

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ *Cynara*
cardunculus L. ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

ΜΑΚΡΥΝΙΚΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ (Α.Μ. 25208)

***“The diesel engine can be fed with
vegetable oils and would help
considerably in the development of
agriculture of the countries which use it.”
(Rudolph Diesel, 1911)***



ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

κ. ΑΜΠΕΛΙΩΤΗΣ Κ., Επίκουρος Καθηγητής (Επιβλέπων)

κ. ΛΑΖΑΡΙΔΗ Κ., Επίκουρη Καθηγήτρια

κ. ΔΕΤΣΗΣ Β., Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ 2008

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ *Cynara cardunculus* L.
ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Αμπελιώτη για την καθοδήγηση, την αναμονή και την κατανόηση του, αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με θέμα της αρεσκείας μου.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω και στα άλλα δύο μέλη της επιτροπής, κ. Βασίλη Δέτση και κ. Κάτια Λαζαρίδη, καθώς επίσης και στο Διευθυντή του ΠΜΣ «Βιώσιμη Ανάπτυξη», κ. Κωνσταντίνο Αποστολόπουλο και σε όλους τους διδάσκοντες του ΠΜΣ, για την παρακίνησή τους να σκέφτομαι σφαιρικά και να προσπαθώ να βρω ολοκληρωμένες λύσεις για το εκάστοτε πρόβλημα που καλούμαι να αντιμετωπίσω.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον κ. Καρατζό Κίμωνα, γεωπόνο και ιδιοκτήτη της εταιρείας γεωργικών συμβούλων – Agricon, τους αγρότες κ. Καλτσά Γιώργο και κ. Τσάμη Ευάγγελο, καθώς και το γεωπόνο και φίλο Χρήστο Παπαδόπουλο. Χωρίς τη βοήθειά τους η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής δεν θα ήταν εφικτή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους συναδέλφους και τους φίλους, γιατί ήταν εκεί.

Περίληψη

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, έχει οδηγήσει σε μία προσπάθεια απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Τόσο η επιστημονική κοινότητα όσο και οι υπεύθυνοι λήψης πολιτικών αποφάσεων αναζητούν εναλλακτικές λύσεις στα θέματα της ενέργειας και των μεταφορών. Τα βιοκαύσιμα και ειδικά το βιοντίζελ, φαίνεται να είναι, αν όχι αντικαταστάτες του πετρελαίου, σίγουρα πολύ καλοί διάδοχοί του. Για το λόγο αυτό εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ενεργειακές καλλιέργειες.

Σκοπός της εργασίας είναι η εξέταση του κύκλου ζωής της παραγωγής ελαιοσπόρου του ενεργειακού φυτού *Cynara cardunculus* L. για παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα, καθώς και η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του, με τη χρήση της μεθόδου Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής. Η ΑΚΖ αναπτύχθηκε με σκοπό την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων που προκύπτουν από την παραγωγή, τη χρήση και την τελική διαχείριση ενός προϊόντος. Το αντικείμενο της έρευνας περιλαμβάνει τις γεωργικές εργασίες που απαιτούνται για την καλλιέργεια του φυτού, τη συγκομιδή του σπόρου και τη μεταφορά του στο εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ. Η επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας έγινε με τη χρήση του προγράμματος Sima Pro 5.

Το βασικό συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι, οι μεγαλύτερες επιπτώσεις που προκαλούνται από το εξεταζόμενο σύστημα, προέρχονται από την εξόρυξη και τη χρήση των ορυκτών πόρων. Από τις διαδικασίες του συστήματος, αυτή που είχε τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο, ήταν η μεταφορά του σπόρου από το χωράφι στο εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ. Αυτή είναι και η διαδικασία – κλειδί, που επιδέχεται βελτίωση, ώστε το σύστημα να καταστεί φιλικότερο προς το περιβάλλον.

Abstract

Global warming in combination with the gradual exhaustion of fossil fuel, has led to an effort to reduce dependence on fossil fuels. The scientific community and people high in the political decision making process seek alternative solutions in the field of energy and transportation. Biofuels and especially biodiesel, certainly appear to be equal successors, if not just substitutes of diesel. That is the reason for the growing interest in energy crops.

The purpose of this study is to examine the life cycle of the oil seed, of the energy plant *Cynara cardunculus L*, for the production of biodiesel in Greece, as well as its environmental impact assessment, by using the Life Cycle Assessment (LCA) method. LCA was developed in order to minimize the impacts of a product during its production, use and disposal. The research of this study focuses on the agricultural processes required for the cultivation, the seed harvesting and its transportation to the biodiesel production plant. The results and data of the research were processed with the use of SimaPro5 software.

The main conclusion of this study is that the major impacts, that the afore mentioned system produces, arise from the extraction and use of fossil resources. The greatest contributor to the total environmental burden posed by the system was the transportation of the seeds to the biodiesel production plant. This is the key-process that can sustain more changes, thus making the whole production system environmentally friendlier.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη.....	4
Abstract	5
Εισαγωγή.....	8
1. Κλίμα και Γεωργία	12
1.1 Κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα κλίματος: κύριες απόψεις (από IPCC «Κλιματική αλλαγή 2007»)	12
1.2 Επιπτώσεις του κλίματος στις καλλιέργειες και μέτρα προσαρμογής	14
1.3 Προσαρμογή.....	15
1.4 Επιπτώσεις των καλλιεργειών στο κλίμα και μέτρα ανακούφισης	16
1.5 Μετριασμός	17
2. Βιοκαύσιμα.....	19
2.1 Βιομάζα	19
2.2 Βιοκαύσιμα.....	23
2.3 Υγρά Βιοκαύσιμα	30
2.4 Βιοαιθανόλη	30
2.5 Βιοντίζελ	35
2.5.1 Πηγές Βιοντίζελ	36
2.2.3 Οφέλη	38
2.5.4 Μειονεκτήματα.....	45
2.6 <i>Cynara cardunculus</i> L. ή Αγριαγκινάρα	47
2.6.2 Παραγωγή της <i>Cynara cardunculus</i> L.	50
3. Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής & Βιοκαύσιμα	55

3.1 Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής.....	55
3.1.1 Ιστορική διαδρομή.....	56
3.1.2 Η δομή και τα στοιχεία της AKZ	58
3.1.3 Ορισμός AKZ	58
3.2 Περιπτωσιολογικές μελέτες.....	79
4. Περιβαλλοντική αξιολόγηση του κύκλου ζωής της παραγωγής ελαιοσπόρου του φυτού <i>Cynara cardunculus</i> L.	94
4.1 Εισαγωγή	94
4.2 Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου μελέτης	94
4.3 Καθορισμός ορίων συστήματος	95
4.4 Λειτουργική μονάδα.....	97
4.5 Πηγές δεδομένων	97
4.6 Περιγραφή του συστήματος: Παραδοχές – Αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών	97
4.6.1 Καλλιέργεια.....	97
4.6.2 Μεταφορά από το χωράφι στο εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ	98
4.6.3 Αναλυτική περιγραφή διαδικασιών.....	98
4.7 Sima Pro & Eco-indicator 99.....	103
4.8 Αποτελέσματα της ανάλυσης:	108
5. Συμπεράσματα.....	124
Βιβλιογραφία.....	130
Παράρτημα.....	136

Εισαγωγή

Σύμφωνα με την πλειοψηφία της επιστημονικής κοινότητας, η κλιματική αλλαγή οφείλεται στις εκπομπές αερίων που εκλύονται κατά την καύση των υδρογονανθράκων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Συμπεράσματα πρόσφατων μελετών, όπως η προκαταρκτική έκθεση του IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), επιτάσσουν μέτρα μείωσης των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, διαφορετικά προειδοποιούν για δυσμενείς επιδράσεις στην παγκόσμια οικονομία.

Το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, προέρχονται από δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό ζήτημα επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον. Τα αποθέματα του πετρελαίου εκτιμάται ότι μπορούν να καλύψουν τις υπάρχουσες και μελλοντικές ανάγκες μέχρι το τέλος του αιώνα. Λόγω όμως των πρόσφατων αυξήσεων στις τιμές των καυσίμων, προέκυψε το θέμα της ασφάλειας εφοδιασμού ενεργειακών προϊόντων σε προσιτές τιμές. Η τιμή του πετρελαίου αναμένεται να συνεχίσει την ανοδική της πορεία. Για το λόγο αυτό τα βιοκαύσιμα βρέθηκαν ψηλά στην πολιτική ατζέντα τόσο της Ελλάδας, όσο και διεθνώς, και η αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής τους, αναμένεται να είναι ραγδαία. Οπότε, υπό αυξανόμενη πίεση, τα κράτη στρέφονται στα βιοκαύσιμα για να ικανοποιήσουν την αυξανόμενη ζήτηση για καύσιμα κίνησης, για να παράγουν εγχώρια ενέργεια και για να καταπολεμήσουν την κλιματική αλλαγή.

Ωστόσο, δεν είναι εφικτό να αντικατασταθεί η χρήση πετρελαίου από τη χρήση βιοκαυσίμων χωρίς να υπάρξουν επιπτώσεις στην προμήθεια τροφίμων, ειδικά στις αυξημένες τιμές τροφίμων στις ασθενέστερες οικονομικά χώρες.

Εν τούτοις, η παραγωγή βιοκαυσίμων μειώνει την εξάρτηση μιας χώρας από εισαγόμενα καύσιμα και τονώνει την αγροτική οικονομία. Επιπλέον, από τα βιοκαύσιμα προκύπτουν λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, από ότι τα ορυκτά καύσιμα, οπότε η συμβολή τους στην κλιματική αλλαγή είναι και μικρότερη. Όταν οι καλλιέργειες αναπτύσσονται, απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, αναιρώντας με αυτό τον τρόπο τις όποιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προκύπτουν από την καύση των βιοκαυσίμων. Παρ' όλα αυτά, η φύτευση, η λίπανση και η συγκομιδή των καλλιεργειών απαιτούν μηχανολογικό εξοπλισμό, που λειτουργεί με ορυκτά

καύσιμα, όπως επίσης και οι διεργασίες ζύμωσης, διύλισης και μεταφοράς. Για αυτό το λόγο, οι αποφάσεις για αύξηση της χρήσης του βιοντίζελ σε επίπεδα που έχουν μετρήσιμες επιπτώσεις στις συγκεντρώσεις θερμοκηπιακών αερίων, πρέπει να σταθμίζονται προσεκτικά λαμβάνοντας υπόψη το περιβαλλοντικό κόστος της παραγωγής.

Η κατάσταση αυτή αποτέλεσε κίνητρο για την ενασχόληση με την παρούσα εργασία. Σκοπός της εργασίας ήταν η εξέταση του κύκλου ζωής της παραγωγής ελαιοσπόρου του ενεργειακού φυτού *Cynara cardunculus* L., για παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα, καθώς και η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του.

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Περιβαλλοντική Αξιολόγηση της καλλιέργειας της *Cynara cardunculus* L. για παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα», εκπονείται στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, του τμήματος Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας, του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, με τίτλο «Βιώσιμη Ανάπτυξη» και με κατεύθυνση στη Διαχείριση Περιβάλλοντος.

Στο πρώτο κεφάλαιο συνοψίστηκαν οι κύριες απόψεις του εγγράφου του IPCC, «Κλιματική αλλαγή 2007» που αφορά στην κλιματική αλλαγή και στη μεταβλητότητα του κλίματος. Σχολιάστηκαν αφενός οι επιπτώσεις του κλίματος στις καλλιέργειες και τα μέτρα προσαρμογής και αφετέρου οι επιπτώσεις των καλλιεργειών στο κλίμα και τα μέτρα ανακούφισης. Επίσης, προτάθηκαν στρατηγικές μετριασμού των δυσμενών αποτελεσμάτων από την αλληλεπίδραση κλίματος και γεωργίας.

Το κλίμα επηρεάζει τη γεωργία και η γεωργία μπορεί να επηρεάσει το κλίμα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να βρει επίλυση εάν γίνει παράλληλη προσπάθεια και στα δύο μέτωπά του. Αφενός πρέπει να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, προκειμένου να μετριαστεί η κλιματική αλλαγή και αφετέρου να εφαρμοστούν νέες πρακτικές στη γεωργία, όπως αντικατάσταση καλλιεργειών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται βασικές πληροφορίες για τη βιομάζα, τα βιοκαύσιμα και ειδικότερα τα υγρά βιοκαύσιμα. Στη συνέχεια αναλύονται τα οφέλη και τα μειονεκτήματα του βιοντίζελ. Το κεφαλαίο αυτό καταλήγει σε μια ενότητα που αφιερώνεται στη *Cynara cardunculus* L., η οποία αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για αρκετούς ερευνητές, που ασχολήθηκαν με την ενεργειακή αξιοποίησή της.

Η αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας μπορεί μέχρι ένα βαθμό, να δώσει διέξοδο στο ενεργειακό ζήτημα που προκύπτει τα τελευταία χρόνια. Ειδικότερα το βιοντίζελ έχει πολύ καλά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, συγκριτικά με το συμβατικό ντίζελ. Παρ' όλα αυτά, σίφρον είναι να επιλέγονται με προσοχή οι καλλιέργειες, από τις οποίες θα παραχθεί βιοντίζελ προκειμένου να μην ανταγωνίζονται τις καλλιέργειες για παραγωγή τροφίμων, αλλά και να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η καλλιέργεια της *Cynara cardunculus* L. φαίνεται να είναι κατάλληλη, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Στο τρίτο κεφάλαιο η βιβλιογραφική ανασκόπηση εστιάζει στην αξιολόγηση των κύκλων ζωής των υγρών βιοκαυσίμων και ειδικότερα του βιοντίζελ. Για να επιτευχθεί αυτό, στην αρχή του κεφαλαίου επεξηγείται η ΑΚΖ ως μέθοδος, η δομή, τα στοιχεία της και τα βήματα από τα οποία αποτελείται και έπειτα δίνονται παραδείγματα αξιολόγησης κύκλου ζωής υγρών βιοκαυσίμων από μελετητές.

Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής αποτελεί μία μέθοδο για τη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που προκύπτουν από την παραγωγή, τη χρήση και την τελική διαχείριση ενός προϊόντος, μιας υπηρεσίας ή μιας διεργασίας. Αυτή τη μέθοδο χρησιμοποίησαν πολλοί ερευνητές προκειμένου να εξετάσουν την αποδοτικότητα και την περιβαλλοντική επίδοση καλλιεργειών για παραγωγή βιοντίζελ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η περιβαλλοντική αξιολόγηση του κύκλου ζωής της παραγωγής σπόρου της *Cynara cardunculus* L.. Αρχικά γίνεται περιγραφή του εξεταζόμενου συστήματος και των διαδικασιών του, στη συνέχεια παρουσιάζεται εν συντομία το λογισμικό Sima Pro και η μέθοδος Eco – indicator 99, που χρησιμοποιήθηκαν για την εξέταση του μελετώμενου συστήματος. Το πρόγραμμα Sima Pro 5, που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των επιπτώσεων από την καλλιέργεια, είναι ένα εξαίρετο εργαλείο που μπορεί να συμβάλει στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων και κατά συνέπεια στη λήψη ορθών αποφάσεων για την επιλογή κατάλληλων ποικιλιών για παραγωγή βιοντίζελ. Εν τέλει, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εξέτασης του συγκεκριμένου κύκλου ζωής.

Για την παραγωγή σπόρου, από το συγκεκριμένο φυτό, απαιτούνται περιορισμένες εισροές στο καλλιεργητικό σύστημα και για αυτό παρουσιάζει ενδιαφέρον ως ενεργειακή και φιλοπεριβαλλοντική καλλιέργεια. Εν τούτοις, το εξεταζόμενο σύστημα επιδέχεται κάποιες αλλαγές που θα το καταστήσουν ενεργειακά πιο αποδοτικό.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης επί των ενεργειακών ζητημάτων, επί των βιοκαυσίμων και της αξιολόγησης κύκλου ζωής. Επίσης, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εξέταση του κύκλου ζωής του ελαιοσπόρου και γίνονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο της εργασίας.

Κατά την περιβαλλοντική αξιολόγηση της παραγωγής και της μεταφοράς του σπόρου της *Cynara cardunculus* L. προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι κυριότερες και μεγαλύτερες επιπτώσεις προκαλούνται από τους ορυκτούς πόρους, τόσο από την εξόρυξη τους, όσο και από τη χρήση τους και στις τέσσερις διαδικασίες του συστήματος που εξετάστηκε. Οι μικρότερες επιπτώσεις παρατηρήθηκαν στην ποιότητα του οικοσυστήματος. Από όλες τις διαδικασίες του συστήματος, αυτή που είχε τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο, ήταν η μεταφορά του σπόρου από το χωράφι στο εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ. Αυτή είναι και η διαδικασία – κλειδί, που επιδέχεται βελτίωση, ώστε το σύστημα να καταστεί φιλικότερο προς το περιβάλλον.

1. Κλίμα και Γεωργία

1.1 Κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα κλίματος: κύριες απόψεις (από IPCC «Κλιματική αλλαγή 2007»)

Το κλίμα έχει επιπτώσεις στη γεωργία και η γεωργία έχει επιπτώσεις στο κλίμα. Αυτή η αμοιβαία επίδραση γίνεται εμφανέστερη τώρα, που αναγνωρίζεται ευρέως η κλιματική αλλαγή και η μεταβλητότητα του κλίματος. Η 4η έκθεση της IPCC (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή) συνοψίζει περιεκτικά τα τελευταία αποτελέσματα για τις διάφορες αιτίες της αλλαγής, και τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιδράσεις κάτω από διαφορετικά σενάρια. Επίσης, έχουν απαριθμηθεί και έχουν αναλυθεί οι επιλογές και οι απαιτήσεις προσαρμογής και μετριασμού του φαινομένου του Θερμοκηπίου, και οι αλληλεξαρτήσεις με τη βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς και οι μακροπρόθεσμες, επιστημονικές και κοινωνικοοικονομικές απόψεις σχετικά με την προσαρμογή και το μετριασμό.

Σχεδόν σε όλες τις ευρωπαϊκές περιοχές αναμένονται δυσμενείς επιπτώσεις από κάποιες μελλοντικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής, οι οποίες θα θέσουν προκλήσεις σε πολλούς οικονομικούς τομείς. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να μεγεθύνει τις τοπικές διαφορές της Ευρώπης σε φυσικούς πόρους και κεφάλαια. Οι αρνητικές επιδράσεις θα περιλαμβάνουν αυξημένο κίνδυνο ξαφνικών πλημμυρών στην ενδοχώρα, συχνότερες παράκτιες πλημμύρες και αυξημένη διάβρωση λόγω των θυελλών και της ανόδου του επιπέδου της θάλασσας. Η μεγάλη πλειοψηφία των οργανισμών και των οικοσυστημάτων θα έχει δυσκολίες προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Οι ορεινές περιοχές θα αντιμετωπίσουν υποχώρηση παγετώνων, μειωμένη κάλυψη χιονιού και μειωμένο χειμερινό τουρισμό, και εκτενείς εξαφανίσεις ειδών (σε ορισμένες περιοχές μέχρι 60% υπό τα σενάρια υψηλών εκπομπών μέχρι το 2080).

Στη Νότια Ευρώπη, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει τις συνθήκες (υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία) σε μια περιοχή ήδη τρωτή στη μεταβλητότητα του κλίματος και να μειώσει τη διαθεσιμότητα σε νερό, το υδροδυναμικό, το θερινό τουρισμό και γενικά, την παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Επίσης προβλέπεται να αυξηθούν οι κίνδυνοι υγείας λόγω των καυσώνων και της συχνότητας των πυρκαγιών.

Στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη, η θερινή βροχόπτωση αναμένεται να μειωθεί, προκαλώντας έλλειψη νερού. Οι κίνδυνοι υγείας λόγω των καυσώνων αναμένονται να αυξηθούν. Η δασική παραγωγικότητα αναμένεται να μειωθεί και η συχνότητα των πυρκαγιών σε περιοχές τύρφης να αυξηθεί.

Στη Βόρεια Ευρώπη, η κλιματική αλλαγή εκτιμάται αρχικά να επιφέρει ανάμεικτες επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων μερικών οικονομικών οφελών, όπως μειωμένη ζήτηση για θέρμανση, αυξημένες παραγωγές καλλιεργειών και αυξημένη δασική ανάπτυξη. Εντούτοις, καθώς η κλιματική αλλαγή θα συνεχίζεται, οι αρνητικές της επιδράσεις (συχνότερες χειμερινές πλημμύρες, αύξηση των υπό εξαφάνιση οικοσυστημάτων, αυξανόμενη αστάθεια του εδάφους κ.λπ.) είναι πιθανό να αντισταθμίσουν τα οφέλη της.

Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να αξιοποιήσει την εμπειρία που αποκτιέται από ακραία κλιματικά φαινόμενα, και συγκεκριμένα εφαρμόζοντας σχέδια προσαρμογής και προληπτικής διαχείρισης κινδύνου κλιματικής αλλαγής. Έχει παρατηρηθεί ότι τα συστήματα παραγωγής τροφής, ινών και άλλων δασικών προϊόντων επηρεάζονται από τοπικές κλιματικές αλλαγές, και ιδιαίτερα από αυξήσεις της θερμοκρασίας. Παγκοσμίως, η δυνατότητα παραγωγής τροφίμων προβλέπεται να αυξηθεί όταν αυξηθεί η μέση τοπική θερμοκρασία μέσα σε ένα εύρος 1-3°C, αλλά πέρα από αυτό το εύρος, αναμένεται να μειωθεί.

Η παραγωγικότητα των καλλιεργειών προβλέπεται να αυξηθεί ελαφρώς στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη για αυξήσεις της τοπικής μέσης θερμοκρασίας μέχρι 1-3°C ανάλογα με την καλλιέργεια, και έπειτα, πέραν αυτών των αυξήσεων, να μειωθεί σε μερικές περιοχές. Στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, ιδιαίτερα σε εποχιακά ξηρές και τροπικές περιοχές, η παραγωγικότητα των καλλιεργειών προβλέπεται να μειωθεί ακόμη και για μικρές τοπικές αυξήσεις θερμοκρασίας (1-2°C). Η αύξηση της συχνότητας των ξηρασιών και των πλημμυρών αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά την τοπική παραγωγή των καλλιεργειών, ειδικά στον τομέα της ιδιοσυντήρησης στα μικρά γεωγραφικά πλάτη. Οι προσαρμογές όπως η εναλλαγή στις ποικιλίες και οι χρόνοι φύτευσης επιτρέπουν τις παραγωγές δημητριακών σε μικρά και μέσα έως μεγάλα γεωγραφικά πλάτη να διατηρηθούν σε βασικά επίπεδα παραγωγής ή επάνω από αυτά, για μέτρια θέρμανση. Παγκοσμίως, η παραγωγικότητα εμπορικής ξυλείας αυξάνεται μέτρια με την κλιματική αλλαγή βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, με μεγάλη τοπική μεταβλητότητα σε σχέση με την παγκόσμια τάση. Αναμένονται τοπικές αλλαγές στη κατανομή και την παραγωγή ιδιαίτερων ειδών

ψαριών λόγω της συνεχούς θέρμανσης, με δυσμενή αποτελέσματα που θα εμφανιστούν στις υδατοκαλλιέργειες και την αλιεία.

1.2 Επιπτώσεις του κλίματος στις καλλιέργειες και μέτρα προσαρμογής

Το κλίμα είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την παραγωγικότητα των συστημάτων γεωργικής παραγωγής. Η κατάλληλη επιλογή του βαθμού εναρμόνισης μεταξύ της γενετικής των φυτών, των πρακτικών καλλιέργειας και του τοπικού κλίματος και περιβάλλοντος αποτελεί το θεμέλιο στην ποσότητα και την ποιότητα της παραγωγής. Το κλίμα μπορεί να είναι ο πιο χρήσιμος και ανέξοδος πόρος, και ο αγροκλιματολογικός διαχωρισμός σε ζώνες, για παράδειγμα, είναι μια από τις κύριες επιλογές για να βελτιωθεί η διαχείριση χρήσης γης και για να βοηθήσει να προσδιοριστούν περιοχές που πιθανόν να είναι οι καταλληλότερες για καλλιέργειες υψηλής οικονομικής απόδοσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τον αυξανόμενο περιορισμό αυτού του φυσικού, βασικού πόρου, ένα καίριο στοιχείο για βελτιωμένες στρατηγικές διαχείρισης αγροκτημάτων είναι η ανάπτυξη γνώσης και δεξιοτήτων για την καλύτερη διαχείριση της μεταβλητότητας του κλίματος μέσω των στοιχείων της έρευνας κλιματολογικών και επιχειρησιακών δεδομένων, της ανάλυσης των κλιματικών κινδύνων και των ευκαιριών, και της ανάπτυξης στρατηγικών διαχείρισης κλιματικού κινδύνου. Οι παγκόσμιες επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής ήδη ανιχνεύονται σε πολλά φυσικά συστήματα και αποκαλύπτουν μια συνεπή εικόνα των αλλαγών.

