικό προϊόν προς τις ά ύλες). |

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

i. Δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά

1. Petrou, E.; Mihiotis, A. Design of a Factories' Supply System with Biomass in Order to Be Used as an Alternative Fuel — A Case Study. *Energy & Fuels* 2007, 21, 3718–3722.
2. Petrou, E. C.; Pappis, C. P. Biofuels: A Survey on Pros and Cons. *Energy & Fuels* 2009, 23, 1055–1066.
3. Petrou, E. C.; Pappis, C. P. Bioethanol Production from Cotton Stalks or Corn Stover? A Comparative Study of Their Sustainability Performance. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2014, 2, 2036–2041.
4. Petrou, E. C.; Pappis, C. P. Sustainability of Systems Producing Ethanol, Power, and Lignosulfonates or Lignin from Corn Stover: A Comparative Assessment. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2014b, 2, 2527–2535.

ii. Δημοσιεύσεις σε πρακτικά συνεδρίων

1. Ε.Χ. Πέτρου, Κ.Π. Παππής . Αξιολόγηση εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής βιοαιθανόλης με πρώτη ύλη λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα και παραπροϊόντα. 23ο Εθνικό Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρίας Επιχειρησιακών Ερευνών «Διαχείριση Ενεργειακών Πόρων / Συστημάτων», 12-14 Σεπτεμβρίου 2012, Αθήνα.
2. Costas P. Pappis, Evangelos Ch. Petrou. Sustainability of systems producing ethanol, power and lignosulfonates or lignin from corn stover: a comparative assessment. 18th International Working Seminar on Production Economics, February 24-28, 2014, Innsbruck, Austria.

iii. Ανακοινώσεις σε συνέδρια

1. C. P. Pappis; E. C. Petrou. Environmental Assessments of Transportation Biofuels in Europe: A Survey. 2nd International Workshop: Advances in Cleaning Production, May 20-22 2009, Sao Paolo, Brazil
2. C. P. Pappis; E. C. Petrou. Cotton Stalks Biomass Utilization for Cement or for Bioethanol Production? A sustainability approach. ALIO-INFORMS Joint International Meeting. June 6-9 2010. Buenos Aires, Argentina.
3. C. P. Pappis; E. C. Petrou .Bioethanol Production from Cotton Stalks or Corn Stover? A Comparative Study of Their Sustainability Performance. World Renewable Energy Congress 8-13 May, 2011. Linköping, Sweden.