Οι επιδράσεις συχνά αντανακλούν στις αλλαγές της βροχόπτωσης και άλλων κλιματολογικών μεταβλητών όπως της θερμοκρασίας, της στάθμης της θάλασσας και των συγκεντρώσεων του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα. Η έλλειψη νερού και η ξηρασία μπορούν να προκαλέσουν δραματικές απώλειες στην παραγωγή. Θερμοκρασίες υψηλότερες από τις βέλτιστες αντανακλούν στο μεταβολισμό των φυτών, προκαλώντας καταστάσεις έντασης. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, ως μεμονωμένοι παράγοντες ή σε συνδυασμό, μπορούν να ενισχύσουν την οξύτητα κάποιων προβλημάτων, όπως τα ζιζάνια, τα παράσιτα και τις ασθένειες και την ευπάθεια των καλλιεργειών.

Ουσιαστικά κάθε πτυχή της γεωργίας, από την παραγωγή των καλλιεργειών και το ζωικό κεφάλαιο μέχρι τη μεταφορά των γεωργικών προϊόντων στην αγορά επηρεάζονται από το κλίμα. Η παραγωγή καλλιεργειών είναι επίσης πιθανό να επηρεαστεί αρνητικά από την αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂

που συνδέεται με την κλιματική αλλαγή, δεδομένου ότι τα θετικά αποτελέσματα του CO₂ ως λίπασμα είναι αμφισβητούμενα (συνακόλουθες αυξήσεις θερμοκρασίας και φαινόμενα ξηρασίας εντάσσονται στις αρνητικές επιπτώσεις).

1.3 Προσαρμογή

Η ιστορία της γεωργίας απεικονίζει μια συνεχή σειρά προσαρμογών σε ένα ευρύ φάσμα παραγόντων τόσο μέσα όσο και έξω από τα γεωργικά συστήματα. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που σχετίζονται με το έδαφος, το νερό, το ανάγλυφο της γης και το κλίμα παρέχουν περιορισμούς και ευκαιρίες για τη γεωργική παραγωγή. Επίσης, οι τεχνολογικές εξελίξεις οδηγούν σε τροποποιήσεις στη δομή και στις διαδικασίες των αγροτικών εργασιών.

Οι επιπτώσεις του καιρού και του κλίματος στη γεωργία είναι τόσο πολλαπλές που η βελτίωση των αποφάσεων και η μείωση της έκθεσης σε κλιματικό κίνδυνο είναι θεμελιώδεις για να διατηρηθούν επαρκή πρότυπα παραγωγής και να ενισχυθεί η βιώσιμη γεωργία. Η μεταβλητότητα του κλίματος και η κλιματική αλλαγή πρέπει πλέον να ληφθούν υπόψη στη βάση των ημερήσιων αγροτικών δραστηριοτήτων, και αυτό μπορεί να γίνει θεσπίζοντας μέτρα ανακούφισης και υιοθετώντας στρατηγικές προσαρμογής. Στις 29 Ιουνίου 2007, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το πρώτο της πολιτικό έγγραφο σχετικά με την προσαρμογή στις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής. Η Πράσινη Βίβλος "Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη - επιλογές για τη δράση της ΕΕ", βασίστηκε στις μελέτες και τα συμπεράσματα του Ευρωπαϊκού Προγράμματος για την Κλιματική Αλλαγή. Η Βίβλος υποστηρίζει ότι τώρα πια βρισκόμαστε αντιμέτωποι με μια διπλή πρόκληση: Μαζί με τις μεγάλες μειώσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου πρέπει και να προσαρμοστούμε στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες, και περιγράφει πιθανούς τρόπους για δράση σε επίπεδο ΕΕ.

Οι αναλύσεις σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης έχουν δείξει ότι όταν η προσαρμογή εφαρμόζεται πλήρως, είναι δυνατόν να γίνουν μεγάλες μειώσεις των δυσμενών επιδράσεων από την κλιματική αλλαγή. Πέρα από τις μακροπρόθεσμες προσαρμογές (που είναι σημαντικές δομικές αλλαγές για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιδράσεων, όπως αλλαγές στη χρήση γης για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση κάτω από νέες συνθήκες, εφαρμογή νέων τεχνολογιών), είναι και η βραχυπρόθεσμη, αυτόνομη προσαρμογή. Παραδείγματος χάριν, ένας αγρότης αλλάζει καλλιέργειες ή χρησιμοποιεί διαφορετικές ημερομηνίες συγκομιδής και φύτευσης/σποράς ανάλογα με τη

μεταβαλλόμενη κατανομή βροχόπτωσης. Σαν γενική θεώρηση, η βιοποικιλότητα σε όλο της το εύρος (π.χ. γονίδια, είδη, οικοσυστήματα) αυξάνει την ανθεκτικότητα σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι γενετικά διαφορετικοί πληθυσμοί και τα πλούσια οικοσυστήματα έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα να προσαρμοστούν στο κλίμα.

Επίσης, μπορεί να ωφελεί πολύ η επιλογή των καλλιεργειών και των ποικιλιών ανάλογα με την ανοχή στις αβιοτικές πιέσεις (π.χ. υψηλή θερμοκρασία, ξηρασία, πλημμύρα, υψηλή περιεκτικότητα άλατος στο έδαφος, ανθεκτικότητα στα παράσιτα και στις ασθένειες), παρ' όλα αυτά η επιλογή επαρκών καλλιεργειών δεν μπορεί να διαχωριστεί από άλλες επιλογές διαχείρισης των αγροοικοσυστημάτων. Η οργανική ύλη του εδάφους πρέπει να διατηρηθεί και να αυξηθεί, αφού σταθεροποιεί την εδαφολογική δομή έτσι ώστε να γίνεται απορρόφηση μεγαλύτερων ποσών νερού χωρίς να προκαλείται επιφανειακή απορροή, και επίσης βελτιώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού του εδάφους κατά τη διάρκεια εκτεταμένης ξηρασίας. Είναι διαθέσιμες ευρείας κλίμακας πρακτικές διαχείρισης νερού για καλλιέργειες καθώς και τεχνολογίες για την κάλυψη και την ανάσχεση των κινδύνων παραγωγής.

1.4 Επιπτώσεις των καλλιεργειών στο κλίμα και μέτρα ανακούφισης

Η γεωργία επιδρά στον καιρό και στο κλίμα σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα. Μέσω της γεωργίας ο άνθρωπος έχει αλλάξει, και διαχειρίζεται σε διάφορους βαθμούς, τη βλάστηση (δηλ. τις φυσιολογικές και φυσικές ιδιότητες της φυτοκάλυψης), και άμεσα (μέσω της άρδευσης) ή έμμεσα την υγρασία του εδάφους πάνω από μεγάλες εκτάσεις γης. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη και η φυσιολογική δραστηριότητα των καλλιεργούμενων φυτών, καθώς και η επίδραση της φυτοκάλυψης στα επίπεδα διαθέσιμης υγρασίας εδάφους, έχουν επιπτώσεις στον καιρό και στο κλίμα επηρεάζοντας τη μεταφορά θερμότητας, υγρασίας και ορμής ανόδου από την επιφάνεια του εδάφους στον υπερκείμενο αέρα. Οι καλλιέργειες και τα βοσκοτόπια διαδραματίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας, και με αυτόν τον τρόπο συνήθως επηρεάζουν τον καιρό και το κλίμα. Οι επιπτώσεις της φυτοκάλυψης μπορούν να ενισχύσουν τη μεταβλητότητα του κλίματος αυξάνοντας ή/και διευρύνοντας τα ακραία φαινόμενα όπως πλημμύρες και ξηρασίες. Η γεωργία επηρεάζει τη διαθεσιμότητα της ενέργειας και της μάζας υδρατμών με την μεταφορά σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα. Με τη δημιουργία ασυνεχειών στη ροή λανθάνουσας θερμότητας, μπορεί να προκληθεί μέσης κλίμακας κυκλοφορία που δημιουργεί την μεταφορά υδρατμών. Η γεωργία, επηρεάζοντας το επίπεδο της αποθηκευμένης

υγρασίας στο έδαφος, έχει επιπτώσεις στη δραστηριότητα μεταφοράς μέσα σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια της επόμενης εποχής. Οι χωρικά συνεπείς και συνεχείς κατανομές καταιγίδων παίζουν ρόλο στη μετάδοση της θερμότητας και της υγρασίας από μικρά σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, και αυτό μπορεί να επηρεάσει τη γενική κυκλοφορία. Κατά συνέπεια η γεωργία, επηρεάζοντας την ύπαρξη, τη θέση και την ένταση της μεταφοράς, μπορεί επίσης να επηρεάσει τον καιρό και το κλίμα παγκοσμίως.

Κατά την εξέταση των αλληλεπιδράσεων με το κλίμα, παρατηρείται έντονη ανησυχία για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από γεωργικές εργασίες, τα οποία συνδέονται με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Αν και στην Ευρώπη η γεωργία ευθύνεται μόνο για το 10% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, είναι η κύρια πηγή μεθανίου (CH_4) (από εντερικές ζυμώσεις, την αποσύνθεση του λιπάσματος, την καλλιέργεια ρυζιού) και νιτρώδους οξειδίου (N_2O) (λίπασμα ζωικού κεφαλαίου και χημικά λιπάσματα). Οι αγροτικές δραστηριότητες, πολλές από τις οποίες συνδέονται με υψηλή κατανάλωση ενέργειας (χημικές ουσίες, καύσιμα, μηχανές κ.λπ.) είναι υπεύθυνες για την απελευθέρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα, ενώ ένα ποσοστό αυτού του αερίου απελευθερώνεται και από την αποδόμηση της οργανικής ύλης στα γεωργικά εδάφη.

1.5 Μετριασμός

Οι στρατηγικές μετριασμού στοχεύουν κυρίως στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου και του νιτρώδους οξειδίου, και να αυξήσουν τελικά τα μέσα απορρόφησης.

Η μετατροπή της γης σε δάσος μπορεί να βοηθήσει ιδιαίτερα στην απορρόφηση του CO_2 από την ατμόσφαιρα. Μια καλή φωτοσυνθετική αποδοτικότητα επιτρέπει στα καλλιεργημένα χωράφια να ενεργήσουν, κι αυτά, ως αποδοτικές δεξαμενές του ατμοσφαιρικού CO_2 , προσφέροντας μια θετική καθαρή ανταλλαγή του άνθρακα κατά τη διάρκεια της ετήσιας ανάπτυξής τους. Αυξάνοντας την αποδοτικότητα της καλλιέργειας με την εφαρμογή πρακτικών διαχείρισης καλλιεργειών με λίγο ή μηδαμινό όργανο, με τη χρησιμοποίηση περισσότερο ενεργειακά αποδοτικών μηχανημάτων, ή με τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης αυτές οι άμεσες εκπομπές του CO_2 θα μειωθούν, βελτιώνοντας την ικανότητα των καλλιεργειών να αποθηκεύουν άνθρακα στο φυτικό ιστό και στο έδαφος.

Προωθούνται ευκαιρίες να μειωθεί η χρήση της ενέργειας στη γεωργία, καθώς και αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις αντί για ορυκτά καύσιμα. Η ανάπτυξη «ενεργειακών καλλιεργειών» (ελαιοκράμβες, αραβόσιτος, δημητριακά, ταχέως αναπτυσσόμενα δέντρα, πολυετείς χλόες, υδρόβια φυτά και φύκια) μπορεί να μειώσει τις καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εάν χρησιμοποιείται βιομάζα αντί των ορυκτών καυσίμων. Κάθε νέα γενιά ενεργειακών καλλιεργειών, καθώς αναπτύσσεται, θα αφαιρεί από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης μια ποσότητα CO₂ κατά προσέγγιση ισοδύναμη με αυτήν που απελευθερώνεται όταν η βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο και καίγεται εκλύοντας ενέργεια. Εάν οι βιώσιμες ενεργειακές καλλιέργειες αντικαταστήσουν την ενέργεια που διαφορετικά θα παραγόταν από ορυκτά καύσιμα, οι καθαρές εκπομπές CO₂ μπορούν να μειωθούν. Εντούτοις, οι ενεργειακές καλλιέργειες πρέπει να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας τις ορθότερες πρακτικές που ελαχιστοποιούν τις εκπομπές των GHG σε όλον τον κύκλο της ζωής τους, δηλαδή κατά τη φύτευση, την ανάπτυξη, τη συγκομιδή, τη μεταφορά, και τη μετατροπή των καλλιεργειών σε χρήσιμη ενέργεια. Ο βαθμός στον οποίο τα καύσιμα από βιομάζα μπορούν να εμποδίσουν τις καθαρές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από την αποδοτικότητα με την οποία μπορούν να παραχθούν και να χρησιμοποιηθούν.

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μπορούν επίσης να μειωθούν υποκαθιστώντας τη χρήση ορυκτών καυσίμων με ενέργεια από υπολείμματα βιομάζας (που περιλαμβάνουν γεωργικά απόβλητα, απόβλητα επεξεργασίας τροφίμων και μια ευρεία ποικιλία υλικών από υπολείμματα ξυλείας).

2. Βιοκαύσιμα

2.1 Βιομάζα

Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και / ή αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες (ΚΑΠΕ, 2007).

Ακολουθούν οι ορισμοί των τύπων βιομάζας, καθώς και οι ορισμοί των κατηγοριών τους, χάριν αποσαφήνισης.

Υπολειμματικές μορφές βιομάζας

Βιομάζα γεωργικής προέλευσης: Η γεωργική βιομάζα που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας διακρίνεται στη βιομάζα των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.λπ.) και στη βιομάζα των υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.λπ.).

Βιομάζα ζωικής προέλευσης: Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωικής προέλευσης, περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία. Η εκτροφή αιγοπροβάτων είναι εκτατική (η οποία είναι επί το πλείστον ποιμενικής μορφής) και τα παραγόμενα απόβλητα διασκορπίζονται σε όλο το βοσκότοπο.

Βιομάζα δασικής προέλευσης: Η βιομάζα δασικής προέλευσης που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομιών), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.

Αστικά απόβλητα: Ως βιομάζα χαρακτηρίζεται το οργανικό τμήμα των αστικών στερεών αποβλήτων καθώς επίσης και η ιλύς που προκύπτει από τη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:

1. Ετήσιες: σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.), ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L.), βραστική η αιθίοπια (*Brassica carinata* L. Braun).
2. Πολυετείς:
 - Γεωργικές: Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* L.), καλάμι (*Arundo donax* L.), μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus*), switchgrass (*Panicum virgatum*)
 - Δασικές: Ευκάλυπτος (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. & *E. globulus* Labill.), ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia*).

Υγρά βιοκαύσιμα

Σήμερα, ο όρος βιοκαύσιμα χρησιμοποιείται συνήθως για υγρά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα των μεταφορών. Τα πιο συνηθισμένα στο εμπόριο είναι το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη. Το βιοντίζελ είναι μεθυλεστέρας, ο οποίος παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.ά) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης (ντίζελ) σε πετρελαιοκινητήρες. Η βιοαιθανόλη παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα και αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή είτε σε μίγμα με βενζίνη σε συμβατικούς βενζινοκινητήρες είτε τέλος μετατρέπεται σε ETBE (πρόσθετο βενζίνης).

Τα βιοκαύσιμα είναι εν γένει φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα γιατί έχουν λιγότερες εκπομπές και προέρχονται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών και στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας (ΚΑΠΕ 2007).

Στο μέλλον, η καύση της βιομάζας θα παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη θέρμανση. Οι διαφορές όμως στις ιδιότητες των καυσίμων βιομάζας είναι μεγάλες και μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την αποδοτικότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τη χρήση τους (Dare et al., 2001).

Μια θετική πτυχή υπέρ της χρήσης βιομάζας με στόχο την παραγωγή ενέργειας είναι η φιλικότητά της προς το περιβάλλον. Γενικά, τα υπολείμματα βιομάζας έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άζωτο και θείο από τα ορυκτά καύσιμα και δεν συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου της "όξινης βροχής" στις περιοχές κοντά στις εγκαταστάσεις καύσης της βιομάζας. Οι εκπομπές NO_x είναι χαμηλότερες από αυτές των ορυκτών καυσίμων, επειδή η θερμοκρασία καύσης είναι χαμηλότερη. Η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι επίσης χαμηλότερη. Δεν συνεισφέρει στο «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» καθώς η ίδια ποσότητα CO₂ που παράγεται στην καύση της βιομάζας, απορροφάται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών. Ένας ακόμη λόγος για χρήση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας είναι τα προβλήματα που προέρχονται στον αγροτικό τομέα στη Δυτική Ευρώπη, όπως η παραγωγή πλεονασμάτων τροφίμων, η απομάκρυνση του πληθυσμού από τις αγροτικές περιοχές και η καταβολή σημαντικών επιχορηγήσεων για να τηρηθεί αγρανάπαυση. Η βιομάζα είναι επίσης μια εγχώρια πηγή ενέργειας, διαθέσιμη στις περισσότερες χώρες και η εφαρμογή της μπορεί να διαφοροποιήσει την προμήθεια καυσίμων σε πολλές περιπτώσεις, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να οδηγήσουν σε μία πιο σταθερή προμήθεια ενέργειας (Mckentry, 2002).

Σύμφωνα με τον Κίττα (2007), οι πηγές βιομάζας θεωρούνται οι περισσότερο αποτελεσματικές μελλοντικά ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα για γεωργική χρήση. Η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών ή/και υγρών καυσίμων (δασική βιομάζα, φυτικά υπολείμματα, ζωικά απόβλητα και απορρίμματα και ενεργειακές καλλιέργειες). Ο ρόλος της βιομάζας στη μερική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων θα είναι καθοριστικός αφού έως το 2010 θα πρέπει να καλύπτει το 8% των ενεργειακών αναγκών από 4% που είναι σήμερα. Εξάλλου, η Ευρωπαϊκή οδηγία για την αύξηση χρήσης των βιοκαυσίμων στις μεταφορές (2003/30/EK) ορίζει «τιμές αναφοράς» για μερίδιο αγοράς 2% βιοκαυσίμων το έτος 2005 και μερίδιο 5,75% το έτος 2010.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση υποστηρίζει τα βιοκαύσιμα (και γενικότερα την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα) στο πλαίσιο των στόχων της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της ενίσχυσης της αφαίρεσης άνθρακα από καύσιμα για μεταφορές, της διαφοροποίησης των πηγών

ανεφοδιασμού καυσίμων και της ανάπτυξης μακροπρόθεσμα υποκατάστατων για το ορυκτό πετρέλαιο. Η ανάπτυξη της παραγωγής βιοκαυσίμων αναμένεται ότι θα προσφέρει νέες ευκαιρίες διαφοροποίησης του εισοδήματος και απασχόλησης σε αγροτικές περιοχές. Ήδη από το 2006 εφαρμόζεται στη χώρα μας η νέα κοινή αγροτική πολιτική (ΚΑΠ) σύμφωνα με την οποία οι επιδοτήσεις αποσυνδέονται από το ύψος της παραγωγής και μεταφέρονται στον ίδιο το γεωργό, με αποτέλεσμα πολλές από τις παραδοσιακές εντατικές καλλιέργειες να καθίστανται αντιοικονομικές, χωρίς να υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις. Οι ενεργειακές καλλιέργειες φαίνεται να είναι μία ομάδα καλλιεργειών που μπορούν να δώσουν διέξοδο στα προβλήματα που αναμένεται να αντιμετωπίσει σύντομα ο Έλληνας αγρότης.

Αυτή τη στιγμή στο Θεσσαλικό κάμπο υπάρχουν 2.000.000 περίπου στρέμματα, η αξιοποίηση των οποίων για παραγωγή βιομάζας μπορεί να επιφέρει κέρδος της τάξης των 60.000.000 ευρώ. Στο κέρδος αυτό φυσικά δεν συμπεριλαμβάνονται τα πολλαπλασιαστικά οφέλη όπως η αύξηση των θέσεων εργασίας, η συγκράτηση του πληθυσμού στην περιφέρεια, η αναδιάρθρωση των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου, η αύξηση του γεωργικού εισοδήματος, η μείωση των ενεργειακών αναγκών από ορυκτά καύσιμα.

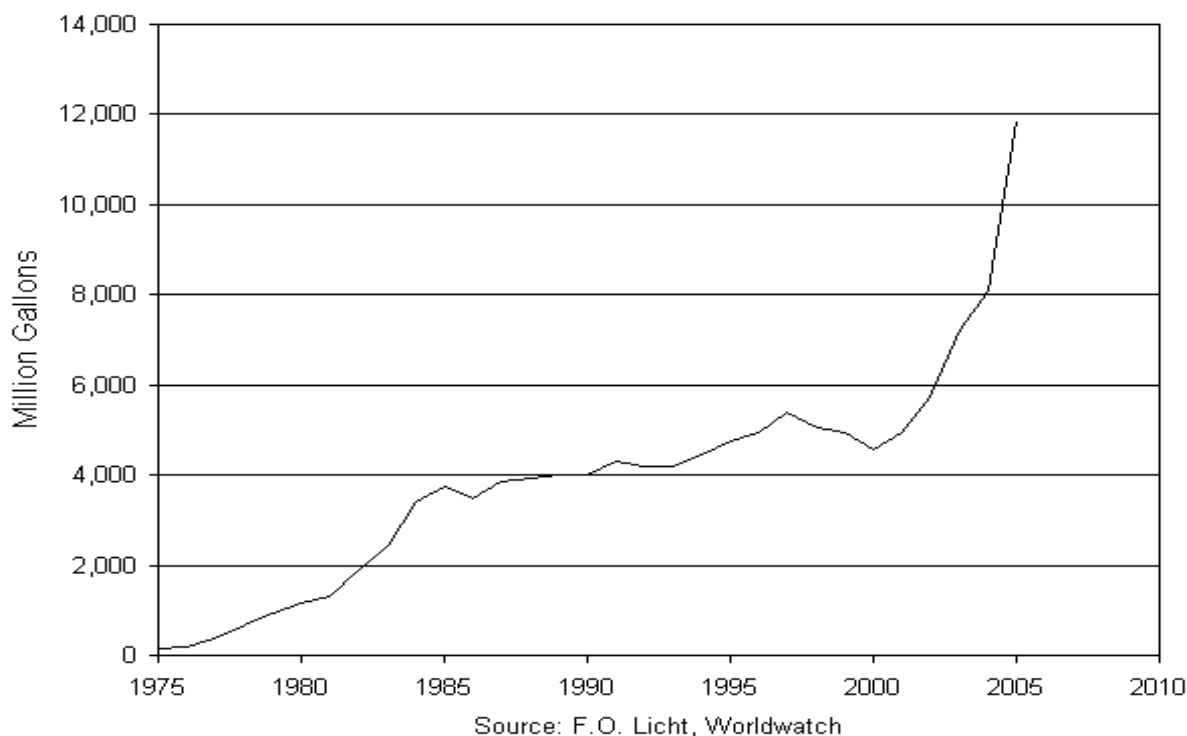
Αποτελέσματα μελετών που αφορούν στη χρήση φυτών για παραγωγή ενέργειας, δείχνουν ότι η περιβαλλοντική ωφέλεια των βιοκαυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της βιοαιθανόλης από τα σιτηρά, δεν είναι ευδιάκριτη και επηρεάζεται έντονα από τις γεωργικές πρακτικές που υιοθετούνται κατά την περίοδο καλλιέργειας της βιομάζας. Ο αριθμός περιπτώσεων, κατά τις οποίες η γενική προσέγγιση του κύκλου ζωής μπορεί ακόμη να παρουσιάσει και αρνητική περιβαλλοντική ωφέλεια είναι περιορισμένος. Το σύνηθες αποτέλεσμα πάντως είναι ότι μέσω της χρήσης βιοκαυσίμων, επέρχεται καθαρό περιβαλλοντικό όφελος έναντι στις εναλλακτικές λύσεις ορυκτών καυσίμων, πλην όμως το όφελος αυτό θα είναι πολύ ευαίσθητο στις γεωργικές πρακτικές, καθώς και σε άλλους παράγοντες, όπως η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής, αν και αυτό το ποσοστό εξαρτάται από τον τύπο βιομάζας (Blanco & Azqueta, 2008).

2.2 Βιοκαύσιμα

Ενώ τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν ακόμη το 95% των καυσίμων μεταφοράς στην παγκόσμια αγορά, η παραγωγή βιοκαυσίμων αυξάνεται κατά 15% περίπου κάθε χρόνο, ένα ποσοστό δέκα φορές μεγαλύτερο από ότι το πετρέλαιο. Υπό αυξανόμενη πίεση, για να βελτιώσουν την ασφάλεια της εγχώριας ενέργειας και για να καταπολεμήσουν την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, τα κράτη στρέφονται τώρα στην αιθανόλη και στο βιοντίζελ για να ικανοποιήσουν αυτήν την αυξανόμενη ανάγκη σε καύσιμα κίνησης. Το 2005, οι Η.Π.Α δεσμεύτηκαν να διπλασιάσουν σχεδόν την παραγωγή της αιθανόλης μέχρι το 2012, και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα πρόσφατα ανακοίνωσε ότι τα βιοκαύσιμα θα πληρούν το 10% των αναγκών σε καύσιμα μεταφοράς μέχρι το 2020.

Παρ' όλα αυτά, δεν είναι όλοι ενθουσιασμένοι με την «επανάσταση» των βιοκαυσίμων. Οι κριτικοί τονίζουν το δυναμικό του περιβαλλοντικού και του κοινωνικού κόστους των βιοκαυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των συνεπειών των αυξημένων τιμών των τροφίμων στους οικονομικά ασθενέστερους παγκοσμίως. Η ανάπτυξη της αιθανόλης από κυτταρίνη μπορεί να εξαλείψει κάποιες από αυτές τις ανησυχίες, αλλά χρειάζεται επιπρόσθετη έρευνα και επενδύσεις για να καταστεί αυτή η τεχνολογία εμπορικά και περιβαλλοντικά βιώσιμη. Ακολουθούν τα πιθανά οφέλη και τα μειονεκτήματα των βιοκαυσίμων ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας τον κλάδο των μεταφορών.

World Ethanol Production, 1975-2005



Σχήμα 2.1: Παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης, 1975-2005. Πηγή: [Earth Policy Institute, 2006](#).

Η επανάσταση των βιοκαυσίμων

Η παραγωγή της αιθανόλης υπερδιπλασιάστηκε μεταξύ του 2000 και του 2005 σε 9 δισεκατομμύρια γαλόνια, το οποίο μεταφράζεται σε 1,2% της παγκόσμιας χρήσης καυσίμων. Η παραγωγή βιοντίζελ, η οποία άρχισε από μία μικρότερη βάση, τετραπλασιάστηκε ([Earth Policy Institute, 2006](#)). Ενώ η αμερικανική αιθανόλη από αραβόσιτο και η βραζιλιανή αιθανόλη από ζαχαροκάλαμο αποτελούν σχεδόν το 90% της παγκόσμιας παραγωγής, οι άλλες χώρες επεκτείνουν γρήγορα την παραγωγή τους χρησιμοποιώντας ποικιλία καλλιεργειών δημητριακών και ζαχαροφυτειών. Αυτή τη στιγμή ο κύριος παραγωγός βιοντίζελ είναι η Ευρώπη, το οποίο προκύπτει από φυτικά έλαια, τα οποία προέρχονται από σόγια, φοινικέλαια και ελαιοκράμβη, μεταξύ άλλων καλλιεργειών.

Τα φυτικά έλαια, μετά από επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα, να αναμειχθούν σε μίγματα με καύσιμα ντίζελ, ή να μετεστεροποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν στους υπάρχοντες κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση. Η εμπορική επιτυχία τέτοιων καυσίμων εξαρτάται από τα φυσικά και τα χημικά χαρακτηριστικά τους, την οικονομική ανταγωνιστικότητά τους έναντι των καυσίμων που βασίζονται στο πετρέλαιο και από τη θετική ενεργειακή ισορροπία, που εν μέρει εξαρτάται από την ενεργειακές εισροές, που απαιτούνται για την παραγωγή ελαιοσπόρων (Kallivroussis et al., 2002).

Ως αποτέλεσμα της αύξησης της παραγωγής βιοκαυσίμων, τροποποιήθηκε και η αυτοκινητοβιομηχανία. Παρ' όλο που τα περισσότερα οχήματα μπορούν να αξιοποιήσουν ένα ποσοστό 90:10 βενζίνης και αιθανόλης, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων τώρα αυξάνεται η παραγωγή των αυτοκινήτων "flex-fuel" που λειτουργούν με E85 (καθώς επίσης και με βενζίνη), ένα μείγμα 85% αιθανόλη και 15% βενζίνη.

Πίνακας 2.1: Οι πέντε μεγαλύτεροι παραγωγοί βιοκαυσίμων το 2005

ΑΙΘΑΝΟΛΗ			BIONTIZEA		
Χώρα	Γαλόνια (εκατομμύρια)	Πρώτες ύλες	Χώρα	Γαλόνια (εκατομμύρια)	Πρώτες ύλες
Βραζιλία	4.356	ζαχαροκάλαμο	Γερμανία	507	ελαιοκράμβη
ΗΠΑ	4.284	αραβόσιτος	Γαλλία	135	σόγια
Κίνα	528	Αραβόσιτος, σιτάρι	ΗΠΑ	77	ελαιοκράμβη
Ε.Ε.	251	Σακχαρότευτλο, σιτάρι, σόργο,	Ιταλία	60	ελαιοκράμβη
Ινδία	79	ζαχαροκάλαμο	Αυστρία	22	ελαιοκράμβη

Πηγή: EarthTrends (2007), με χρήση δεδομένων από: [WorldWatch, 2006](#) and [U.S. Department of Energy, 2006](#)

Τα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων σε έναν κόσμο εθισμένο στο πετρέλαιο

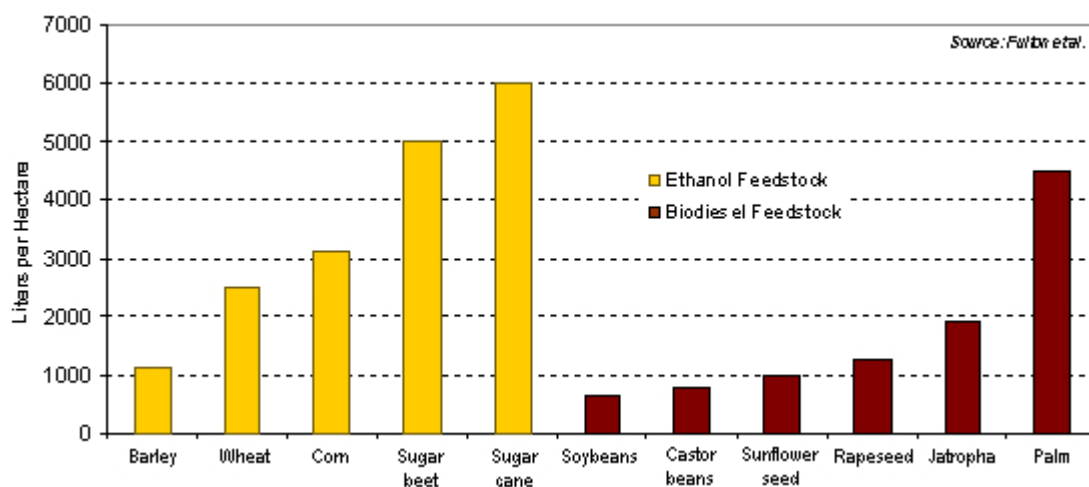
Παρ' όλο που η πολιτική αστάθεια και η αργή παραγωγή δημιουργούν ανησυχίες για το μέλλον των καυσίμων, η ζήτηση για καύσιμα προβλέπεται να αυξηθεί κατά 22% μεταξύ του 2003 και του 2015, κυρίως λόγω της μεγέθυνσης του κλάδου των μεταφορών (EIA, 2006).

Η παραγωγή βιοκαυσίμων ως εναλλακτικό καύσιμο της βενζίνης μειώνει την εξάρτηση μιας χώρας από εισαγόμενα καύσιμα. Συν τοις άλλοις, δημιουργεί θέσεις εργασίας και τονώνει την αγροτική οικονομία. Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα παράγουν λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο συμβάλει στη δημιουργία του νέφους (ευθύνεται για 800.000 πρόωρους θανάτους κάθε χρόνο) και έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ότι τα ορυκτά καύσιμα.

Η Διαμάχη: Τρόφιμα εναντίον Καυσίμων

Η παγκόσμια κατανάλωση καυσίμων από τους ιδιοκτήτες αυτοκινήτων, οι οποίοι απαριθμούνται στα 800 εκατομμύρια, είναι τεράστια. Το 13% της συγκομιδής αραβόσιτου στις ΗΠΑ, το 2005, αντικατέστησε περίπου το 3% των αναγκών σε καύσιμα (RFA, 2007). Καθώς η αγορά καυσίμων συνεχώς ανταγωνίζεται με τις αγορές των τροφίμων και των ζωοτροφών για τις ίδιες σοδειές, οι τιμές των αγαθών διατροφής – από το ψωμί μέχρι τα πουλερικά και το μαγειρικό λάδι – αναμένονται να αυξηθούν, κάτι που μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για τα 800 εκατομμύρια ανθρώπων παγκοσμίως που αντιμετωπίζουν την πείνα. Προς επιβεβαίωση αυτών των φόβων η τιμή του αραβόσιτου πέρυσι διπλασιάστηκε, και προκάλεσε κοινωνική δυσφορία στο Μεξικό, όπου οι τορτίγιας από καλαμπόκι είναι βασικό διατροφικό είδος πρώτης ανάγκης ([BBC News, 2007](#)).

Από την άλλη, η παραγωγή των βιοκαυσίμων μπορεί να αυξήσει τα εισοδήματα στις αγροτικές περιοχές, όπου κατοικούν τα τρία τέταρτα των φτωχών του κόσμου, κάτι που μπορεί να αυξήσει την ικανότητα τους να εξασφαλίσουν αποθέματα τροφών. Ο βαθμός στον οποίο οι υψηλότερες τιμές δημητριακών θα βλάψουν ή θα βοηθήσουν το φτωχό πληθυσμό στις αναπτυσσόμενες χώρες πιθανά θα ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Για να κατανοηθούν οι επιπτώσεις της επεκτεινόμενης ζήτησης για βιοκαύσιμα σε παγκόσμιο αλλά και σε τοπικό επίπεδο, απαιτείται βαθύτερη ανάλυση.



Σχήμα 2.2: Εσοδείες/αποδόσεις βιοκαυσίμων επιλεγμένων Feedstock αιθανόλης και βιοντίζελ

Πηγή: Αναπαράχθηκε από το WorldWatch, 2006. Biofuels for Transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century

Εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους και οφέλους

Όταν οι καλλιέργειες αναπτύσσονται, απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, αναιρώντας με αυτό τον τρόπο τις όποιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προκύπτουν από την καύση των βιοκαυσίμων. Παρ' όλα αυτά, η φύτευση, η λίπανση και η συγκομιδή των καλλιεργειών απαιτούν μηχανολογικό εξοπλισμό, που λειτουργεί με ορυκτά καύσιμα, όπως επίσης και οι διεργασίες που απαιτούνται για την παραγωγή των βιοκαυσίμων (ζύμωση, διύλιση) και τη μεταφορά τους. Συνολικά, η ενέργεια που απαιτείται για να παραχθεί ένα γαλόνι αιθανόλης με βάση τον αραβόσιτο ισούται με περίπου το 60-75% της ενέργειας που παράγεται (NRDC, 2006). Ως αποτέλεσμα, οι εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων μειώνονται μόνο κατά 15-40% σε σχέση με το πετρέλαιο σε συγκριτική βάση ενός γαλονιού ([WorldWatch, 2006](#)).

Ασφαλώς, το βιοντίζελ και η αιθανόλη που βασίζονται στα ζαχαροκάλαμα αποδίδουν υψηλότερα καθαρά ενεργειακά κέρδη από ότι η αιθανόλη από αραβόσιτο, λιγότερες εκπομπές που μπορεί να συνεισφέρουν στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου κατά 45-75 % και 40-90 % αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, οι αποφάσεις για αύξηση της χρήσης του βιοντίζελ σε επίπεδα που έχουν μετρήσιμες επιπτώσεις στις συγκεντρώσεις θερμοκηπιακών αερίων πρέπει να ζυγίζονται προσεκτικά σε σχέση με το περιβαλλοντικό κόστος της παραγωγής – η γεωργία είναι πρωταρχικό αίτιο της αποδάσωσης, της διάβρωσης του εδάφους και της ρύπανσης των υδάτων.

Η Πολλά Υποσχόμενη Αιθανόλη από κυτταρίνη

Η αιθανόλη από κυτταρίνη φτιάχνεται από μια μεγάλη ποικιλία φυτικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων ξυλείας, υπολείμματα καλλιεργειών και άλλων φυτών, κάποια από τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν σε «οριακά» εδάφη ακατάλληλα για παραγωγή τροφίμων. Η διεργασία μετατροπής αυτών σε καύσιμο είναι συχνά πιο αποδοτική επειδή τα φυτικά υλικά, περισσότερο από τα ορυκτά καύσιμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μας τροφοδοτήσουν με θερμότητα και ενέργεια. Ως αποτέλεσμα, η αιθανόλη από κυτταρίνη έχει μία ενεργειακή απόδοση τουλάχιστον τέσσερις με έξι φορές την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια της παραγωγής της και μπορεί να μειώσει τις εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων κατά 65-110 % σε σχέση με τη βενζίνη ([WorldWatch, 2006](#)). Μία μελέτη του 2005 των υπουργείων Ενέργειας και Γεωργίας των Η.Π.Α. υπολόγισε ότι η αιθανόλη από κυτταρίνη μπορεί να εκτοπίσει το 30% των αναγκών για καύσιμα μεταφοράς χωρίς να επηρεαστούν αρνητικά οι σοδειές που προορίζονται για τρόφιμα (USDA and DOE, 2005).

Παρ' όλα αυτά, η παραγωγή της αιθανόλης από κυτταρίνη παραμένει τεχνικά πολύπλοκη και εμπορικά μη κερδοφόρα. Για να πέσει η τιμή της θα απαιτηθούν σημαντικές επενδύσεις και, σε κάποιες περιπτώσεις, επιπλέον έρευνα και ανάπτυξη. Παραμένει ασαφές πόσος καιρός θα χρειαστεί. Ακόμη και τότε, κάποιες πρώτες ύλες μπορεί να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα, αναλόγως του τρόπου παραγωγής, επεξεργασίας, μεταφοράς και χρήσης. (EarthTrends, 2007).

Η μελέτη των Blanco and Azqueta (2008) είναι μία ακόμα μελέτη που αξιολογεί τη χρήση βιοκαυσίμων. Ανατρέχοντας σε πρόσφατα πολιτικά έγγραφα, όπως η Ανακοίνωση της Ε.Κ. σχετικά με την Ενεργειακή Πολιτική για την Ευρώπη (Ιανουάριος 2007), διαπιστώνεται ότι δίνεται έμφαση στις ευκαιρίες, όπου οι ιδιότητες ορισμένων γεωργικών προϊόντων μπορούν να προσφέρουν σε ενεργειακές εφαρμογές. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης, λοιπόν, ήταν να αναλυθεί η επίδραση στην αποδοτικότητα ορισμένων αγροκτημάτων σιτηρών της Ε.Ε., στην περίπτωση που πραγματοποιούταν η ένταξη περιβαλλοντικών ωφελειών από τη χρήση πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας και βιοκαυσίμων, καθώς και η εκτίμηση της πιθανότητας να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα των αγροκτημάτων σιτηρών, χωρίς την υποστήριξη της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, βασίστηκε σε ένα πραγματικό παράδειγμα παραγωγής ενέργειας που βασίζεται στη χρήση άχυρου Sangüesa στην περιοχή της Ναβάρρας στη βόρεια Ισπανία και σε ένα θεωρητικό εργοστάσιο για την παραγωγή βιοαιθανόλης που τροφοδοτείται με σιτάρι. Ένα από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας ήταν ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με το συγκεκριμένο φυτό παρουσιάζονται χαμηλότερες από τις εναλλακτικές λύσεις ορυκτών καυσίμων. Επίσης, είναι σημαντικό ότι, το επίπεδο της περιβαλλοντικής αποζημίωσης εξαρτάται αυστηρά από υπολογισμούς όπως είναι η «αξία του στατιστικού δείκτη ζωής» και η τιμή στην οποία εμπορεύεται το CO₂. Η διανομή αυτού του περιβαλλοντικού οφέλους θα βελτιώνει την οικονομική κατάσταση ενός αγρότη σιτηρών, όχι όμως στην έκταση της κάλυψης των δαπανών ελλείψει της Κ.Α.Π.. Το κόστος προσαρμογής στη νέα κατάσταση, συμπεριλαμβανομένου του τελικού περιβαλλοντικού κόστους, θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη όταν αποφασίζεται αν πρέπει να υποστηριχθεί στην περιοχή η παραγωγή σιτηρών ή όχι. Τέλος, η εξαγωγή της βιοαιθανόλης από τα δημητριακά δεν αποτελεί ικανοποιητικό οικονομικό συμπλήρωμα, εκτός αν η τιμή του πετρελαίου φθάνει σε υψηλά επίπεδα. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να τροποποιηθεί εφόσον μεσοπρόθεσμα, αναμένονται βελτιώσεις στην τεχνολογία και τη διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης, καθώς επίσης και αυξήσεις στην τιμή του πετρελαίου. Συνοψίζοντας οι Blanco and Azqueta (2008) υποστηρίζουν ότι η έκβαση ενός τέτοιου πειράματος, κατά το οποίο τα σχετικά περιβαλλοντικά οφέλη σε σύγκριση με τις εναλλακτικές λύσεις ορυκτών καυσίμων εξελίσσονται με την ενίσχυση μιας απλουστευμένης προσέγγισης κύκλου ζωής, δείχνουν μέσω των τριών σεναρίων που δημιουργήθηκαν, ότι τα χαρακτηριστικά των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και βιομάζας και οι τιμές καυσίμων είναι κρίσιμοι παράγοντες για το μέλλον του τομέα.

2.3 Υγρά Βιοκαύσιμα

Η μελέτη των Frondel and Peters (2007), ερευνά τις πιθανές θετικές επιδράσεις από τη χρήση βιοκαυσίμων. Σχολιάζουν το γεγονός ότι οι Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις σκοπεύουν να αυξήσουν το μερίδιο των βιοκαυσίμων, όσον αφορά στη συνολική κατανάλωση καυσίμων της Ε.Ε., σε ποσοστό 5,75%, μέχρι το 2010, θέτοντας ως εγγύηση φορολογικές μειώσεις και φοροαπαλλαγές, εφόσον η παραγωγή βιοκαυσίμων δεν είναι οικονομικά βιώσιμη λύση. Η οικονομική ενίσχυση του συγκεκριμένου στόχου της Ε.Ε. δικαιολογείται συχνά από τις αναμενόμενες θετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως είναι πιο συγκεκριμένα ο μετριασμός της αλλαγής κλίματος. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι η εκτίμηση περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων, από τη χρήση βιοντίζελ που προέρχεται από σπόρους ελαιοκράμβης, ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων. Η έρευνα στηρίχθηκε στη μελέτη πρόσφατων εμπειρικών μελετών. Ένα από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας είναι το γεγονός ότι οι ισορροπίες ενέργειας και αερίων του θερμοκηπίου είναι σαφώς θετικότερες, με την επιλογή της συγκεκριμένης περιβαλλοντικής πολιτικής. Η επιλογή, όμως, μιας τέτοιας πολιτικής, δεν καθιστά σαφή την ύπαρξη θετικής επίδρασης στην περιβαλλοντική ισορροπία στο σύνολό της. Εν τούτοις, η χρήση βιοντίζελ δε θεωρείται οικονομικά αποδοτική στρατηγική μείωσης εκπομπών αερίων ρύπων. Βασιζόμενοι σε αυτά τα αποτελέσματα οι Frondel and Peters (2007), συστήνουν ως πιο αποδοτικές λύσεις, αυτές που βασίζονται στις ανανεώσιμες και συμβατικές τεχνολογίες.

2.4 Βιοαιθανόλη

Η αιθανόλη ως βιοκαύσιμο παράγεται είτε με συμβατική τεχνολογία (πρώτης γενιάς) από φυτά πλούσια σε σάκχαρα όπως ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα, καλαμπόκι, πατάτα, υποπροϊόντα των εσπεριδοειδών και γλυκό σόργο είτε με εξελιγμένη τεχνολογία από βιομάζα όπως ποώδη και ξυλώδη φυτά που παράγονται σε υποβαθμισμένες γεωργικές περιοχές με χαμηλές ή και καθόλου εισροές (λιπάσματα, φυτοφάρμακα και ενέργεια) για την παραγωγή αιθανόλης από κυτταρίνη και από βιομεθανόλη και ανώτερες αλκοόλες, όπως τη βιοβουτανόλη (ESPOO, 2008, Hill et al., 2006).

Τη μεγαλύτερη παραγωγή αιθανόλης έχει η Βραζιλία, ακολουθούν οι Η.Π.Α. ενώ πολλές άλλες δυτικές χώρες αυξάνουν την παραγωγή τους με γρήγορους ρυθμούς (Orchard et al., 2007). Στις Η.Π.Α. το μεγαλύτερο ποσοστό αιθανόλης, παράγεται από καλαμπόκι. Η αιθανόλη αναμιγνύεται με βενζίνη σε ποσοστά από 1% έως 85% ενώ οι κύριοι τύποι μίγματος αιθανόλης-βενζίνης που

υπάρχουν στην αγορά για τις μεταφορές είναι η E10 (10% αιθανόλη και 90% βενζίνη) και E85 (85% αιθανόλη και 15% βενζίνη). Η E10 μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα περισσότερα αυτοκίνητα ενώ η E85 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από οχήματα τύπου «Flexible Fuel Vehicles» (Rahmani and Hodges, 2006; ESPOO, 2008).

Όσον αφορά στην ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων των μεταφορών, αυτή επιτρέπει την πώληση στην Ευρωπαϊκή Ένωση, βενζίνης με αιθανόλη μέχρι 5% (Orchard et al., 2007).

Άλλα χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα της αιθανόλης είναι:

- Με τη χρήση 10% αιθανόλης σε μίγμα με βενζίνη, μειώνεται κατά 25-30% το μονοξείδιο του άνθρακα καθώς γίνεται καλύτερη καύση του καυσίμου.
- Με τη χρήση 10% αιθανόλης σε μίγμα με βενζίνη, μειώνεται κατά 6-10% το διοξείδιο του άνθρακα.
- Σε χαμηλού επιπέδου μίγματος αιθανόλης, μειώνονται περίπου κατά 7% οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων καθώς η αιθανόλη οξυγονώνει το καύσιμο.
- Καθώς η αιθανόλη δεν περιέχει θείο και βελτιώνει την καύση του καυσίμου, προστατεύονται οι καταλυτικοί μετατροπείς των οχημάτων που μειώνουν τις εκπομπές ρύπων (<http://www.sentex.net/~crfa/envirobenefits.html>).

Σύμφωνα με τους Blottnitz and Curran (2006), οι οποίοι πραγματοποίησαν ανασκόπηση μελετών αξιολόγησης του κύκλου ζωής της βιοαιθανόλης ως καύσιμο κίνησης, η χρήση βιοαιθανόλης οδηγεί στη μείωση της χρήσης ενεργειακών πόρων και στη μείωση του φαινομένου της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας. Παρ' όλα αυτά οι επιπτώσεις στην οξίνιση, στην τοξικότητα στον άνθρωπο και στην οικοτοξικότητα, που συμβαίνουν κυρίως κατά τη συγκομιδή και την επεξεργασία της βιομάζας για παραγωγή βιοαιθανόλης, είναι περισσότερο αρνητικές, παρά ευνοϊκές.

Πίνακας 2.2: Ιδιότητες αιθανόλης (ESPOO, 2008)

Ιδιότητες	Αιθανόλη
Μοριακό βάρος, g/mol	46,1
Πυκνότητα 15 °C, kg/l	0,79
Απόσταξη, °C	78
Αριθμός οκτανίων, RON	108
Θερμογόνος δύναμη, MJ/kg	26,4
Πίεση ατμού, kPa	Υψηλή στο μίγμα
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο, wt-%	34,7
Ισοδύναμο μεγέθους δεξαμενής	1,8
Απόσταση οδήγησης, %	70
Ανάφλεξη καυσίμου στον αέρα, %	3-19
Στοιχειομετρική αναλογία αέρα/καυσίμου	9

Ακόμη, ενώ η αιθανόλη που παράγεται με συμβατική τεχνολογία από σιτηρά πλούσια σε σάκχαρα, είναι αποδοτική ως προς την παραγωγή της και τη μείωση του CO₂, η παραγωγή αιθανόλης από κυτταρίνη είναι εντατική ως προς την κατανάλωση ενέργειας (ESPOO, 2008). Οι μεγάλες ανάγκες σε ενέργεια για την παραγωγή της αιθανόλης από κυτταρίνη, οφείλονται στις υψηλές ενεργειακές ανάγκες των μεταφορών, των εργαστηρίων και της κατασκευής μεγάλων και σύνθετων μονάδων παραγωγής.

Παρόλα αυτά η βιομάζα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της αιθανόλης από κυτταρίνη, απαιτεί χαμηλές εισροές και η αιθανόλη από κυτταρίνη έχει θετικό καθαρό ενεργειακό ισοζύγιο (παραγωγής-καύσης). Επιπλέον πιστεύεται ότι η αιθανόλη από κυτταρίνη, έχει τη δυνατότητα να γίνει οικονομικά ανταγωνιστική ως προς την αιθανόλη από καλαμπόκι, με βελτίωση των ενζύμων, των προεργασιών και των συντελεστών μετατροπής που χρησιμοποιούνται (Hill et al., 2006).

Σύμφωνα με τους Bernesson and Hansson (2006), στη Σουηδία, η χρήση της βενζίνης και του πετρελαίου αυξήθηκε από 47 TWh το 1970, σε 73 TWh το 2000. Οπότε η στροφή στα βιοκαύσιμα είναι ένα σημαντικό βήμα προς μία περισσότερο βιώσιμη κοινωνία. Η παραγωγή καύσιμης αιθανόλης το 2001 ήταν 2,2 εκατ. m³ στην Ευρώπη, 8 εκατ. m³ στις ΗΠΑ και 12 εκατ. m³ στη

Βραζιλία. Στη Σουηδία, παράχθηκαν 50.000 m³ αιθανόλης από δημητριακά και 13.000 m³ από δάση/ξύλο (Bernesson and Hansson, 2006).

Στη μελέτη των Bernesson et al. (2006), οι μελετητές ανέλυσαν εάν η χρήση των συστημάτων παραγωγής μικρής κλίμακας είχαν μειωμένο περιβαλλοντικό φορτίο σε σύγκριση με ένα σύστημα μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας σε σουηδικές συνθήκες. Για αυτό, πραγματοποιήθηκε μία περιορισμένη αξιολόγηση του κύκλου ζωής (AKZ), που συμπεριέλαβε τις αέριες εκπομπές και τις απαιτήσεις σε ενέργεια, για τα τρία μεγέθη εγκαταστάσεων. Η παραγωγή της καύσιμης αιθανόλης έχει αναλυθεί με μεθοδολογία AKZ και παλαιότερα, αλλά αυτές οι μελέτες είχαν εστιάσει σε συστήματα μεγάλης κλίμακας. Στη βιβλιογραφία, δεν βρέθηκαν μελέτες, στις οποίες συγκρίνονται μικρής και μεγάλης κλίμακας παραγωγή καύσιμης αιθανόλης. Αν και οι Bernesson et al. (2006) πραγματοποίησαν τέτοιες συγκρίσεις για παραγωγή βιοντίζελ από έλαιο κράμβης, RME.

Όταν παράγεται καύσιμη αιθανόλη, παράγεται και ένα υποπροϊόν, που είναι απόβλητο διύλισης, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για ζωοτροφή. Το απόβλητο διύλισης είναι ένα υγρό προϊόν που για να πωληθεί σε μία αγορά πρέπει να ξηρανθεί. Αυτή η διαδικασία απαιτεί ενέργεια, αλλά ίσως μπορεί να αποφευχθεί σε μικρότερες εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης. Όταν από μία διεργασία παραγωγής παράγονται διάφορα προϊόντα, το συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο πρέπει να κατανεμηθεί μεταξύ αυτών. Για την κατανομή αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι μέθοδοι στην ΕΚΖ και η επιλογή της μεθόδου κατανομής μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στα τελικά αποτελέσματα. Η επίδραση της αβεβαιότητας στα δεδομένα εισροής και στις εναλλακτικές στρατηγικές για την εκπλήρωση μια συγκεκριμένης λειτουργίας ή για την παραγωγή ενός προϊόντος πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη σε μελέτες AKZ (Bernesson et al., 2006).

Για όλες τις εγκαταστάσεις, τα περιβαλλοντικά φορτία κατανεμήθηκαν σύμφωνα με το ενεργειακό περιεχόμενο των προϊόντων σε ένα βασικό σενάριο. Έπειτα, μελετήθηκαν για σύγκριση, η οικονομική κατανομή και η κατανομή σε ένα διευρυμένο σύστημα. Επίσης, η επιρροή της αβεβαιότητας των δεδομένων εισροής στα αποτελέσματα αξιολογήθηκε με τη χρήση ανάλυσης συμβατικής ευαισθησίας και με προσομοιώσεις Monte Carlo. Επιπλέον, το περιβαλλοντικό φορτίο αναλύθηκε για εναλλακτικά σενάρια παραγωγής καύσιμης αιθανόλης, όπως άροση χωρίς άροτρο. Οι αναλύσεις ευαισθησίας έδειξαν ότι όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων και η απαίτηση ενέργειας ήταν ευαίσθητες στις αλλαγές της εσοδείας σιτηρών και της χρήσης λιπασμάτων. Ο αναλύσεις των

εναλλακτικών σεναρίων έδειξαν ότι τη μεγαλύτερη επιρροή στο περιβαλλοντικό φορτίο και στην ενεργειακή απαίτηση, την άσκησε η συγκομιδή και η χρήση του άχυρου ως καύσιμο, η χρήση βελτιωτικού ανάφλεξης και denaturants από πηγή βιομάζας αντί για πηγή ορυκτών και η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα αντί για Σουηδική ηλεκτρική ενέργεια.

Για μικρές εγκαταστάσεις, το δυναμικό για την παγκόσμια υπερθέρμανση ήταν 198 mg SO₂-eq/MJ_{fuel}, το δυναμικό ευτροφισμού ήταν 30,9mg PO₄³⁻-eq/MJ_{fuel}, το δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος ήταν 13,8mg C₂H₄-eq/MJ_{fuel} και οι απαιτήσεις σε ενέργεια 359 kJ/MJ_{fuel}. Αποδείχθηκε, ότι οι διαφορές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και στις ενεργειακές απαιτήσεις μεταξύ συστημάτων μικρής- μεσαίας- και μεγάλης κλίμακας ήταν μικρές. Οι μεγαλύτερες αποστάσεις μεταφορών ξεπέρασαν ως ένα βαθμό την υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα και την αποδοτικότερη χρήση των μηχανημάτων και των κτηρίων στο σύστημα μεγάλης κλίμακας. Το σημαντικότερο στάδιο της διαδικασίας παραγωγής της αιθανόλης ήταν η καλλιέργεια, για την οποία παράχθηκαν λιπάσματα, τα οποία συνοδεύονται από εκπομπές προς το έδαφος και η χρήση των γεωργικών μηχανημάτων. Για το λόγο αυτό είχε και σημαντική συνεισφορά στο περιβαλλοντικό φορτίο.

Η επιλογή της μεθόδου κατανομής επηρέασε σημαντικά τη διαφορά μεταξύ των τριών συστημάτων παραγωγής, ενώ η αβεβαιότητα για τα δεδομένα εισροών και για κάποιες εναλλακτικές στρατηγικές παραγωγής είχε μικρή επίδραση στα αποτελέσματα της μελέτης.

Στα μεγάλης κλίμακας συστήματα, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες έχουν υψηλή απόδοση, αλλά η μεταφορά των πρώτων υλών στις εγκαταστάσεις παραγωγής και η μεταφορά των κατάλοιπων προϊόντων πίσω στις φάρμες γίνονται από μεγάλες αποστάσεις. Οικονομικοί υπολογισμοί έχουν δείξει ότι τα κόστη παραγωγής για την καύσιμη αιθανόλη είναι μεγαλύτερα σε συστήματα μικρής κλίμακας από ότι σε συστήματα μεγάλης κλίμακας. Τα συστήματα-φάρμες μικρής κλίμακας μπορεί, παρόλα αυτά, να παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον λόγω π.χ. των απλών τεχνολογιών και της πιθανότητας να ενισχυθεί η απασχόληση και το εισόδημα του αγρότη καθ' όλη τη χρονιά. Από περιβαλλοντική άποψη, είναι επίσης συμφέρον το ότι η μεταφορά των πρώτων υλών και των καταλοίπων προϊόντων μειώνεται ή ακόμη και εξαλείφεται.

2.5 Βιοντίζελ

Το βιοντίζελ είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο για μηχανές ντίζελ, που παράγεται από κάποιο χημικά αντιδρόν φυτικό έλαιο ή ζωικό λίπος με μία αλκοόλη, όπως η μεθανόλη. Η αντίδραση απαιτεί έναν καταλύτη, συνήθως μια ισχυρή βάση, όπως το υδροξείδιο νατρίου ή καλίου, και παράγει νέες χημικές ενώσεις αποκαλούμενες μεθυλικοί εστέρες. Αυτοί είναι οι εστέρες που λέγονται βιοντίζελ (Van Gerpen, 2005).

Επειδή η αρχική πρώτη ύλη του είναι ένα φυτικό έλαιο ή ένα ζωικό λίπος, το βιοντίζελ θεωρείται γενικά ανανεώσιμο. Δεδομένου ότι ο άνθρακας στο έλαιο ή στο λίπος προήλθε κυρίως από το διοξείδιο του άνθρακα του αέρα, το βιοντίζελ θεωρείται ότι συμβάλει πολύ λιγότερο στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας από ότι τα ορυκτά καύσιμα. Οι μηχανές ντίζελ που λειτουργούν με βιοντίζελ έχουν τις χαμηλότερες εκπομπές μονοξειδίου άνθρακα, άκαυτους υδρογονάνθρακες, αιωρούμενα σωματίδια, και τις αέριες τοξικές ουσίες από ότι όταν λειτουργούν με καύσιμα βασισμένα στο πετρέλαιο.

Σε τρέχοντα επίπεδα παραγωγής (Van Gerpen, 2005), το βιοντίζελ απαιτεί επιχορηγήσεις για να ανταγωνιστεί άμεσα με τα καύσιμα που βασίζονται στο πετρέλαιο. Εντούτοις, οι ομοσπονδιακές και κρατικές κυβερνήσεις παρέχουν κίνητρα που ενθαρρύνουν την ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας του βιοντίζελ. Τα τρέχοντα επίπεδα παραγωγής είναι 20-25 εκατομμύρια γαλόνια/έτος. Τα τρέχοντα ευρωπαϊκά επίπεδα είναι 500 εκατομμύρια έως 1 δισεκατομμύριο γαλόνια/έτος.

Η συνολική παραγωγή φυτικών ελαίων και ζωικού λίπους στις Ηνωμένες Πολιτείες ανέρχεται συνολικά σε περίπου 35,3 δισεκατομμύρια λίβρες ετησίως. Η παραγωγή αυτή θα μπορούσε να αποδώσει 4,6 δισεκατομμύρια γαλόνια βιοντίζελ. Εντούτοις, η ετήσια κατανάλωση καυσίμων πετρελαίου κίνησης στις Ηνωμένες Πολιτείες, είναι περίπου 33 δισεκατομμύρια γαλόνια. Εάν όλα τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη που παράγονται στις ΗΠΑ διατίθενται στην παραγωγή βιοντίζελ, θα μετατόπιζαν μόνο περίπου το 14% της τρέχουσας ζήτησης για καύσιμα κίνησης πετρελαίου .

2.5.1 Πηγές Βιοντίζελ

Υπάρχουν περισσότερες από 350 ελαιούχες καλλιεργούμενες ποικιλίες φυτών, μεταξύ των οποίων μόνο το έλαιο της σόγιας, των φοινίκων, των ηλίανθων, του βαμβακιού, της ελαιοκράμβης και της φιστικιάς θεωρούνται πιθανά εναλλακτικά καύσιμα για τις μηχανές ντίζελ (Goering et al., 1982· Pryor et al., 1982). Η παγκόσμια κατανάλωση ελαίου σόγιας ήταν η υψηλότερη το 2003 (27,9 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι) (Dermibas, 2005).

Σύμφωνα με τον Dermibas (2007), τα φυτικά έλαια είναι μια κατηγορία ανανεώσιμων καυσίμων. Πρόσφατα, έχουν γίνει ελκυστικότερα, λόγω των περιβαλλοντικών οφελών τους και του γεγονότος ότι προέρχονται από ανανεώσιμους πόρους. Είναι μια ανανεώσιμη και ενδεχομένως ανεξάντλητη πηγή ενέργειας με ενεργειακό περιεχόμενο παρεμφερές με αυτό των καυσίμων ντίζελ. Αφ' ετέρου, η εκτενής χρήση των φυτικών ελαίων μπορεί να προκαλέσει άλλα σημαντικά προβλήματα, όπως λιμό στις αναπτυσσόμενες χώρες. Επίσης, τα καύσιμα φυτικών ελαίων είναι ακριβότερα από τα καύσιμα πετρελαίου.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία βιολιπιδίων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή βιοντίζελ. Αυτά είναι:

Τα παρθένα φυτικά έλαια βιομάζας, όπως τα έλαια του ηλίανθου και της σόγιας, που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα, αλλά και άλλα φυτά, όπως η μουστάρδα, ο φοίνικας, ο ηλίανθος, η κάνναβη και ακόμη και τα άλγη που φαίνονται να είναι πολλά υποσχόμενα.

1. Τα απόβλητα φυτικά έλαια
2. Τα ζωικά λίπη, συμπεριλαμβανομένων των λιπών από τη ζωική σάρκα, του λαρδιού και του κίτρινου λίπους
3. Τα μη βρώσιμα έλαια όπως το έλαιο από το φυτό *Jatropha*, το έλαιο από το φυτό *neem*, το καστορέλαιο, το έλαιο από το φυτό *tall*, κ.λπ.. ¶

Η σόγια χρησιμοποιείται συνήθως στις Ηνωμένες Πολιτείες για τα τρόφιμα, και για αυτό ήταν φυσικό να είναι η αρχική πηγή για βιοντίζελ σε αυτήν την χώρα. Στη Μαλαισία και την Ινδονησία σημαντική πηγή βιοντίζελ είναι το έλαιο των φοινίκων. Στην Ευρώπη, το συνηθέστερο έλαιο βάσης που χρησιμοποιείται στην παραγωγή βιοντίζελ, είναι η ελαιοκράμβη. Στην Ινδία και τη

Νοτιοανατολική Ασία, ως σημαντική πηγή καυσίμων χρησιμοποιείται το δέντρο *Jatropha* (Dermibas, 2007).

Στην Ελλάδα η παραγωγή βιοντίζελ γίνεται παραδοσιακά από καλλιέργειες βαμβακιού. Μια άλλη καλλιέργεια με δυνατότητες ανάπτυξης στην αγορά, είναι η καλλιέργεια ηλίανθου. Ο ηλίανθος καλλιεργείται κυρίως στον Έβρο, σε μη αρδευόμενα αργιλικά εδάφη σε αμειψισπορά με τα χειμερινά δημητριακά. Το 2002, η συνολική καλλιεργημένη έκταση ήταν περίπου 26.000 εκτάρια, με μια εθνική στατιστική μέσης παραγωγής περίπου 1500 kg/εκτάριο. Η αύξηση των εκτάσεων έχει μειωθεί, δεδομένου ότι δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστική έναντι των παραδοσιακών καλλιεργειών αλλά το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους ελαιόσπορους για παραγωγή βιοντίζελ και οι αναμενόμενες δυσμενείς οικονομικές συνθήκες για τα χειμερινά δημητριακά, μπορεί να ενθαρρύνουν την καλλιέργεια ηλίανθου στο εγγύς μέλλον (Kallivroussis et al., 2002).

Τα άλγη μια νέα πηγή στην παραγωγή βιοντίζελ, μπορούν ουσιαστικά να αναπτυχθούν οπουδήποτε υπάρχει αρκετή ηλιοφάνεια. Μερικά άλγη μπορούν να αναπτυχθούν και στο υφάλμυρο νερό. Η σημαντικότερη διαφορά του ελαίου των αλγών είναι στο μέγεθος της παραγωγής του και ως εκ τούτου και στην παραγωγή βιοντίζελ. Σύμφωνα με μερικές εκτιμήσεις, η παραγωγή (ανά στρέμμα) του ελαίου από άλγη είναι περισσότερο από 200 φορές μεγαλύτερη από ότι η παραγωγή του πιο αποδοτικού φυτού/φυτικού ελαίου (Sheehan et al., 1998b). Τα μικροάλγη είναι οι γρηγορότερα αναπτυσσόμενοι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί. Μπορούν να ολοκληρώσουν έναν ολόκληρο αυξητικό κύκλο μέσα σε λίγες ημέρες. Από τα διάτομα μπορεί να παραχθούν περίπου 46 τόνοι ελαίου/εκτάριο/έτος. Το κάθε είδος παράγει και διαφορετική ποσότητα ελαίου. Μερικά άλγη παράγουν ποσότητα ελαίου ίση μέχρι και το 50% του βάρους τους. Η καλλιέργεια των αλγών για παραγωγή ελαίου για βιοντίζελ δεν έχει επιχειρηθεί σε εμπορική κλίμακα, αλλά έχουν εκπονηθεί προκαταρκτικές μελέτες σκοπιμότητας.

Οι ανεπτυγμένες για αυτό το σκοπό ποικιλίες μουστάρδας μπορούν εύλογα να επιτύχουν υψηλή παραγωγή ελαίου, και έχουν το επιπρόσθετο όφελος ότι το υπόλειμμα, αφού έχει εξαχθεί το έλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποτελεσματικό και βιοδιασπώμενο φυτοφάρμακο (Dermibas, 2007).

2.2.3 Οφέλη

Αν και το βιοντίζελ δεν μπορεί εξ ολοκλήρου να αντικαταστήσει τα βασισμένα στο πετρέλαιο καύσιμα, υπάρχουν τουλάχιστον πέντε λόγοι που δικαιολογούν την ανάπτυξή του (Van Gerpen, 2005).

1. Παρέχει μια αγορά για την πλεονάζουσα παραγωγή των φυτικών ελαίων και των ζωικών λιπών.
2. Μειώνει, αν και δεν θα εξαλείψει, την εξάρτηση των χωρών από το εισαγόμενο πετρέλαιο.
3. Είναι ανανεώσιμο και δεν συμβάλλει στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του κλειστού κύκλου άνθρακά του. Μια ανάλυση κύκλου ζωής του βιοντίζελ έδειξε ότι οι συνολικές εκπομπές του CO₂ μειώθηκαν κατά 78% έναντι των καυσίμων που βασίζονται στο πετρέλαιο.
4. Οι εκπομπές εξάτμισης του μονοξειδίου άνθρακα, των άκαυτων υδρογονάνθρακων, και των αιωρούμενων σωματιδίων από το βιοντίζελ είναι χαμηλότερες από ότι αυτές των ορυκτών καυσίμων. Δυστυχώς, οι περισσότεροι έλεγχοι των εκπομπών έχουν παρουσιάσει μικρή αύξηση στα οξείδια του αζώτου (NO_x).
5. Όταν προστίθεται στα συμβατικά καύσιμα σε ένα ποσοστό 1-2%, μπορεί να μετατρέψει τα καύσιμα με φτωχές λιπαντικές ιδιότητες, όπως τα σύγχρονα καύσιμα με ελάχιστο θείο (ultra-low-sulfur diesel fuel), σε αποδεκτά καύσιμα. ¶

Σε βιβλιογραφική του μελέτη ο Dermibas (2007) συγκέντρωσε όλα τα πλεονεκτήματα του βιοντίζελ, έναντι των καυσίμων που προέρχονται από ορυκτά καύσιμα. Τα πλεονεκτήματα του βιοντίζελ ως καύσιμο ντίζελ σε σχέση με το ντίζελ από ορυκτό πετρέλαιο, είναι η έτοιμη διαθεσιμότητα, η ανανεωσιμότητα, η υψηλότερη αποδοτικότητα καύσης, το χαμηλότερο θείο και αρωματικό περιεχόμενο (Ma and Hanna, 1999· Knothe et al., 2006), ο υψηλότερος αριθμός κανονικού εξαδεκανίου και η υψηλότερη βιοαποδομησιμότητα (Mudge and Pereira, 1999· Speidel et al., 2000· Zhang et al., 2003). Τα κύρια πλεονεκτήματα του βιοντίζελ που δίνονται στη βιβλιογραφία, περιλαμβάνουν την εγχώρια προέλευση, που μειώνει την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο, τη βιοδιασπασιμότητα, το υψηλό σημείο ανάφλεξης και η λιπαντική

ιδιότητα που διαθέτει εκ φύσεως στην επεξεργασμένη καθαρή του μορφή (Mittelbach and Remschmidt, 2004· Knothe et al., 2005).

Διαθεσιμότητα και ανανεωσιμότητα

Το βιοντίζελ είναι το μόνο εναλλακτικό καύσιμο που όταν συνυπάρχει σε μίγματα βιοντίζελ – ντίζελ, σε χαμηλή συγκέντρωση μπορεί να λειτουργήσει σε συμβατικούς, μη τροποποιημένους κινητήρες ντίζελ. Μπορεί να αποθηκευτεί οπουδήποτε όπως ακριβώς αποθηκεύονται και τα καύσιμα ντίζελ που έχουν παραχθεί από πετρέλαιο. Το βιοντίζελ μπορεί να παραχθεί από τις τοπικά παραγόμενες, ανανεώσιμες καλλιέργειες ελαιοσπόρων, όπως η σόγια, η ελαιοκράμβη και ο ηλιάνθος. Οι κίνδυνοι χειρισμού, μεταφοράς και αποθήκευσης του είναι πολύ μικρότεροι από εκείνους τους κινδύνους, που συνδέονται με το συμβατικό ντίζελ.

Το βιοντίζελ είναι ασφαλές στο χειρισμό και στη μεταφορά επειδή είναι βιοδιασπώμενο, όπως η ζάχαρη και έχει ένα υψηλό σημείο ανάφλεξης, έναντι των καυσίμων ντίζελ πετρελαίου. Το βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ή να αναμιχθεί σε οποιαδήποτε αναλογία με τα καύσιμα ντίζελ πετρελαίου. Το πιο συνηθισμένο μίγμα είναι ένα μίγμα 20% βιοντίζελ με 80% ντίζελ πετρελαίου, ή B20 όπως καλείται σε πρόσφατες επιστημονικές έρευνες. Εντούτοις, στην Ευρώπη ο τρέχων κανονισμός προβλέπει ένα μέγιστο ποσοστό του σε μίγματα με ντίζελ 5,75%.

Υψηλότερη αποδοτικότητα καύσης

Η περιεκτικότητα του βιοντίζελ σε οξυγόνο βελτιώνει τη διαδικασία της καύσης και μειώνει το δυναμικό οξειδωσής της. Η δομική περιεκτικότητα ενός καυσίμου σε οξυγόνο, βελτιώνει την αποδοτικότητα καύσης, λόγω της αύξησης της ομοιογένειας του οξυγόνου με το καύσιμο κατά τη διάρκεια της καύσης. Λόγω αυτού του γεγονότος, η αποδοτικότητα καύσης του βιοντίζελ είναι υψηλότερη από αυτή του συμβατικού ντίζελ, καθώς επίσης και η αποδοτικότητα καύσης της μεθανόλης/ αιθανόλης είναι υψηλότερη από αυτή της βενζίνης. Μια οπτική επιθεώρηση των τύπων εγχυτήρων δεν θα έδειχνε καμία διαφορά ανάμεσα στο βιοντίζελ και στο ορυκτό ντίζελ. Το βιοντίζελ περιέχει 11% κατά βάρος οξυγόνο και δεν περιέχει καθόλου θείο. Η χρήση του βιοντίζελ μπορεί να επεκτείνει τη ζωή των μηχανών ντίζελ, επειδή η λιπαντική του ιδιότητα είναι μεγαλύτερη από αυτή των καυσίμων ντίζελ πετρελαίου.

Οι τιμές της μέγιστης θερμογόνου δυνάμεως (HHVs) των διαφόρων ειδών βιοντίζελ είναι σχετικά υψηλές. Οι HHVs των βιοντίζελ (39-41 MJ/kg) είναι ελαφρώς χαμηλότερες από αυτές της βενζίνης (46 MJ/kg), του ορυκτού diesel (43 MJ/kg) ή του αργού πετρελαίου (42 MJ/kg), αλλά υψηλότερες από αυτές του άνθρακα (32-37 MJ/kg). Ο πίνακας 2.3 παρουσιάζει τη σύγκριση των χημικών ιδιοτήτων και των HHVs μεταξύ των καυσίμων βιοντίζελ και συμβατικού ντίζελ.

Πίνακας 2.3: Σύγκριση των χημικών ιδιοτήτων και των ανώτερων θερμογόνων δυνάμεων (HHVs) μεταξύ των καυσίμων βιοντίζελ και συμβατικού ντίζελ

Χημική ιδιότητα	Βιοντίζελ (μεθυλεστέρας)	Ντίζελ
Τέφρα (wt%)	0,002–0,036	0,006–0,010
Θείο (wt%)	0,006–0,020	0,020–0,050
Άζωτο (wt%)	0,002–0,007	0,0001–0,003
Αρωματικά (vol%)	0	28–38
Αριθμός ιωδίου	65–156	0
HHV (MJ/kg)	39,2–40,6	45,1–45,6

Χαμηλότερες εκπομπές

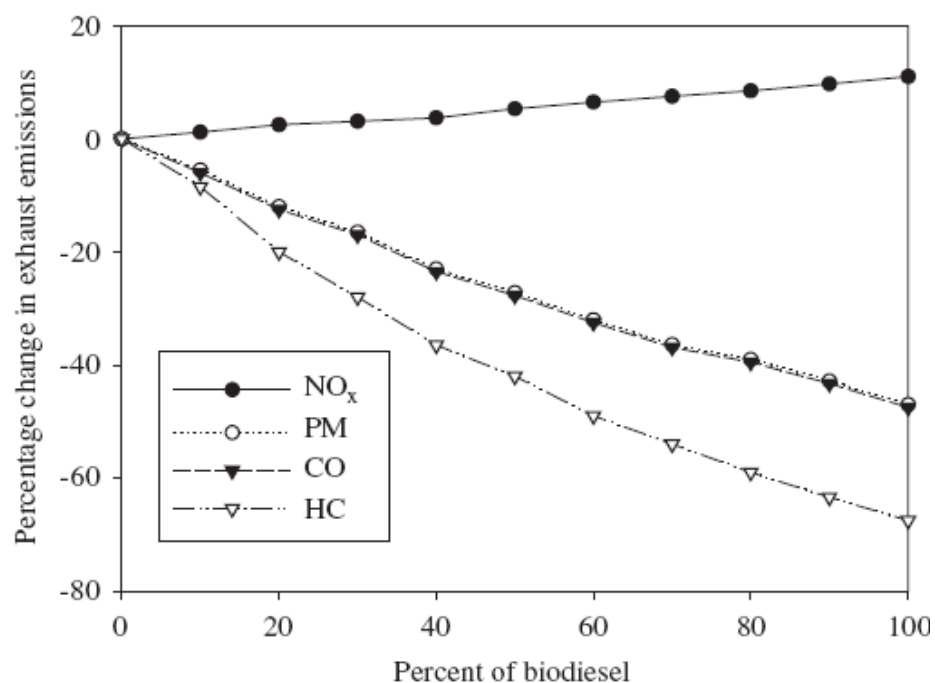
Από την καύση καθαρού βιοντίζελ (100% βιοντίζελ) προκύπτει μια μείωση των συνολικών άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) πάνω από 90%, και μια μείωση των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs) 75-90%. Επίσης, από την καύση του βιοντίζελ προκύπτουν σημαντικές μειώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του μονοξειδίου του άνθρακα συγκριτικά με τα καύσιμα ντίζελ αργού πετρελαίου. Ακόμη από τη καύση του βιοντίζελ προκύπτει μια μικρή αύξηση ή μείωση στα οξείδια του αζώτου, ανάλογα με το είδος του κινητήρα και τις διαδικασίες εργαστηριακού ελέγχου.

Για τις αποδόσεις και τις εκπομπές των μηχανών συμπίεσης ανάφλεξης, CIEs, που τροφοδοτούνται με καθαρό βιοντίζελ και μίγματα με πετρέλαιο diesel, έχουν εκπονηθεί πολλές μελέτες (Laforgia and Ardito, 1994· Cardone et al., 1998).

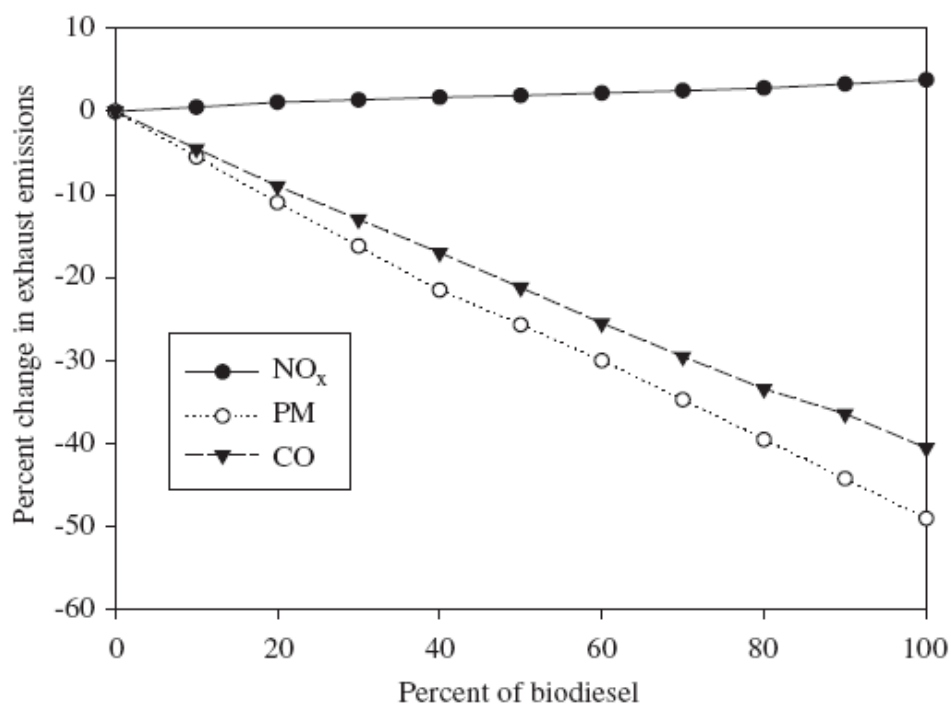
Τα δεδομένα χαρακτηρισμού καυσίμων παρουσιάζουν μερικές ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των καυσίμων βιοντίζελ και συμβατικού ντίζελ (Shay, 1993). Η περιεκτικότητα σε θείο του συμβατικού ντίζελ είναι 20-50 φορές μεγαλύτερη απ' ό τι του βιοντίζελ. Διάφοροι δήμοι θεωρούν επιτακτική τη χρήση του βιοντίζελ στα καύσιμα ντίζελ σε χαμηλά επίπεδα. Και αυτό λόγω διάφορων μελετών που έχουν αποδείξει ότι από τη χρήση του βιοντίζελ υπάρχουν οφέλη στη μείωση των HC και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM).

Η χρήση του βιοντίζελ προς μείωση του N_2O παρουσιάζει ενδιαφέρον για διάφορους λόγους. Το βιοντίζελ περιέχει λίγο άζωτο, σε σχέση με το συμβατικό ντίζελ που χρησιμοποιείται επίσης ως καύσιμο ανάφλεξης. Η μείωση του N_2O στις εκπομπές είναι έντονα εξαρτημένη από την αρχική συγκέντρωση του N_2O στο καύσιμο και μόνο ελαφρώς εξαρτημένη από τη θερμοκρασία της καύσης, όπου η αυξανόμενη θερμοκρασία αυξάνει τη μείωση του N_2O . Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη παραγωγή N_2O για το βιοντίζελ. Επιπλέον, το βιοντίζελ ουσιαστικά περιέχει ίχνη θείου, και για αυτό οι εκπομπές του SO_2 μειώνονται ευθέως ανάλογα με την αντικατάσταση του συμβατικού ντίζελ.

Ένα από τα πιο κοινά μίγματα του βιοντίζελ περιέχει 20% κ.ό. καθαρό βιοντίζελ και 80 % κ.ό. συμβατικό ντίζελ. Για το βιοντίζελ που προέρχεται από σόγια σε αυτήν την συγκέντρωση, οι εκτιμώμενες επιπτώσεις εκπομπών για ποσοστιαία αλλαγή στις εκπομπές NO_x , PM, HC and CO ήταν + 20%, -10,1%, -21,1%, και -11,0%, αντίστοιχα (EPA, 2002). Η χρήση των μιγμάτων βιοντίζελ και ντίζελ προτιμάται στους κινητήρες, προκειμένου να αποφευχθούν μερικά προβλήματα που σχετίζονται με τη μείωση της ισχύος και της ροπής και με την αύξηση των εκπομπών NO_x (έναν παράγοντα που συμβάλλει στον τοπικό σχηματισμό της αιθαλομίχλης και του όζοντος) όταν στο μίγμα έχει μεγάλο ποσοστό καθαρού βιοντίζελ (Schumacher et al., 1996). Οι εκπομπές όλων των ρύπων εκτός από το NO_x , φαίνεται να μειώνονται όταν χρησιμοποιείται βιοντίζελ. Το γεγονός ότι οι εκπομπές NO_x αυξάνονται με την αυξανόμενη συγκέντρωση βιοντίζελ, θα μπορούσε να είναι μία ζημία για κάποιες περιοχές που έχουν πρόβλημα με το όζον. Ο πίνακας 2.3 παρουσιάζει τις μέσες αλλαγές στις μαζικές εκπομπές, από τους κινητήρες ντίζελ, χρησιμοποιώντας μίγματα βιοντίζελ συγκριτικά με το συμβατικό καύσιμο ντίζελ. Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι μέσες μεταβολές των εκπομπών καυσαερίων του βασισμένου σε φυτικό έλαιο βιοντίζελ. Στο σχήμα 2.4 παρουσιάζονται οι μέσες μεταβολές εκπομπών καυσαερίων του βασισμένου σε ζωικά λίπη βιοντίζελ.



Σχήμα 2.3: Καμπύλες για τις μέσες μεταβολές εκπομπών καυσασερίων του βασισμένου σε φυτικό έλαιο βιοντίζελ. Πηγή: EPA (2002)



Σχήμα 2.4: Καμπύλες για τις μέσες μεταβολές εκπομπών καυσασερίων του βασισμένου σε ζωικά λίπη βιοντίζελ. Πηγή: EPA (2002)

Η χρήση του βιοντίζελ σε μια συμβατική μηχανή ντίζελ, μειώνει σημαντικά τις εκπομπές των άκαυστων HC, του διοξειδίου του άνθρακα, του μονοξειδίου του άνθρακα, των θεικών αλάτων, των PAHs, των επεξεργασμένων με νιτρικό οξύ PAHs, των HC που σχηματίζουν όζον και των αιωρούμενων σωματιδίων. Η τελική συμβολή του διοξειδίου του άνθρακα από την καύση βιομάζας είναι μικρή (Carraretto et al., 2004). Οι μειώσεις των τελικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζονται σε 77-104 g/MJ όταν το βιοντίζελ αντικαθιστά το ντίζελ (Tan et al., 2004). Οι μειώσεις αυτές αυξάνονται καθώς αυξάνεται και η ποσότητα του βιοντίζελ που αναμιγνύεται με ντίζελ. Οι καλύτερες μειώσεις εκπομπών προκύπτουν με 100% βιοντίζελ.

Οι εκπομπές της εξάτμισης του εμπορικού βιοντίζελ και του συμβατικού ντίζελ μελετήθηκαν σε μια μηχανή ντίζελ με EGR, 14 L έξι-κυλίνδρων, βαρέων καθηκόντων, μοντέλο του 2003 (Knothe et al., 2006). Τα εμπορικά καύσιμα βιοντίζελ μείωσαν σημαντικά τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων της εξάτμισης (75-83%), έναντι του συμβατικού ντίζελ. Εντούτοις, οι εκπομπές NO_x της εξάτμισης αυξήθηκαν ελαφρώς με το εμπορικό βιοντίζελ, έναντι των καυσίμων ντίζελ. Το μήκος των αλυσίδων των ενώσεων είχε μικρή επίδραση στις εκπομπές NO_x και των αιωρούμενων σωματιδίων της εξάτμισης, ενώ η επιρροή ήταν μεγαλύτερη στους HC και στο CO, τα τελευταία μειώνονται με μικρό μήκος αλυσίδων. Η έλλειψη κορεσμού σε λιπαρές ενώσεις προκαλεί μια αύξηση στις εκπομπές NO_x της εξάτμισης (Knothe et al., 2006).

Βιοαποδομησιμότητα

Το βιοντίζελ είναι μη τοξικό και διασπάται περίπου 4 φορές γρηγορότερα από το συμβατικό ντίζελ. Η περιεκτικότητά του σε οξυγόνο βελτιώνει τη διαδικασία της βιοαποδόμησης, (οδηγεί σε μια μειωμένη τιμή άμεσης βιοαποδόμησης). Σε σύγκριση με το συμβατικό ντίζελ, το βιοντίζελ παρουσιάζει χαμηλότερες εκπομπές. Βελτιώνει την περιβαλλοντική απόδοση των οδικών μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων εκπομπών του θερμοκηπίου (κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα).

Καθώς τα καύσιμα βιοντίζελ εμπορευματοποιούνται, η ύπαρξή τους στο περιβάλλον έχει προκαλέσει ανησυχία, δεδομένου ότι οι διαρροές πετρελαίου αποτελούν μια σημαντική πηγή ρύπανσης των οικοσυστημάτων (Peterson et al., 1995). Μεταξύ αυτών των ανησυχιών, ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα για τα οικοσυστήματα, είναι η ποιότητα νερού. Είναι σημαντικό να εξετάζεται η βιοαποδομησιμότητα του βιοντίζελ και το ποσοστό βιοδιάσπασης σε φυσικούς

υδατικούς αποδέκτες σε περίπτωση που εισέλθουν σε υδατικό περιβάλλον, κατά τη διάρκεια της χρήσης τους ή της διάθεσης τους. Από τη βιοαποδόμηση του βιοντίζελ μπορούν να απελευθερωθούν στο περιβάλλον χημικές ουσίες. Με το αυξανόμενο ενδιαφέρον για το βιοντίζελ, η υγεία και οι πτυχές ασφάλειας είναι εξαιρετικά σημαντικές, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους στη μεταφορά, στην αποθήκευση ή στην επεξεργασία του (Ma and Hanna, 1999).

Η βιοαποδομησιμότητα των διάφορων ειδών βιοντίζελ στο υδατικό περιβάλλον δείχνει ότι όλα τα καύσιμα βιοντίζελ είναι βιοαποδομούνται εύκολα. Μετά από 28 ημέρες όλα τα καύσιμα βιοντίζελ είχαν βιοαποδομηθεί 77%-89%, ενώ το ντίζελ είχε διασπαστεί μόνο κατά 18% (Zhang, 1996).

Τα δεδομένα βιοαποδομησιμότητας του πετρελαίου και των βιοκαυσίμων που υπάρχουν στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4. Το πετρέλαιο βαρέων κλασμάτων, στις εργαστηριακές μελέτες 28 ημερών, έχει χαμηλή βιοαποδομησιμότητα 11%, λόγω του υψηλότερου ποσοστού των υψηλού μοριακού βάρους αρωματικών ουσιών (Mulkins-Phillips and Stewart, 1974; Walker et al., 1976). Η βενζίνη είναι αρκετά βιοαποδομήσιμη (28%), μετά από 28 ημέρες. Τα φυτικά έλαια και οι παραγόμενοι μεθυλικοί εστέρες τους (biodiesels) αποδομούνται γρήγορα και η αποδόμησή τους φτάνει το 76 και 90% αντίστοιχα (Zhang et al., 1998; Mudge and Pereira, 1999). Στις μελέτες τους οι Zhang et al (1998) έδειξαν ότι τα φυτικά έλαια είναι ελαφρώς λιγότερο διασπώμενα από ότι οι τροποποιημένοι μεθυλικοί εστέρες τους.

Πίνακας 2.4: Δεδομένα βιοαποδομησιμότητα του πετρελαίου και του ντίζελ. Πηγή: Dermibas (2007)

Δείγμα καυσίμου	Αποδομησιμότητα σε 28 μέρες (%)	Βιβλιογραφικές πηγές
Βενζίνη (91 οκτάνια)	28	Speidel et al. (2000)
Βαρύ καύσιμο (bunker C oil)	11	Mulkins-Phillips and Stewart (1974) and Walker et al. (1976)
Διυλισμένο/ραφιναρισμένο έλαιο ελαιοκράμβης	78	Zhang et al. (1998)
Διυλισμένο/ραφιναρισμένο έλαιο σόγιας	76	Zhang et al. (1998)
Έλαιο ελαιοκράμβης μεθυλικού εστέρα	88	Zhang et al. (1998)
Μεθυλικός εστέρας ελαίου ηλιόσπορου	90	Zhang et al. (1998)

2.5.4 Μειονεκτήματα

Σημαντικά μειονεκτήματα του βιοντίζελ είναι το υψηλότερο ιξώδες, το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο, τα υψηλότερα σημεία ροής και θόλωσης, οι υψηλότερες εκπομπές οξειδίων αζώτου (NO_x), η χαμηλότερη ταχύτητα και δύναμη του κινητήρα, η επικάθιση άνθρακα στον εγχυτήρα της μηχανής, η συμβατότητα των κινητήρων, η υψηλή τιμή του και η υψηλότερο κόστος κινητήρων. Ο πίνακας 2.5 παρουσιάζει τα πρότυπα καυσίμων του ASTM του βιοντίζελ και του ντίζελ. Τα σημαντικά λειτουργικά μειονεκτήματα του βιοντίζελ σε σύγκριση με το ντίζελ είναι τα προβλήματα ψυχρής εκκίνησης, το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο, η ταχύτερη οξείδωση/διάβρωση κατά τη δοκιμασία της λωρίδας χαλκού και η δυσκολία άντλησης του καυσίμου λόγω του μεγαλύτερου ιξώδους. Αυτό αυξάνει την κατανάλωση του καυσίμου όταν χρησιμοποιείται το βιοντίζελ σε σύγκριση με τη χρήση του καθαρού ντίζελ, αναλογικά με την περιεκτικότητα σε βιοντίζελ. Λαμβάνοντας υπόψη το υψηλότερο κόστος παραγωγής του βιοντίζελ σε σύγκριση με το ντίζελ, αυτή η αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου αυξάνει επιπροσθέτως στο συνολικό κόστος της χρήσης του βιοντίζελ. Το βιοντίζελ έχει υψηλότερα σημεία ροής και θόλωσης έναντι του συμβατικού ντίζελ (Prakash, 1998). Το καθαρό/σκέτο βιοντίζελ και τα μίγματα του αυξάνουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), έναντι των καυσίμων ντίζελ, όταν χρησιμοποιούνται σε κινητήρες ντίζελ χωρίς μετατροπή (EPA, 2002). Η μέγιστη ροπή είναι μικρότερη, αλλά εμφανίζεται σε χαμηλότερη ταχύτητα του κινητήρα και γενικά οι καμπύλες ροπής είναι πιο επίπεδες. Τα βιοντίζελ κατά μέσο όρο, μειώνουν τη δύναμη κατά 5% (Demirbas, 2006b).

Πίνακας 2.5: Κριτήρια βιοντίζελ και ντίζελ σύμφωνα με [ASTM](#)

Ιδιότητα	Μέθοδος ελέγχου	ASTM D975 (ντίζελ)	ASTM D6751 (βιοντίζελ, B100)
Flash point	D 93	325 K min	403 K
Νερό και ίζημα	D 2709	0,05 max vol%	0,05 max vol%
Κινηματικό ιξώδες (στα 313 K)	D 445	1,3 – 4,1 mm ² /s	1,9 – 6,0 mm ² /s
Θευκή τέφρα	D 874	-	0,02 max wt%
Τέφρα	D 482	0,01 max wt%	-
Θείο	D 5453	0,05 max wt%	-
Θείο	D 2622/129	-	0,05 max wt%
Διάβρωση χάλκινου δείγματος	D 130	No 3 max	No 3 max
Αναφλεκτική ικανότητα	D 613	40 min	47 min
Αρωματικότητα	D 1319	35 max vol%	-
Υπόλειμμα άνθρακα	D 4530	-	0,05 max mass%
Υπόλειμμα άνθρακα	D 524	0,35 max mass%	-
Θερμοκρασία διύλισης (90% volume recycle)	D 1160	555 K min–611 K max	-

2.6 *Cynara cardunculus* L. ή Αγριαγκινάρα

Η έρευνα για τα μη ξυλώδη φυτά στην Ευρώπη, έχει εστιάσει σε είδη με υψηλή παραγωγή βιομάζας, τα οποία μπορούν να αναπτύσσονται σε διαθέσιμες περιοχές ως μη βρώσιμες βιομηχανικές καλλιέργειες για ενέργεια, πολτό και χαρτί, πρόσθετα ή χημικά. Τέτοια μη ξυλώδη ινώδη φυτά όπως είναι το λινάρι, η κάνναβη, το βαμβάκι, ο μίσχανθος, το κενάφ και η μακροχλόη είναι πιθανές καλλιέργειες για τη βιομηχανία χαρτιού σε διάφορες χώρες της Ε.Ε. (Gominho et al., 2001).

Σε αυτό το πλαίσιο, εξετάζεται μια νέα καλλιέργεια που μπορεί να αναπτυχθεί σε ξηρές και θερμές περιοχές με υψηλά επίπεδα παραγωγικότητας: είναι ένα είδος γαϊδουράγκαθου, η *Cynara cardunculus* L., κοινώς αγριαγκινάρα και έχει αποτελέσει αντικείμενο δύο ερευνητικών προγραμμάτων της Ε.Ε. (AIR3-CT93-1089 and JOUB-0030), (Gominho et al., 2001).

Η αγριαγκινάρα (*C. cardunculus* L.) είναι ένα ποώδες πολυετές φυτό της οικογένειας Asteraceae (Compositae), που αναπτύσσεται φυσικά σε δριμύεις συνθήκες ενδιαιτήματος, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, έλλειψη νερού το καλοκαίρι και σε λεπτά, μη παραγωγικά, πετρώδη εδάφη. Συναντάται στην Ευρώπη, στη Βόρεια Αφρική, τη Μαδέρα, τις Κανάριες νήσους, καθώς και στη Νότια Αμερική. Στην Ιβηρική Χερσόνησο εμφανίζεται συνήθως στη νότια Πορτογαλία και στην Ισπανική Ανδαλουσία. Το συγκεκριμένο φυτό έχει χρησιμοποιηθεί σε τοπικά εδέσματα (δηλ. σούπες, σαλάτες), αλλά κυρίως ως πηγή ενζύμων για την πήξη του, γάλακτος κατά την παραδοσιακή τυροκομεία (Gominho et al., 2001). Οι σπόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή βρώσιμου ελαίου και η υπόλοιπη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή. Τα ανατομικά χαρακτηριστικά των μίσχων φαίνεται να είναι κατάλληλα για διαμόρφωση φύλλων χαρτιού και έχουν καλές ιδιότητες αντοχής (Pascualino, 2006). Η διάρκεια ζωής της φυτείας είναι 15 έτη και η παραγωγή ξηρής βιομάζας, αναλόγως την πυκνότητα της φύτευσης στο χωράφι, έχει ένα εύρος μεταξύ 16,96 και 31,67 τόνους ανά εκτάριο (Panoutsou, 2007).

Περιλαμβάνει ένα υποείδος, *C. cardunculus* L. υποείδος *scolymus* (L.) Hegi = *C. cardunculus* L. υποείδος *scolymus* (L.) Hayek (σφαιρική αγκινάρα) και δύο βοτανικές ποικιλίες, τη *C. cardunculus* L. var. *altilis* DC. (καλλιεργούμενη αγριαγκινάρα) και τη *C. cardunculus* L. var. *sylvestris* Lam. (άγρια αγριαγκινάρα), η οποία θεωρείται ο άγριος πρόγονος της σφαιρικής αγκινάρας (Raccuia and Melilli, 2007).

Η σφαιρική αγκινάρα είναι ένα πολυετές φυτό που σχηματίζει ροζέτα, καλλιεργούμενο σε όλο τον κόσμο για τις μεγάλες σαρκώδεις κεφαλές του. Η καλλιεργούμενη αγκινάρα είναι ένα λιγότερο σημαντικό πολυετές ποώδες φυτό, το οποίο καλλιεργείται ως λαχανικό από την αρχαιότητα κυρίως για το φυλλώδη μίσχο του, ο οποίος θεωρείται εξαιρετικό ορεκτικό σε πολλά μέρη της Μεσογείου. Το ενδιαφέρον για την καλλιέργεια αυτού του φυτού μεγαλώνει στις ευρωπαϊκές χώρες, ειδικά στην Ισπανία, τη Γαλλία και την Ιταλία (Raccuia and Melilli 2007).

Η *Cynara* συγγενεύει βοτανολογικά με τον ηλίανθο και όπως ο ηλίανθος, παράγει καρπούς πλούσιους σε έλαιο, οι οποίοι συνήθως αναφέρονται ως «σπόροι». Οι παράμετροι που δείχνουν το δυναμικό της *Cynara* ως ενεργειακή καλλιέργεια είναι: η παραγωγή σπόρου το περιεχόμενο του σπόρου σε έλαιο, το προφίλ των λιπαρών οξέων και η θερμογόνο δύναμη. Η παραγωγή του σπόρου στην κεντρική Ισπανία εκτιμήθηκε 1,36 t/εκτάριο/έτος (Fernandez and Curt, 2004).

Η *C. cardunculus* L. είναι ένα ισχυρό φυτό που επιβιώνει στη ξηρή θερινή περίοδο, κατά την οποία παράγει βιομάζα. Χαρακτηρίζεται από τη ροζέτα του, η οποία αποτελείται από μεγάλα ακανθώδη φύλλα, και τα μπλε-μωβ άνθη του. Είναι αλλόγαμο και αναπαράγεται από τους σπόρους του, οι περισσότεροι από τους οποίους φυτρώνουν κοντά στο γονικό φυτό (Pascualino, 2006). Ο βλαστικός κύκλος του φυτού αρχίζει από τη βλάστηση του σπόρου, με τις πρώτες βροχές μετά από το καλοκαίρι. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα αναπτύσσει μία ροζέτα φύλλων. Ο μίσχος αρχίζει να επιμηκύνεται την άνοιξη, ενώ η πρώτη κεφαλίδα (capitula) εμφανίζεται μεταξύ Ιουνίου και Ιουλίου. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το υπέργειο μέρος του φυτού ξεραίνεται και το υπόγειο μέρος πέφτει σε λήθαργο, έως ότου να ξεκινήσει ένας νέος κύκλος, κατά τον οποίο το φύλλο βλαστάνει απότομα από τις ρίζες, λόγω των βροχοπτώσεων του φθινοπώρου. Ο μίσχος του φυτού έχει κεντρική εντεριώνη, περίπου 45% του συνολικού όγκου και 10% του βάρους του μίσχου. Η εντεριώνη αποτελείται από μικρά παρεγχυματικά κύτταρα. Ο φλοιός αποτελείται από συναρμοσμένες πολυάριθμες ινώδεις αγγειακές δέσμες. Οι ίνες έχουν κατά μέσον όρο 1,3 χιλ. μήκος, 18,8 χιλ. πλάτος και 4,8 χιλ. πάχος. Ολόκληροι οι μίσχοι έχουν 7,7% τέφρα, 14,6% εκχυλισματικές ουσίες, 17,0% λιγνίνη και 53,0% πολυσακχαρίτες, κυρίως κυτταρίνη και ξυλάνες και 18% υγρασία. Η εντεριώνη έχει περισσότερη λιγνίνη (20,3%) από ότι το υπόλοιπο του μίσχου (13,6%). Η κεφαλίδα, το κεφάλι του άνθους είναι ένας ορμαθός ανθών, διαταγμένα με τέτοιο τρόπο που το σύνολο δίνει την εντύπωση ενός μεγάλου άνθους.

Στην κεντρική Ελλάδα, βάση δεδομένων τετραετούς πειράματος, το τελικό ύψος του φυτού έφτασε τα 2,6 μέτρα (AIR Programme, 1993a). Οι μίσχοι (στελέχη) της *C. cardunculus* L. συνήθως φτάνουν το 1,5 με 1,9 m. στο ύψος και τα κλαδιά της βλαστάνουν στο ανώτερο μέρος του μίσχου. Το μεγάλο ριζικό της σύστημα της επιτρέπει να λαμβάνει νερό και θρεπτικά συστατικά από εδαφικά στρώματα σε μεγάλο βάθος. Οι ρίζες μπορούν να φθάσουν σε βάθος περίπου 7 μέτρων και να συναντήσουν υπόγειους υδατικούς ταμιευτήρες (Pascualino, 2006). Επιπλέον, ως χειμερινή καλλιέργεια δεν έχει ανάγκη από υψηλές εισροές νερού, μιας και επιτυγχάνει τις μέγιστες παραγωγές βιομάζας, αξιοποιώντας τις βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα. Λόγω αυτού του γεγονότος και του εκτεταμένου ριζικού συστήματος, προσφέρει προστασία από τη διάβρωση σε επικλινή και οριακά εδάφη (Panoutsou, 2007). Για αυτό το λόγο μπορούν να αξιοποιηθούν λιπάσματα από προηγούμενες καλλιέργειες. Η αποίκιση νέων ενδιαιτημάτων και η ροή γονιδίων μεταξύ πληθυσμών, συμβαίνει κυρίως μέσω της διασπορά των σπόρων από πτηνά και από τον αέρα (Pascualino, 2006).

Η βιομάζα που παράγεται στις διαδοχικές φάσεις του κύκλου ανάπτυξης παρουσιάζει διαφορετικές πιθανές χρήσεις, όπως είναι στα τρόφιμα και ως ζωοτροφή, στην περίπτωση που αποκόπτονται τα πράσινα φύλλα και οι πρωτεΐνες και τα έλαια σπόρου, καθώς και η ενέργεια και ο πολτός όταν γίνεται η συγκομιδή στο τέλος του κύκλου. Μια πρόσφατη εκτίμηση για το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας παραγόμενη από το συγκεκριμένο είδος, παρουσίασε ελπιδοφόρες προοπτικές (Gominho et al., 2001).

Η βιομάζα που παράγεται από τη συγκομιδή είναι πρακτικά ξηρή, με συνέπεια την εξάλειψη ενός από τα μειονεκτήματα της γεωργικής παραγωγής βιομάζας για βιομηχανικές χρήσεις, που δεν είναι άλλο από την περιεχόμενη υγρασία σε υψηλά επίπεδα, η οποία έχει επιπτώσεις στη μεταφορά, την αποθήκευση και τη συντήρηση (Gominho et al., 2001).

Η μεγάλη παραγωγικότητα της *C. cardunculus* L. υπό συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και ξηρασίας, είναι ενδεχομένως ενδιαφέρουσα, όσον αφορά σε περιοχές με τέτοια οικολογική κατάσταση, όπως συμβαίνει στη νότια Ευρώπη (Gominho et al., 2001).

2.6.2 Παραγωγή της *Cynara cardunculus* L.

Η μέση παραγωγή είναι 20 tons:ha (τόνοι ανά εκτάριο, ξηρό βάρος) ετησίως, ενώ μπορεί να επιτευχθεί παραγωγή ξηρού υλικού 30-35 t/ha ετησίως, με αντίστοιχα ποσοστά περίπου 40% για τους μίσχους, 25% για τα φύλλα και 35% για την κεφαλίδα. Οι μίσχοι και τα κλαδιά αντιπροσωπεύουν το 40% της βιομάζας προερχόμενης από τη συγκομιδή (Gominho et al., 2001).

Η καλλιέργεια μεγάλης κλίμακας απαιτεί δύο διαδοχικά στάδια: την περίοδο εμφύτευσης στο πρώτο έτος και την περίοδο παραγωγής στα επόμενα έτη. Η βιομάζα που παράγεται στο πρώτο έτος είναι συνήθως πολύ μικρής ποσότητας, μιας και η περίοδος αυτή αφιερώνεται κυρίως στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Η περίοδος παραγωγής μπορεί εύκολα να διαρκέσει πάνω από 10 έτη, και αυτός είναι και ο κύκλος ζωής της συγκομιδής που εξετάστηκε στην περίπτωση μελέτης των Gominho et al., (2001).

Οι προτεινόμενες καλλιεργητικές εργασίες κατά τους Gominho et al. (2001), ήταν οι ακόλουθες: Κατά την περίοδο σποράς προτείνεται βασική λίπανση με 700 kg/ha (κιλό ανά εκτάριο) σύνθετου λιπάσματος 9:18:27 (N:P:K), άροση, σβάρνισμα, σπορά σε αναλογία 4 kg/ha, εφαρμογή ζιζανιοκτόνων (4 kg/ha Alachlore–Linuron), εργασία δύο καλλιεργητών και εφαρμογή εντομοκτόνου με 1 kg/ha Dimetoate ή παρόμοιου προϊόντος. Το εκτιμώμενο κόστος της καλλιέργειας το πρώτο έτος είναι 350 €/εκτάριο.

Σε κάθε κύκλο παραγωγής για τα επόμενα έτη, ακολουθούν οι εξής εργασίες: Λίπανση με 1350 kg/ha σύνθετου λιπάσματος 20:8:14 (N:P:K), εργασία δύο καλλιεργητών, τρεις εφαρμογές εντομοκτόνου με 1 kg/ha Dimetoate ή παρόμοιου προϊόντος και συγκομιδή (αυτοπροωθούμενος κόπτης-φορτωτής). Το κόστος για τα 9 αυτά έτη εκτιμάται στα 650 €/εκτάριο.

Το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), προκειμένου να μελετήσει την παραγωγή βιομάζας από πολυετείς καλλιέργειες ανέπτυξε τρεις πιλοτικές καλλιέργειες για τρία συναπτά έτη. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η αξιολόγηση της αλυσίδας παραγωγής βιομάζας τριών επιλεγμένων πολυετών καλλιεργειών, υπό συνθήκες νοτίων χωρών της Ε.Ε.. Οι επιλεγμένες καλλιέργειες ήταν το «καρντό» (*Cynara cardunculus*, αγριαγκινάρα), το «switchgrass» (*Panicum virgatum*) και το γιγάντιο καλάμι (*Arundo donax*). Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση της άρδευσης και της αζωτούχας λίπανσης στην αύξηση των φυτών και στα χαρακτηριστικά της παραγωγής για

κάθε μία από τις καλλιέργειες. Οι καλλιέργειες τοποθετήθηκαν στην Κεντρική Ελλάδα, σε μικρά χωράφια έκτασης περίπου 0,2 εκτάρια το καθένα, το έτος 2002. Για κάθε μία από τις καλλιέργειες τηρήθηκε ένας «split-split plot» πειραματικός σχεδιασμός. Το γιγάντιο καλάμι και το «switchgrass» είχαν το ίδιο πειραματικό σχεδιασμό, ο οποίος αποτελείτο από τρεις αρδεύσεις και τρεις λιπάνσεις, ενώ το «καρντό» μελετήθηκε μόνο από την άποψη της επίδρασης της αζωτούχας λίπανσης στην ανάπτυξη και στα χαρακτηριστικά της παραγωγής, επειδή είναι φυτό που τροφοδοτείται από τις βροχές του χειμώνα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραγωγή του «καρντό» είχε πολύ μικρή παραγωγή λόγω των σοβαρών καταστροφών που υπέστη από του παγετούς της δεύτερης περιόδου ανάπτυξης. Η παραγωγή ξηρής βιομάζας είχε ένα εύρος μεταξύ 2,5 και 3,8 t ανά ha/ έτος και στις τρεις περιόδους ανάπτυξης που εξετάστηκαν (Christou et al., 2005).

Κάποιοι μελετητές (Foti 1999, Maccarone 1999) ερεύνησαν το δυναμικό της *C. cardunculus* L. για παραγωγή βιομάζας, παραγωγή σπόρου και τη σύνθεση του σπόρου και του εξαχθέντος ελαίου. Σε ένα 3ετές πείραμα στην Ιταλία, συγκόμισαν περισσότερους από 2 τόνους σπόρο ανά ha/έτος και 30 τόνους ανά ha/έτος ξηρής βιομάζας. Ο σπόρος περιείχε 20,1% πρωτεΐνη, 24,4% έλαιο, 18,5% ίνες και 4,1% τέφρα.

Ο Benjelloun et al. (1997), εξήγαγαν 25% έλαιο σε ξηρή μάζα, μετά από εξαγωγή σε εκχυλιστήρα με εξάνιο από τους σπόρους της *C. cardunculus* L.. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του ελαίου ήταν συγκρίσιμες με αυτές του ηλίανθου. Η σύνθεση του ελαίου ήταν 60,9 λινόλαιο, 23,6 ελαιικό, 12,1% παλμιτικό και 3,4% στεατικό οξύ (Pascualino, 2006).

Ένα πολυετές καλλιεργητικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθεί το δυναμικό της *C. cardunculus* ως ελαιούχα φυτεία, συγκρίνοντας το περιεχόμενο των σπόρων σε έλαιο και τη σύνθεση του λιπαρού οξέως του ελαίου για διαφορετικό πληθυσμό φυτών, διαφορετικά έτη και διαφορετικές τοποθεσίες. Δεκαοχτώ πληθυσμοί του φυτού μελετήθηκαν σε ένα τριετές πείραμα στη Μαδρίτη και ένας σταθερός πληθυσμός αναπτύχθηκε από 1 έως 10 έτη σε διάφορες περιοχές της Ισπανίας και της Ιταλίας. Το περιεχόμενο έλαιο ήταν 20-32% επί ξηρής μάζας, αναλόγως του μεγέθους του σπόρου και του πληθυσμού. Η ηλικία των φυτών και η τοποθεσία δεν είχε καθόλου επίδραση στο περιεχόμενο ελαίου. Η μέση σύνθεση του ελαίου ήταν παρόμοια με αυτή του ηλίανθου (Curt, 2002).

Τα ανωτέρω αποτελέσματα καταδεικνύουν τη πιθανότητα παραγωγής 400 με 650 kg ελαίου, ανά ha/έτος, ως αποτέλεσμα της καλλιέργειας του φυτού σε μεγάλη κλίμακα. Η παραγωγή ελαίου από τη *C. cardunculus* L. σε αυτές τις ποσότητες είναι συγκρίσιμη με την παραγωγή ηλίανθου ή σόγιας (800 kg και 375 kg ανά ha/έτος αντιστοίχως. Μίας και το φυτό προσαρμόζεται πολύ καλά σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από ακραίες ατμοσφαιρικές και θερμοκρασιακές συνθήκες, η καλλιέργεια του θα μπορούσε να επεκταθεί σε μη προνομιούχες εδαφικές και κλιματικές συνθήκες πολλών μεσόγειων λοφωδών περιοχών της Μεσογείου (Pascualino, 2006).

Στην μελέτη τους οι Raccuia και Melilli (2007), ερεύνησαν την παραγωγή βιομάζας και ελαιοσπόρου, 14 γονότυπων της *Cynara cardunculus* L., κατά τη διάρκεια της περιόδου 1998–2001, υπό συνθήκες χαμηλών εισροών, στη Σικελία (Νότια Ιταλία). Από τους 14 γονότυπους οι 5 ήταν αγκινάρες και οι 9 αγριαγκινάρες και εκτός από την παραγωγή τους, εξετάστηκαν και ως προς τη χημική σύνθεση του σπόρου. Για το μέσο όρο των γονοτύπων, η τριετής αθροιστική εναέρια ξηρή βιομάζα ήταν 47,4 τόνοι ανά εκτάριο, το 6,3% της οποίας ήταν σπόρος. Κατά τη διάρκεια των τριών ετών, παρατηρήθηκαν διαφορές στην καλλιέργεια, λόγω των διαφορών στη διαθεσιμότητα του νερού (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα) και της ηλικίας των φυτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, κάποιοι γονότυποι είναι πολλά υποσχόμενοι για παραγωγή βιομάζας, σπόρου και ελαίου. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων στο πεδίο έδειξαν ότι, το συγκεκριμένο φυτό μπορεί να αναπτυχθεί ως ενεργειακή καλλιέργεια στις περιοχές της Μεσογείου και ειδικότερα σε κάποιες ηπειρωτικές λοφώδεις περιοχές της Σικελίας, δίνοντας υψηλές αποδόσεις με ελάχιστες εισροές ενέργειας. Ο γονότυπος της *Cynara cardunculus* L. που ανέπτυξε την υψηλότερη απόδοση, τόσο σε βιομάζα όσο και σε σπόρο και έλαιο, ήταν η «E438». Ο μέσος όρος της παραγωγής σπόρου που συγκομίστηκε το δεύτερο χρόνο, ήταν υψηλότερος από αυτόν που αναφέρθηκε από άλλους ερευνητές (Foti et al., 1999) και έτσι επιβεβαίωσε την υψηλή παραγωγικότητα αυτών των ειδών.

Σύμφωνα με τους Curt et al. (2002) η χρήση των σπόρων της *C. cardunculus* για παραγωγή ελαίου έχει το πλεονέκτημα της αξιοποίησης και της εναέριας βιομάζας για παραγωγή ενέργειας. Στο πλαίσιο των ενεργειακών καλλιεργειών, το έλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή βιοντίζελ. Από την οπτική γωνία ενός γεωπόνου, η επιτυχία αυτής της εφαρμογής στηρίζεται στην παραγωγή σπόρου και στην ανάπτυξη ενός κατάλληλου μηχανήματος θερισμού, το οποίο θα επιτρέπει την επιλεκτική συγκομιδή. Μία άλλη δυνατότητα μπορεί να είναι ο θερισμός όλης της εναέριας βιομάζας και έπειτα, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας της βιομάζας η χρήση ενός

στατικού αλωνιστικού μηχανήματος για το διαχωρισμό των σπόρων από τη βιομάζα λιγνοκυτταρίνης. Με αυτόν τον τρόπο, η καλλιέργεια μπορεί να έχει διπλή εφαρμογή: την παραγωγή βιομάζας λιγνοκυτταρίνης για παραγωγή ενέργειας ή χαρτιού και παραγωγή σπόρων για εξαγωγή ελαίου (Raccuia and Melilli, 2007).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη της Panoutsou (2007), η οποία εξετάζει τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της καλλιέργειας της *Cynara* και του γιγαντιαίου καλαμιού (giant reed) για παραγωγή θερμότητας στη Ροδόπη, στη Βόρεια Ελλάδα. Οι δύο αυτές πολυετείς καλλιέργειες αξιολογούνται ως εναλλακτική χρήση γης και συγκρίνονται με βασικές συμβατικές καλλιέργειες στην Ελλάδα, μέσω τεχνικών, οικονομικών και κοινωνικοοικονομικών εκτιμήσεων και βάσει των τρεχόντων τάσεων ανάπτυξης, ενώ λαμβάνεται υπόψη και το γενικότερο τοπικό και εθνικό πλαίσιο. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε μία πολυδιάστατη προσέγγιση, που εμπλέκει πολλούς επιστημονικούς κλάδους και χρησιμοποιήθηκαν οι αρχές της τεχνικής BIOSEM. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι και η *Cynara* και το γιγάντιο καλάμι μπορούν να είναι οικονομικά εφικτές λύσεις, συγκριτικά με τις συμβατικές καλλιέργειες, στο αγροτικό σύστημα της Ροδόπης, όταν εντάσσονται με προσοχή στις καθιερωμένες δραστηριότητες και τα γεωργικά πρότυπα, σε όρους ανθρώπινου δυναμικού, εξοπλισμού και σωστού χρόνου των διεργασιών. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να παραχθεί διαθέσιμη ποσότητα βιομάζας για τις τοπικές εφαρμογές θερμότητας, και έτσι αυξάνονται τα τοπικά εισοδήματα και δημιουργούνται επιπλέον θέσεις εργασίας.

Η καλλιέργεια της *Cynara cardunculus* L., έχει εξεταστεί και για άλλες εφαρμογές, εκτός από την παραγωγή σπόρου. Μία από αυτές ήταν η καύση της με μορφή πελετών για παραγωγή θερμότητας. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από τους Gonzalez et al. (2004), με σκοπό τη βελτιστοποίηση της καύσης διαφορετικών υλικών σε ένα οικιακό καυστήρα. Τα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πελέτες από τα εξής τρία διαφορετικά υπολείμματα βιομάζας: υπολείμματα ντομάτας, ελαιοπυρήνες και υπολείμματα από καρντό (*Cynara cardunculus* L.) και πελέτες από δασικά υπολείμματα όπως προτείνεται από τον κατασκευαστή του καυστήρα. Σε προηγούμενη μελέτη, τα καύσιμα αυτά ξεχώρισαν, χωρίς αμφιβολία, για την υψηλή θερμογόνο δύναμη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η συμπεριφορά και των τεσσάρων υλικών στον καυστήρα για οικιακή χρήση ήταν αποδεκτή. Πιο συγκεκριμένα, η πελέτα της ντομάτας και ο ελαιοπυρήνας αποτελούν εξαιρετικά υποκατάστατα των δασικών πελετών που προτείνονται από τον κατασκευαστή. Η πελέτα του καρντό είχε το

μειονέκτημα του υψηλού περιεχομένου και του χαμηλού σημείου τήξης της τέφρας, οι οποίες απαιτούσαν συνεχή απομάκρυνση από την εστία καύσης.

Μία ακόμη εφαρμογή στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η βιομάζα της *Cynara cardunculus* L., είναι και η πυρόλυση για παραγωγή ενέργειας. Προκειμένου να προσδιοριστούν τα βασικά χαρακτηριστικά του ξυλάνθρακα που σχηματίζεται από την πυρόλυση, καθώς και η φύση και η ποιότητα των παραγόμενων αερίων οι Encinar et al. (2000), εκπόνησαν πείραμα πυρόλυσης βιομάζας της *Cynara*. Τα υπολείμματα βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πρώτες ύλες για να παραχθεί ενέργεια, χημικά προϊόντα και ενεργός άνθρακας. Μεταξύ των πολλών διαδικασιών που υπάρχουν για την μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμα προϊόντα, οι πιο εμπορικές και πιο κατάλληλες, είναι οι θερμοχημικές μέθοδοι, όπως η πυρόλυση και η αεριοποίηση. Η εμπορική ανάπτυξη αυτών των μεθόδων απαιτεί άφθονη και φθηνή πρώτη ύλη. Μία δυνατότητα είναι η αξιοποίηση αγροτικών υπολειμμάτων από τη βιομηχανική μετατροπή βρώσιμων φυτών. Μία άλλη δυνατότητα είναι η παραγωγή βιομάζας για αυτό το σκοπό, για παράδειγμα η καλλιέργεια μη βρώσιμων φυτών για παραγωγή ενέργειας. Αυτή η επιλογή εξετάστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως λύση για την εγκατάλειψη των παραδοσιακών αγροτικών περιοχών. Μία από αυτές τις καλλιέργειες, που χρησιμοποιείται για να παραγωγή ξυλώδους βιομάζας είναι και η *Cynara cardunculus* L.. Το φυτό μελετάται πειραματικά στην Ισπανία για να καθοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης.

3. Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής & Βιοκαύσιμα

3.1 Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής

Η βιώσιμη ανάπτυξη απαιτεί μεθόδους και εργαλεία για να μετρήσει και να συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων για την απόκτηση αγαθών και υπηρεσιών (και τα δύο νοούνται με τον όρο «προϊόντα»). Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκύπτουν από τις εκπομπές στο περιβάλλον, από την κατανάλωση φυσικών πόρων, από την κατασκευή/παραγωγή των προϊόντων, κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης/χρήσης τους και από το τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων (συλλογή/διαλογή, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, τελική διάθεση αποβλήτων). Αυτές οι εκπομπές και οι καταναλώσεις συμβάλλουν σε ένα μεγάλο εύρος επιπτώσεων, όπως είναι η κλιματική αλλαγή, μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, η δημιουργία τροποσφαιρικού όζοντος (αιθαλομίχλης), ο ευτροφισμός, η οξίνιση, το τοξικό στρες στην ανθρώπινη υγεία και στα οικοσυστήματα, η εξάντληση των φυσικών πόρων, η χρήση νερού, η χρήση γης, ο θόρυβος – μεταξύ άλλων. Επομένως, παρουσιάζεται μία επιτακτική ανάγκη για δραστηριοποίηση και διορατικότητα εκτός από τις τρέχουσες ρυθμιστικές πρακτικές, για να μειωθούν αυτές οι επιπτώσεις. Επαγγελματίες και ερευνητές, από πολλούς τομείς, ενώνονται στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής (ΑΚΖ), για να υπολογίσουν τους δείκτες των προαναφερθέντων πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που συνδέονται με τα προϊόντα – υποστηρίζοντας τον εντοπισμό ευκαιριών για πρόληψη της ρύπανσης και μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων, λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος (Rebitzer et al., 2004).

Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής είναι ένα σύνολο συστηματικών διεργασιών με σκοπό τη συλλογή και εξέταση των στοιχείων εισόδου και εξόδου των ενεργειακών ισοζυγίων και ισοζυγίων μάζας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά και προσδιορίζονται απευθείας μέσω της λειτουργίας του προϊόντος ή του συστήματος εξυπηρέτησης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Πρόκειται δηλαδή για ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που σκοπό έχει να αποτιμήσει τις επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον, και να εκτιμήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας.

Το πολύ ισχυρό αυτό εργαλείο μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών νόμων, να βοηθήσει τους κατασκευαστές να αναλύσουν τις διεργασίες τους και να βελτιώσουν τα προϊόντα τους, καθώς επίσης και να διευκολύνει τους καταναλωτές παρέχοντάς τους τις πληροφορίες που χρειάζονται, όταν πρόκειται να επιλέξουν μεταξύ διαφορετικών προϊόντων (Μουσιόπουλος, 1999).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ΑΚΖ είναι ακόμη νέα και εξελισσόμενη εφαρμογή, με τις ρίζες της στην έρευνα που σχετίστηκε με τις ενεργειακές απαιτήσεις τη δεκαετία του 1960 και την πρόληψη ρύπανσης. Επισήμως εισήχθηκε τη δεκαετία του 1970. Η περιβαλλοντική διαχείριση, γενικότερα, είναι επίσης ένας νέος επιστημονικός κλάδος, από πολιτική σκοπιά, με ιδρύματα/φορείς όπως η USEPA, που δημιουργήθηκε μόνο 30 χρόνια πριν. Μπορούν να υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις, αναλόγως του συγκεκριμένου ερωτήματος που τίθεται και τελικά αναλόγως της απόφασης που πρέπει να υποστηριχθεί από μία μελέτη ΑΚΖ (Rebitzer et al., 2004).

Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) ως εργαλείο αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια. Στην Ευρώπη η ανάπτυξη της συνδυάστηκε με την εξάπλωση της οικολογικής σήμανσης (Κανονισμός ΕΟΚ 880/92). Η θέσπιση κριτηρίων για την απονομή οικολογικού σήματος σε ένα προϊόν, προϋποθέτει τη διενέργεια Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής του προϊόντος. Σε διεθνές επίπεδο αναμένεται ακόμη μεγαλύτερη εξάπλωση της ΑΚΖ μέσω της ένταξής της στη σειρά προτύπων ISO 14000. Το ISO 14040 είναι το πρότυπο που αναφέρεται στην ΑΚΖ ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και αναπτύσσεται ιδιαίτερα τον τελευταίο καιρό σε παγκόσμια κλίμακα (Μουσιόπουλος, 1999).

3.1.1 Ιστορική διαδρομή

Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής ως έννοια υπάρχει εδώ και 35 χρόνια. Στις τελευταίες δύο δεκαετίες ο κόσμος άρχισε να συνειδητοποιεί ότι η κατανάλωση πρώτων υλών, όσο και οι διαδικασίες μετατροπής τους, έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα αποθέματα ενέργειας και στο περιβάλλον που απειλείται να καταστραφεί από την αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων.

1960 - 1970

Κατά τη δεκαετία του '60 αρχίζει να απασχολεί τους ειδικούς το "πεπερασμένο" των ενεργειακών αποθεμάτων καθώς και των αποθεμάτων πρώτων (ακατέργαστων) υλών. Η πρώτη Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής πραγματοποιήθηκε από την Coca Cola το 1969. Η εν λόγω εταιρεία ανέθεσε στο Midwest Research Institute τη διεξαγωγή έρευνας σχετικής με την τυποποίηση των προϊόντων της.

Η έρευνα θα αναζητούσε νέα υλικά εμφιάλωσης με λιγότερες ενεργειακές απώλειες και περιβαλλοντικές επιπτώσεις και θα αξιολογούσε τα ήδη χρησιμοποιούμενα υλικά. Αυτή η μέθοδος έγινε γνωστή ως REPA (Resource and Environmental Profile Analysis).

1970 - 1980

Κατά τη δεκαετία του '70 και άλλες εταιρείες στις ΗΠΑ πραγματοποίησαν παρόμοιες και προς την ίδια κατεύθυνση έρευνες. Οι ανάλογες έρευνες στη Γηραιά Ήπειρο έγιναν γνωστές ως έρευνες οικολογικού ισοζυγίου (Ecobalances). Όσο κλιμακώνονταν η πετρελαϊκή κρίση το ενδιαφέρον για ΑΚΖ μεγάλωνε. Από τις αρχές της δεκαετίας του '80, το ενδιαφέρον της Αμερικής για ΑΚΖ έφθινε σταδιακά, λόγω της εξασθένησης της επίδρασης που ασκούσε η ενεργειακή κρίση. Από την άλλη στην Ευρώπη το ενδιαφέρον αυξανόταν: σύντομα μετά την ίδρυσή της, η Περιβαλλοντική Διεύθυνση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας έθεσε το έτος 1985 ως θέμα έρευνας τη συσκευασία των υγρών τροφίμων. Το αποτέλεσμα ήταν να ανατεθεί σε μέλη εταιρειών η επιμέλεια της ενέργειας και της κατανάλωσης ακατέργαστων υλών, όπως και η έρευνα παραγωγής προβληματικών συσκευασιών τροφίμων. Αυτό τελικά ενθάρρυνε τη χρήση του οικολογικού ισοζυγίου στην Ευρώπη.

1980 - 1990

Στα τέλη της δεκαετίας του '80 και όσο η παραγωγή και διάθεση επιζήμιων, για το περιβάλλον, συσκευασιών αναγνωριζόταν ολοένα και περισσότερο ως θέμα μείζονος σημασίας, η ΑΚΖ ανέκλυε πάλι ως μέθοδος για την ανάλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων στην Αμερική και την Ευρώπη. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι την ίδια περίοδο η ανακύκλωση των συσκευασιών άρχισε να κερδίζει έδαφος.

1990 - 1995

Το 1990, μία ΑΚΖ που διεξήχθη από τον Arthur D. Little, αναφορικά στις βρεφικές πάνες και χρηματοδοτήθηκε από την Procter & Gamble, αποτέλεσε ορόσημο στις σχετικές μελέτες. Η έρευνα έδειξε, ότι οι πάνες μιας χρήσεως δεν ήταν τελικά τόσο επιβλαβείς για το περιβάλλον, συγκριτικά με τις επαναχρησιμοποιούμενες υφασμάτινες. Μέχρι εκείνη τη στιγμή το κοινό διατηρούσε την αντίληψη ότι οι πάνες μιας χρήσης γέμιζαν τις χωματερές της χώρας. Από τότε και μετά η

εκδήλωση ενδιαφέροντος για την AKZ από βιομηχανίες, κυβερνήσεις και ακαδημαϊκά ιδρύματα σε διεθνές επίπεδο αυξάνει συνεχώς.

1995 - Σήμερα

Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα τόσο σε ποσοτικές αναλύσεις κύκλου ζωής, όσο και στο σχεδιασμό και τη στρατηγική λήψης αποφάσεων. Η ανάπτυξή της στην Ελλάδα είναι εξαιρετικά περιορισμένη προς το παρόν. Εφαρμόζεται μόνο από πολυεθνικές εταιρείες που έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν αυτούσια την τεχνογνωσία που απαιτείται για την εκπόνηση μιας μελέτης AKZ από τις μητρικές τους εταιρείες (Μουσιόπουλος, 1999).

3.1.2 Η δομή και τα στοιχεία της AKZ

Κατά την AKZ υπολογίζονται οι εκπομπές και η κατανάλωση φυσικών πόρων, καθώς επίσης και άλλες περιβαλλοντικές ανταλλαγές σε κάθε σχετικό στάδιο (φάση) στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, «από την κούνια έως τον τάφο». Συμπεριλαμβάνονται η εξαγωγή πρώτων υλών, η απόκτηση ενέργειας, η κατασκευή, η συσκευασία / τυποποίηση, η μεταφορά / διανομή, η χρήση / επαναχρησιμοποίηση / συντήρηση, η ανακύκλωση / ανάκτηση αποβλήτων και η τελική διάθεση/απόρριψη (Μουσιόπουλος, 1999). Έμμεσες αλλαγές σε άλλα συστήματα (κύκλοι ζωής άλλων προϊόντων) μπορούν επίσης να ερμηνευθούν. Ολόκληρος ο κύκλος ζωής μαζί με το σύνολο των υλικών που εμπλέκονται και των ροών ενέργειας, καλείται **σύστημα προϊόντος** (Rebitzer et al., 2004).

Μετά από την συλλογή, την ταξινόμηση και την αρχική ανάλυση όλων των περιβαλλοντικών ανταλλαγών (εκπομπών, κατανάλωση πόρων κ.λπ.), δηλαδή την απογραφή δεδομένων (LCI), συχνά πρέπει να υπολογιστούν, καθώς επίσης και να ερμηνευθούν, δείκτες των πιθανών επιπτώσεων που σχετίζονται με τέτοιες ανταλλαγές με το φυσικό περιβάλλον (αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, Life Cycle Impact Assessment, LCIA).

3.1.3 Ορισμός AKZ

Η SETAC (Society of Environmental Toxicology and Applied Chemistry) στον «Κώδικα Πρακτικής» (Code of practice) όρισε τέσσερα βασικά στάδια στην AKZ:

1. Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης

2. Απογραφή δεδομένων
3. Εκτίμηση επιπτώσεων
4. Εκτίμηση βελτιώσεων

«Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής είναι μία τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα, προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας: εξαγωγή και επεξεργασία πρώτων υλών, κατασκευή, μεταφορά και διανομή, χρήση, επαναχρησιμοποίηση, συντήρηση, ανακύκλωση και τελική απόρριψη.» (Μουσιόπουλος, 1999).

Οι διαφοροποιήσεις στη εφαρμοζόμενες μελέτες AKZ σε ότι αφορά στη μεθοδολογία και στην εφαρμογή τους, οδήγησαν στην ανάγκη ανάπτυξης ενός συναινετικού πλαισίου για την AKZ, η οποία ικανοποιήθηκε μέσω των διεθνών προτύπων της σειράς ISO 14000 τα οποία είναι γενικώς αποδεκτά από την επιστημονική κοινότητα. International Standard ISO 14040 (1997) σχετικά με τις αρχές και το πλαίσιο εργασίας.

- International Standard ISO 14041 (1998) σχετικά με τον ορισμό του σκοπού και του αντικειμένου και την απογραφή δεδομένων.
- International Standard ISO 14042 (2000) σχετικά με την εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.
- International Standard ISO 14043 (2000) σχετικά με την ερμηνεία του κύκλου ζωής

Επίσης εξελίξεις έχουν υπάρξει στην προτυποποίηση της εφαρμογής των μεθόδων που βασίζονται στην AKZ για λόγους σχεδιασμού (International Standard/TR ISO TR 14062, 2000). Στο πρότυπο ISO 14040 (1997) η εκτίμηση βελτιώσεων δεν θεωρείται πλέον φάση, αλλά επιρροή σε όλη την

μεθοδολογία της AKZ. Επιπλέον, εισήχθη η ερμηνεία του κύκλου ζωής. Αυτή είναι φάση, που αλληλεπιδρά με όλες τις άλλες φάσεις στη διαδικασία της AKZ, (Rebitzer et al., 2004).

3.1.3.1 Ο σκοπός και το αντικείμενο της AKZ

Ο σκοπός και το αντικείμενο μιας AKZ παρέχει μία περιγραφή του συστήματος του προϊόντος με τους όρους «όρια συστήματος» και «λειτουργική μονάδα». Η λειτουργική μονάδα είναι η σημαντική βάση που επιτρέπει σε διάφορα αγαθά ή υπηρεσίες να συγκριθούν και να αναλυθούν, (Rebitzer et al., 2004). Η λειτουργική μονάδα δεν είναι συνήθως μόνο μία ποσότητα ή ένα υλικό. Αποτελεί ένα θεμελιώδες βήμα για την αποφυγή ασαφειών κατά τη διατύπωση του σκοπού και για να ξεκαθαριστεί η βάση του αντικειμένου. Είναι ένα μέτρο απόδοσης του συστήματος. Θα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Παραδείγματα λειτουργικών μονάδων είναι «μονάδα επιφάνειας μιας περιοχής που καλύπτεται με μπογιά σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα», «η συσκευασία που χρησιμοποιείται για τη διάθεση μιας δεδομένης ποσότητας αναψυκτικού» ή «η ποσότητα καθαριστικών που απαιτούνται για την καθαριότητα ενός νοικοκυριού». Σε συγκριτικές μελέτες, είναι απαραίτητο τα συστήματα να συγκρίνονται με βάση ισοδύναμες μονάδες (Μουσιόπουλος, 1999).

Όταν ξεκινά μια Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής, είναι απαραίτητο να οριστεί με σαφήνεια **ο σκοπός της μελέτης**. Θα πρέπει να περιλαμβάνει μια ξεκάθαρη δήλωση της αιτίας εκπόνησης της AKZ, και της επιδιωκόμενης χρήσης των αποτελεσμάτων. Ο σκοπός θα πρέπει να προσδιοριστεί βάσει του ποια απόφαση θα στηριχθεί στα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης, και ποιες πληροφορίες απαιτούνται, σε ποιο βαθμό ανάλυσης και για ποια χρήση. Μια βασική θεώρηση είναι το αν τα αποτελέσματα της AKZ θα χρησιμοποιηθούν για εσωτερικές εφαρμογές σε μια εταιρεία για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του συστήματος, ή αν τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν εξωτερικά, για παράδειγμα, για να επηρεάσουν το δημόσιο συμφέρον (Μουσιόπουλος, 1999).

Το αντικείμενο μιας μελέτης καθορίζει το σύστημα, τα όρια, τις απαιτήσεις δεδομένων, τις υποθέσεις και τους περιορισμούς. Πρέπει να καθορίζεται με λεπτομέρεια ώστε να εξασφαλίζει ότι το εύρος και το βάθος της ανάλυσης είναι συμβατά και επαρκή, απευθυνόμενα στον ήδη διατυπωμένο σκοπό. Όλα τα όρια, η εκάστοτε μεθοδολογία, οι κατηγορίες δεδομένων και οι υποθέσεις θα πρέπει να διατυπώνονται ξεκάθαρα και με σαφήνεια, συμπεριλαμβανομένης σε αυτά

της γεωγραφικής έκτασης (τοπική, εθνική, περιφερειακή, ηπειρωτική και παγκόσμια) και του χρόνου (διάρκεια ζωής προϊόντος, χρονικός ορίζοντας κατεργασίας και επιδράσεων). Είναι επίσης απαραίτητο να συμπεριληφθεί μια εκτίμηση της μεταβλητότητας των δεδομένων, εκτός της μέσης τιμής (Μουσιόπουλος, 1999).

3.1.3.2 Απογραφή δεδομένων

Καθορισμός και οριοθέτηση του συστήματος

Κατά το στάδιο της απογραφής δεδομένων, κάθε προϊόν παρουσιάζεται ως ένα σύστημα. Ως σύστημα ορίζεται ένα σύνολο από διεργασίες που συνδέονται υλικά ή ενεργειακά (π.χ. διαδικασία κατασκευής, διαδικασία μεταφοράς, ή διαδικασία εξόρυξης καυσίμων) το οποίο πραγματοποιεί κάποια καθορισμένη λειτουργία. Το σύστημα διαχωρίζεται από αυτά που το περιβάλλουν μέσω κάποιων ορίων. Ολόκληρη η περιοχή έξω από τα όρια είναι οι γνωστή ως «το περιβάλλον του συστήματος», (Μουσιόπουλος, 1999).

Κάθε σύστημα μπορεί να παρουσιαστεί σαν ένα κουτί, όπου το σύνολο των διεργασιών περικλείεται μέσα σε αυτό. Το περίγραμμα του κουτιού επισημαίνει τα όρια του συστήματος και διαχωρίζει το σύστημα από τον περιβάλλοντα χώρο του.

Το περιβάλλον του συστήματος είναι η πηγή όλων των ροών που εισέρχονται στο σύστημα και η καταβόθρα όλων των ροών που εξέρχονται από αυτό. Η απογραφή δεδομένων είναι μια ποσοτική περιγραφή όλης της ροής μάζας και ενέργειας διά μέσου των ορίων του συστήματος .

Το σύστημα θα πρέπει να καθορίζεται, όχι μόνο με βάση τη λειτουργία του, αλλά και αναφορικά με άλλους σχετικούς παράγοντες όπως οι πηγές εισερχομένων, τυχόν ιδιαίτερες παρεκβάσεις της πορείας της εσωτερικής διαδικασίας, γεωγραφικές θεωρήσεις και χρονικά όρια. Οι πηγές δεδομένων για τον υπολογισμό της απογραφής πρέπει να συμφωνούν με αυτούς τους παράγοντες.

Για να συλλεχθούν τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα ενός συστήματος, το σύστημα πρέπει να διασπαστεί σε μια αλληλουχία διεργασιών ή υποσυστημάτων. Καθένα από αυτά έχει ως είσοδο την έξοδο μιας διεργασίας που προηγείται, ενώ η έξοδος του υποσυστήματος λογίζεται ως είσοδος για την επόμενη διεργασία που ακολουθεί. Ο βαθμός της υποδιαίρεσης του συνολικού συστήματος σε

επιμέρους διεργασίες καθορίζεται συχνά από τη διαθεσιμότητα δεδομένων και τις απαιτήσεις που τίθενται κατά τον προσδιορισμό του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης AKZ.

Είναι σημαντικό να προσδιορίζονται με σαφήνεια τα βοηθητικά δεδομένα εισόδου για το υπό μελέτη σύστημα. Οι παραδοχές που έχουν γίνει επί του προκειμένου θα πρέπει να είναι ξεκάθαρα διατυπωμένες στην τελική έκθεση της μελέτης AKZ. Τα βοηθητικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί θα πρέπει να εισέρχονται στο σύστημα εξαρχής και να λογίζονται ως είσοδοι του πρώτου υποσυστήματος (π.χ. της εξόρυξης των α' υλών από το έδαφος). Στις συνολικές εξερχόμενης ροές (από όλα τα υποσυστήματα) θα πρέπει να συνεκτιμώνται αυτές της απόρριψης στο περιβάλλον (π.χ. η ταφή ή η αποτέφρωση θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο σύστημα). Όλες οι διαδικασίες μεταφοράς θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνονται στο σύστημα.

Διαγράμματα ροής διεργασίας

Ο καλύτερος τρόπος παρουσίασης των στοιχείων που απαρτίζουν ένα σύστημα είναι η ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής που να παριστάνει τον τρόπο διασύνδεσης των υποσυστημάτων. Για τα περισσότερα βιομηχανικά συστήματα, ένα διάγραμμα ροής αποτελείται από τρεις βασικές ομάδες διεργασιών: τη σειρά της βασικής παραγωγής, την παραγωγή βοηθητικών υλών και τις βιομηχανίες παραγωγής καυσίμου. Η σειρά βασικής παραγωγής συχνά είναι η ευκολότερη να προσδιοριστεί. Παρ' όλα αυτά, η αξιολόγηση ακόμη και απλών συστημάτων απαιτεί δεδομένα από μία μεγάλη ποικιλία βιομηχανιών, κάποιες από τις οποίες αποκλίνουν από τη σειρά βασικής παραγωγής. Ένα απλό διάγραμμα ροής δείχνει όλα τα κύρια στοιχεία κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος. Αυτό βοηθάει στην αναγνώριση των ορίων του συστήματος.

Κατά το στάδιο της απογραφής δεδομένων θα πρέπει να προσδιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υπό εξέταση συστήματος. Η περιβαλλοντική επίπτωση ενός προϊόντος μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους αλλά γενικά καταλήγει στον υπολογισμό της επίπτωσης του προϊόντος εξετάζοντας στις εξόδους, τις επιπτώσεις ή καταστροφές που προκαλούνται σε μια ή περισσότερες φάσεις του κύκλου ζωής.

Κάνοντας μια εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του προϊόντος, οι σχεδιαστές ή οι κατασκευαστές μπορούν να δουν ποια φάση του προϊόντος έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση. Έχοντας

αυτή την πληροφορία είναι δυνατόν να εντοπιστούν τα πιο σημαντικά προβλήματα και σε ποιο στάδιο της ζωής του προϊόντος συμβαίνουν.

3.1.3.3 Εκτίμηση επιπτώσεων

Η εκτίμηση επιπτώσεων στην ΑΚΖ είναι μια ποσοτική η / και ποιοτική διεργασία που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει και να εκτιμήσει τις αρνητικές συνέπειες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προσδιορίζονται κατά τη φάση της απογραφής. Η εκτίμηση επιπτώσεων είναι υπό ανάπτυξη και δεν υπάρχουν κοινά αποδεκτές μεθοδολογίες.

Η εκτίμηση επιπτώσεων αποτελείται από τα ακόλουθα τρία βήματα: ταξινόμηση, χαρακτηρισμός και αξιολόγηση.

Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση είναι το βήμα, κατά το οποίο οι πληροφορίες από την απογραφή δεδομένων συναρτώνται με τις διάφορες δυνατές κατηγορίες επιπτώσεων. Αυτό γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε κάτι που εισέρχεται να μπορεί να συμπεριληφθεί σε περισσότερες από μία κατηγορίες (π.χ. η παραγωγή ενέργειας δημιουργεί ταυτόχρονα εξάντληση των αποθεμάτων και εκπομπές στον αέρα).

Οι επιπτώσεις έχει καθιερωθεί να ταξινομούνται σε τρία «γενικά πεδία προστασίας»: της εξάντλησης των φυσικών πόρων, της ανθρώπινης υγείας και της υγείας του οικοσυστήματος. Προσδιορίζοντας τις ειδικές κατηγορίες επιπτώσεων, θα πρέπει να επικεντρωθεί η προσοχή στις περιβαλλοντικές διεργασίες που συνδέονται με αυτές, ώστε η εκτίμηση των επιπτώσεων να βασίζεται όσο το δυνατόν σε επιστημονική γνώση γύρω από αυτές τις διεργασίες.

Εξετάζοντας τις επιπτώσεις από την εξάντληση των φυσικών πόρων, οι φυσικοί πόροι μπορούν να αναλυθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- μη ανανεώσιμοι, δηλαδή φυσικοί πόροι που μόνο ένα περιορισμένο απόθεμα τους είναι διαθέσιμο,
- ανανεώσιμοι, δηλαδή ροές φυσικών πόρων όπως ο αέρας και

- βιοτικοί, δηλαδή πόροι που συνδέονται με τη χλωρίδα και την πανίδα, όπως γεωργικοί και δασικοί πόροι.

Εξετάζοντας τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία θίγονται θέματα ασφαλείας (π.χ. από ατυχήματα, εκρήξεις, πυρκαγιές) υπό τον όρο «οξείες επιπτώσεις» και ασθενειών (π.χ. καρκίνος) υπό τον όρο «μακροπρόθεσμες επιπτώσεις».

Στα πλαίσια της υγείας του οικοσυστήματος εξετάζονται οι επιπτώσεις στις υποκατηγορίες της δομής, της λειτουργίας και τις βιοδιασπαστικής ικανότητας με την ακόλουθη ανάλυση:

Δομή:

- πληθυσμός, κοινότητα και οικοσύστημα
- επίπεδα διατροφής
- φυσικό περιβάλλον

Λειτουργία:

- παραγωγικότητα
- διεργασία (π.χ. κύκλοι άνθρακα, θείου, αζώτου)

Βιοδιασπαστική ικανότητα

- καταστροφή φυσικού περιβάλλοντος
- είδη σπάνια και υπό εξαφάνιση

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης μπορούν να δοθούν σε μορφή πίνακα στον οποίο να φαίνεται η σχέση ειδικών κατηγοριών επιπτώσεων με τα γενικά πεδία προστασίας. Να σημειωθεί ότι, για μια ειδική κατηγορία επιπτώσεων, μπορεί να υπάρχουν άμεσες και έμμεσες συνέπειες.

Πίνακας 3.1: Ενδεικτικός πίνακας ταξινόμησης των επιπτώσεων, Πηγή: Μουσιόπουλος, (1999)

Παραδείγματα ειδικών κατηγοριών επιπτώσεων	Φυσικοί πόροι	Ανθρώπινη υγεία	Υγεία οικοσυστήματος
Εξάντληση φυσικών πόρων			
εξάντληση μη βιοτικών πόρων	+	(+)	(+)
εξάντληση βιοτικών πόρων	+	+	+
Μόλυνση			
Καταστροφή όζοντος		(+)	+
Φαινόμενο θερμοκηπίου		(+)	
Ανθρώπινη δηλητηρίαση			
Οικολογική δηλητηρίαση		+	+
Δημιουργία φωτοχημικού νέφους			
Οξίνιση		(+)	
Ευτροφισμός		+	
Υποβάθμιση τοπίου			
Χρήση εδάφους		+	

+ άμεση επίπτωση

(+) έμμεση επίπτωση

Χαρακτηρισμός

Ο χαρακτηρισμός είναι το βήμα κατά το οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση / ποσοτικοποίηση, και όπου είναι δυνατόν, το άθροισμα των επιπτώσεων που ανήκουν στις κατηγορίες επιπτώσεων που ορίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Το βήμα αυτό θα πρέπει να στηρίζεται σε επιστημονική γνώση των περιβαλλοντικών διεργασιών.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις του χαρακτηρισμού. Μια μέθοδος είναι να συσχετιστούν οι πληροφορίες από τον πίνακα της απογραφής δεδομένων κατά ένα γενικό τρόπο με υπάρχοντα περιβαλλοντικά όρια, για παράδειγμα, με τις No – Observable – Effect Concentrations (NOECs). Από την άλλη, υπάρχουν προσεγγίσεις που προσπαθούν να μοντελοποιήσουν (σε γενικές γραμμές) την έκθεση και τις επιδράσεις και να παρουσιάσουν αυτά τα μοντέλα σε συγκεκριμένη θέση. Πρόσφατα δόθηκε πολλή προσοχή στην ανάπτυξη και χρήση ισοδύναμων όρων για τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων, όπως την ενδεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη

(Global Warming Potential: GWP) και την ενδεχόμενη καταστροφή του όζοντος (Ozone Depletion Potential: ODP). Σε αυτές τις προσεγγίσεις δεν γίνεται καμία απ' ευθείας μέτρηση του φαινομένου.

Μία περαιτέρω ανάπτυξη της φάσης του χαρακτηρισμού είναι η κανονικοποίηση του συνόλου των δεδομένων ανά κατηγορία επιπτώσεων σε σχέση με το πραγματικό μέγεθος των επιπτώσεων που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία σε κάποια δεδομένη περιοχή. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να διευκολυνθεί η συγκρισιμότητα των δεδομένων πάνω στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων, ώστε να αποτελέσει μια βάση για το επόμενο βήμα.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το στάδιο του χαρακτηρισμού μπορούν να αναφέρονται ως το «προφίλ επιπτώσεων», αποτελούμενο από ένα πλήθος από μετρήσεις και περιγραφές επιπτώσεων. Συχνά μπορεί να χρειάζονται πληροφορίες για τύπους επιπτώσεων που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Οποιαδήποτε προσέγγιση κι αν χρησιμοποιηθεί για αυτό το μέρος της ΑΚΖ, είναι απαραίτητο να αναλύεται πλήρως μέσα στην αναφορά της μελέτης η βάση που στηρίχθηκαν τα συμπεράσματα της Εκτίμησης Επιπτώσεων.

Αξιολόγηση

Η αξιολόγηση είναι το στάδιο κατά το οποίο οι συνεισφορές των διαφόρων ειδικών κατηγοριών των επιπτώσεων σταθμίζονται κατάλληλα ώστε να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Αυτό που επιδιώκεται σε αυτή τη φάση είναι να φτάσουμε σε μια περαιτέρω ερμηνεία και πρόσθεση των δεδομένων της εκτίμησης επιπτώσεων.

Αν, για παράδειγμα, συγκρίνονται δύο η περισσότερα εναλλακτικά συστήματα, και αν επιδιώκεται ένα ξεκάθαρο αποτέλεσμα, οι διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων θα πρέπει, γενικά, με κάποιο τρόπο να αξιολογηθούν. Δεν μπορεί να πει κάποιος ποιο σύστημα έχει τις λιγότερο βλαβερές επιπτώσεις στο περιβάλλον εάν ένα σύστημα συνεισφέρει λιγότερο στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, ενώ κάποιο άλλο θέτει σε μικρότερο κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία από τοξικές εκπομπές (είτε στο χώρο εργασίας είτε έξω στην ύπαιθρο), εκτός εάν μπορεί να ιεραρχηθεί η σημασία των κατηγοριών επιπτώσεων.

Η ιεράρχηση των κατηγοριών επιπτώσεων συγκρίνοντας τις μεταξύ τους είναι μια διαδικασία συσχέτισης αξιών, που βασίζεται σε μια αποτίμηση του πόσο βλάπτουν το περιβάλλον. Αυτή η αποτίμηση οπωσδήποτε θα εκφράζει κοινωνικές αξίες και προτιμήσεις.

Ένα πλήθος από εργαλεία που συχνά αναφέρονται ως θεωρητικές τεχνικές λήψης αποφάσεων (decision-theory techniques), έχουν τη δυνατότητα να καταστήσουν την αξιολόγηση μια πιο σαφή και ορθολογιστική διεργασία. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούν κρίσεις ειδικών αλλά και εισαγωγές πληροφοριών από ενδιαφερόμενες ομάδες ή και άτομα που έχουν προσβληθεί. Μπορεί να γίνει εδώ ένας διαχωρισμός μεταξύ ποσοτικών και ποιοτικών διεργασιών. Σε μια ποσοτική διεργασία (π.χ. πολυκριτηριακή ανάλυση), συγκεκριμένοι συντελεστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αθροίσουν τις επιπτώσεις. Σε μια ποιοτική διαδικασία, οι συντελεστές παραμένουν ενδεχόμενοι- τα επιχειρήματα που οδηγούν στη λήψη μιας απόφασης για κάποια περιβαλλοντική αντιμετώπιση θα πρέπει κατόπιν να δηλωθούν.

Αν και έχει αναγνωριστεί ότι καμία εφαρμογή της ΑΚΖ δεν απαιτεί τη χρήση των θεωρητικών τεχνικών λήψης αποφάσεων, τα εργαλεία δείχνουν να υπόσχονται πολλά κατά την εφαρμογή τους σε αυτό το πεδίο. Απαιτείται βέβαια περαιτέρω έρευνα (Μουσιόπουλος, 1999).

Η απογραφή δεδομένων (LCI) είναι μία μεθοδολογία για τον υπολογισμό της κατανάλωσης φυσικών πόρων και των ποσοτήτων αποβλήτων και εκπομπών που προκύπτουν ή αποδίδονται στον κύκλο ζωής του προϊόντος.

Για να αναπαρασταθούν το σύστημα προϊόντος και οι συνολικές εισροές και εκροές από και προς το φυσικό περιβάλλον, αντίστοιχα, μοντελοποιούνται οι διαδικασίες στον κύκλο ζωής και τα σχετικά υλικά μαζί με τις ροές ενέργειας, καθώς επίσης και άλλες ανταλλαγές. Αυτό οδηγεί σε ένα μοντέλο του συστήματος και σε μία απογραφή των περιβαλλοντικών ανταλλαγών που σχετίζονται με τη λειτουργική μονάδα.

Μοντελοποίηση του συστήματος προϊόντος

Η απογραφή δεδομένων (LCI) μπορεί να περιγραφεί σαν το μοντέλο ενός συστήματος προϊόντος ή περισσότερων συστημάτων. Κάθε σύστημα εκπληρώνει μια λειτουργία που ποσοτικοποιείται με τη μορφή λειτουργικών μονάδων. Ο σκοπός της LCI είναι να υπολογίσει τις ποσότητες που απαιτούνται από τους διάφορους πόρους, καθώς και τις εκπομπές και τα λοιπά απόβλητα που παράγονται ανά λειτουργική μονάδα.

Το μοντέλο του συστήματος προϊόντος είναι, τυπικά, ένα στατικό μοντέλο προσομοίωσης. Αποτελείται από διεργασίες – μονάδες, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε μία ή περισσότερες

δραστηριότητες, όπως π.χ. η παραγωγή και η μεταφορά. Για κάθε διεργασία – μονάδα καταγράφονται τα δεδομένα εισόδου για τους φυσικούς πόρους, οι εκπομπές, οι ροές αποβλήτων και άλλα. Οι περιβαλλοντικές ανταλλαγές θεωρείται ότι σχετίζονται γραμμικά με κάποιες από τις ροές προϊόντων της διεργασίας. Όλες οι τελευταίες συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενδιάμεσων ροών προϊόντων, κάτι που γραμμικοποιεί το σύστημα διεργασιών σε σχέση με την ποσότητα ή τη λειτουργία που προσφέρει. Στη σύγκριση προϊόντων, η λειτουργική μονάδα μεταφράζεται σε ροές αναφοράς που αποτελούν συγκεκριμένες ροές προϊόντων για κάθε ένα από τα συγκρινόμενα συστήματα που απαιτούνται για την παραγωγή μιας λειτουργικής μονάδας. Η ροή αναφοράς αυτή γίνεται τότε σημείο από όπου ξεκινάει το χτίσιμο των απαραίτητων μοντέλων των συστημάτων προϊόντων.

Οι επιλογές και οι παραδοχές που γίνονται κατά τη μοντελοποίηση, ιδίως όσον αφορά στα όρια του συστήματος και στο ποιες διεργασίες να περιληφθούν εντός αυτών, είναι συχνά καθοριστικές για το αποτέλεσμα μιας ΑΚΖ. Η φάση αυτή αποκτά συνεχώς μεγαλύτερη σημασία, από τότε που «ο καθορισμός στόχου και σκοπού» αναγνωρίστηκε ως ξεχωριστή φάση (Heijungs et al., 1992). Ωστόσο, δεν είναι ξεκάθαρο το πώς ο σκοπός και ο στόχος μιας ΑΚΖ μπορούν να επηρεάσουν τη μοντελοποίηση του συστήματος.

Οι Heintz and Baisnee και Weidema προτείνουν ότι υπάρχουν δύο αρκετά διακριτές κατηγορίες στόχων ΑΚΖ:

- Η περιγραφή ενός συστήματος προϊόντος και των ανταλλαγών του με το περιβάλλον ή
- Η περιγραφή του τρόπου με τον οποίο οι ανταλλαγές του συστήματος με το περιβάλλον αναμένεται να αλλάξουν ως αποτέλεσμα των ενεργειών που θα ληφθούν μέσα στο σύστημα.

Πρόσφατα, παρόμοιοι διαχωρισμοί ανάμεσα σε τύπους ΑΚΖ, με μικρές παραλλαγές και συχνά με διαφορετική ορολογία, έχουν παρουσιαστεί από διάφορους συγγραφείς. Εδώ χρησιμοποιούμε τον όρο «attributional ΑΚΖ» για την πρώτη περίπτωση και «consequential ΑΚΖ» για τη δεύτερη. Η διάκριση μεταξύ αυτών των δύο τύπων ΑΚΖ έχει σημαντικές συνέπειες στον τρόπο που θα πρέπει να μοντελοποιηθεί το σύστημα. Συνεπώς, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη σχέση μεταξύ του στόχου (goal) της συγκεκριμένης ΑΚΖ και της επιλογής του τύπου του μοντέλου.

Καθορισμός λειτουργικής μονάδας

Η λειτουργική μονάδα είναι μια ποσοτική έκφραση της επίδοσης της υπηρεσίας (εκπλήρωση αναγκών) του εξεταζόμενου συστήματος προϊόντος. Για παράδειγμα, για ένα ψυγείο, η λειτουργική μονάδα μπορεί να οριστεί ως «κυβικά μέτρα επί έτη ψύξης σε 15°C κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου».

Μια «attributional» LCI έχει σαν αποτέλεσμα τις συνολικές system-wide ροές που «σχετίζονται» ή «αποδίδονται» στην παραγωγή συγκεκριμένης ποσότητας της λειτουργικής μονάδας. Αφού το σύστημα είναι γραμμικοποιημένο, τα αποτελέσματα κλιμακώνονται ευθέως ανάλογα της λειτουργικής μονάδας και η τάξη μεγέθους της έχει μικρή σημασία. Ας θεωρηθεί για παράδειγμα μια AKZ για την ηλεκτροπαραγωγή. Τα αποτελέσματα μιας «attributional» AKZ περιγράφουν τις ανταλλαγές με το περιβάλλον κατά τη μέση παραγωγή ηλεκτρισμού σε μια γεωγραφική περιοχή και/ή τον παροχέα ηλεκτρισμού. Τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να παρουσιαστούν ως «εκπομπές ανά παραγόμενη kWh». Η τάξη μεγέθους της λειτουργικής μονάδας δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα, καθώς οι εκπομπές αυξάνουν γραμμικά ως προς τη λειτουργική μονάδα.

Μια «consequential» LCI, από την άλλη, είναι μια εκτίμηση της μεταβολής που θα προκύψει σε ολόκληρο το σύστημα στη ρύπανση και στις ροές φυσικών πόρων από την αλλαγή στην ποσότητα της παραγόμενης λειτουργικής μονάδας. Οι αλλαγές για παράδειγμα στις εκπομπές που προκαλούνται από μια μικρή μεταβολή στον παραγόμενο ηλεκτρισμό περιγράφονται από περιβαλλοντικά δεδομένα για τις τεχνολογίες που επηρεάζονται από μικρές αλλαγές στην παραγωγή (marginal technologies). Μια μεγάλη αλλαγή στην παραγωγή θα επηρεάσει περισσότερες τεχνολογίες και θα έχει σημαντικότερες συνέπειες στο σύστημα διανομής. Αφού οι συνέπειες δεν αυξάνονται γραμμικά με το μέγεθος της αλλαγής, τα αποτελέσματα μιας consequential LCI ερμηνεύονται ευκολότερα αν η λειτουργική μονάδα αντικατοπτρίζει (reflects) την τάξη μεγέθους της μελετούμενης μεταβολής.

Οι διαφορές στις λειτουργίες που προέρχονται από διαφορετικά συστήματα προϊόντος, εμφανίζονται συχνά όταν επιλέγεται μια πολύ στενή προοπτική προϊόντος, όπως π.χ. όταν μελετώνται ενδιάμεσα προϊόντα ή προϊόντα που εξαρτώνται πολύ από άλλα προϊόντα. Τέτοιες διαφορές στη λειτουργική εκροή (επίδοση του συστήματος προϊόντος) και η επακόλουθη ανάγκη για τροποποιήσεις, μπορούν να αποφευχθούν εάν επιλεγεί ευρύτερη προοπτική (για παράδειγμα, βασισμένη στις ανάγκες που καλύπτονται από τα προϊόντα, αντί για τα ίδια τα προϊόντα). Όποιες

διαφορές παραμένουν μπορούν να αποφευχθούν με το να διευρυνθούν τα σύνορα του συστήματος έτσι ώστε να περιληφθούν εναλλακτικοί τρόποι παροχής των ίδιων λειτουργιών.

Αναγνώριση των διεργασιών που θα περιληφθούν στο σύστημα προϊόντος

Σε μια «attributional» AKZ, οι διεργασίες που περιλαμβάνονται είναι εκείνες οι οποίες εκτιμάται ότι επηρεάζουν σημαντικά στο υπό μελέτη προϊόν και τη λειτουργία του. Αυτό σημαίνει ότι οι ροές υλικών και ενέργειας εξετάζονται ανάποδα (προς τα πίσω) από τη διεργασία που σχετίζεται με τη ροή αναφοράς ως την εξόρυξη των πρώτων υλών και μετά «downstream» από τη διεργασία μέχρι την τελική απόρριψη των αποβλήτων. Η «upstream» παροχή θεωρείται πλήρως ελαστική. Η προκαλούμενη ζήτηση για μια μονάδα προϊόντος οδηγεί στην παραγωγή και προμήθεια μιας μονάδας προϊόντος, με τις σχετιζόμενες εκπομπές και καταναλώσεις, ενώ οι υπόλοιποι πελάτες και εφαρμογές του προϊόντος δεν επηρεάζονται. Αντίστοιχα, και η «downstream» ζήτηση θεωρείται πλήρως ελαστική.

Σε μια «consequential» AKZ, οι περιλαμβανόμενες διεργασίες είναι εκείνες που αναμένεται να επηρεαστούν από τις βραχυπρόθεσμες ή/και μακροπρόθεσμες αποφάσεις που θα υποστηριχτούν στη μελέτη. Σύμφωνα με τους Ekvall και Weidema (2004), ο ορισμός των ορίων ενός συστήματος εξαρτάται από το πώς αναμένεται να αντιδράσουν οι αγορές στην εξεταζόμενη μεταβολή, λαμβάνοντας υπόψη ότι:

- Ούτε η παραγωγή ούτε η ζήτηση είναι πλήρως ελαστικές πάντα, που σημαίνει ότι η ζήτηση για μια μονάδα προϊόντος στον κύκλο ζωής που ερευνάται, δεν επηρεάζει μόνο την παραγωγή αυτού του προϊόντος αλλά και την κατανάλωσή του σε άλλα συστήματα.
- Μεμονωμένοι προμηθευτές ή αγορές μπορεί να είναι περιορισμένοι, που σημαίνει ότι δεν επηρεάζονται από μια αλλαγή στη ζήτηση του προϊόντος, και
- Μια μεταβολή στη ζήτηση του προϊόντος είναι πολλές φορές τόσο μικρή, συγκρινόμενη με τη συνολική αγορά αυτού, έτσι ώστε επηρεάζει μόνο τις οριακές (marginal) «upstream» διεργασίες παραγωγής.

Όσον αφορά σε μη-μετρήσιμες παραμέτρους (ευελιξία, ποιότητα, γνώσεις), οι οριακές διεργασίες είναι πιθανό να είναι οι μη περιορισμένες διεργασίες με τα ελάχιστα αναμενόμενα οριακά κόστη.

Μια εξαίρεση στον κανόνα αυτό, είναι όταν η συνολική αγορά για το αγαθό ή την υπηρεσία συρρικνώνεται πιο γρήγορα από ότι αυξάνεται η παραγωγή κεφαλαίου στην αγορά. Σε αυτή την περίπτωση, η οριακή διεργασία μπορεί να είναι εκείνη η υπάρχουσα με το υψηλότερο αναμενόμενο οριακό κόστος παραγωγής.

Διαχείριση διεργασιών με πολλαπλές εκροές

Όταν μια διεργασία – μονάδα παρέχει περισσότερα από ένα προϊόντα, πρέπει να βρεθεί τρόπος οι ανταλλαγές με το περιβάλλον να διασπαστούν και να διαμοιραστούν στα διάφορα προϊόντα. Για να απαντηθεί αυτή η ερώτηση, τα πρότυπα ISO προτείνουν μια βηματική διαδικασία. Πέρα από την προφανή λύση της διάσπασης της διεργασίας – μονάδας σε ξεχωριστές διεργασίες, η κάθε μία με ένα παραγόμενο προϊόν (όποτε αυτό είναι εφικτό), η διαδικασία του ISO αποτελείται από τρία διαδοχικά βήματα.

Η προτεινόμενη εναλλακτική είναι η επέκταση των μελετώμενων συστημάτων, έτσι ώστε «να συμπεριληφθούν οι πρόσθετες λειτουργίες που σχετίζονται με τα παραπροϊόντα (co-products). Αυτό σημαίνει ότι τα συστήματα μπορούν εύκολα να επεκταθούν έτσι ώστε όλα να παράγουν συγκρίσιμες εκροές προϊόντων. Οι διεργασίες που πρέπει να συμπεριληφθούν σε μια τέτοια επέκταση είναι εκείνες που επηρεάζονται από την αύξηση ή μείωση της εκροής ενός παραπροϊόντος στο εξεταζόμενο σύστημα.

Μια δεύτερη εναλλακτική στη διαδικασία του ISO είναι ο θεωρητικός διαχωρισμός των ανταλλαγών «με τρόπο που να περιγράφει πλήρως τις υποκείμενες φυσικές σχέσεις μεταξύ τους, δηλαδή θα πρέπει να αντικατοπτρίζει τον τρόπο με τον οποίο οι εισροές και οι εκροές μεταβάλλονται με τις ποσοτικές αλλαγές στα προϊόντα ή τις υπηρεσίες που προσφέρονται από το σύστημα.». Αυτό είναι μια περιγραφή των αιτιολογικών σχέσεων που υπάρχουν όταν τα παραπροϊόντα μπορούν να μεταβάλλονται ανεξάρτητα.

Η τρίτη εναλλακτική των ISO είναι η κατάτμηση των ανταλλαγών «μεταξύ των προϊόντων και των λειτουργιών με τρόπο που να δείχνει τις υπόλοιπες σχέσεις μεταξύ τους. Για παράδειγμα δεδομένα εισόδου και εξόδου μπορούν να κατανέμονται ανάμεσα στα παραπροϊόντα, αναλογικά της οικονομικής αξίας των προϊόντων. Η βασική αρχή είναι κοντινή της δεύτερης εναλλακτικής, η οποία προτείνει ότι οι σχέσεις που εξετάζονται πρέπει να έχουν αιτιολογική φύση. Αυτό

υποστηρίζεται και από τη χρήση της οικονομικής αξίας ως παράδειγμα. Η τελευταία είναι, μέχρι στιγμής, η μόνη αιτιολογική συσχέτιση που έχει βρεθεί να ταιριάζει με το τελευταίο αυτό βήμα της διαδικασίας ISO.

Σε κάποιες LCI, οι ανταλλαγές μεταξύ περιβάλλοντος και διεργασιών με πολλαπλές εκροές κατατέμνονται αναλογικά με τη (φυσική) ποσότητα (μάζα, ενεργειακό περιεχόμενο, κ.ά.π.) των εκροών, χωρίς αυτό να στηρίζεται από κάποια αιτιολογική σχέση. Αυτό είναι μόνο σύμφωνο με τις προτάσεις του ISO αν ο όρος «σχέση» ερμηνευθεί ευρύτερα, έτσι ώστε να περιληφθούν και μη αιτιολογικές σχέσεις, για παράδειγμα, η σχέση μεταξύ των ποσοτήτων της μάζας ή της ενέργειας στην εκροή της διεργασίας. Μια τέτοια ευρεία ερμηνεία θα αφήσει την οριοθέτηση του συστήματος εντελώς ανοιχτή για τις «attributional» AKZ.

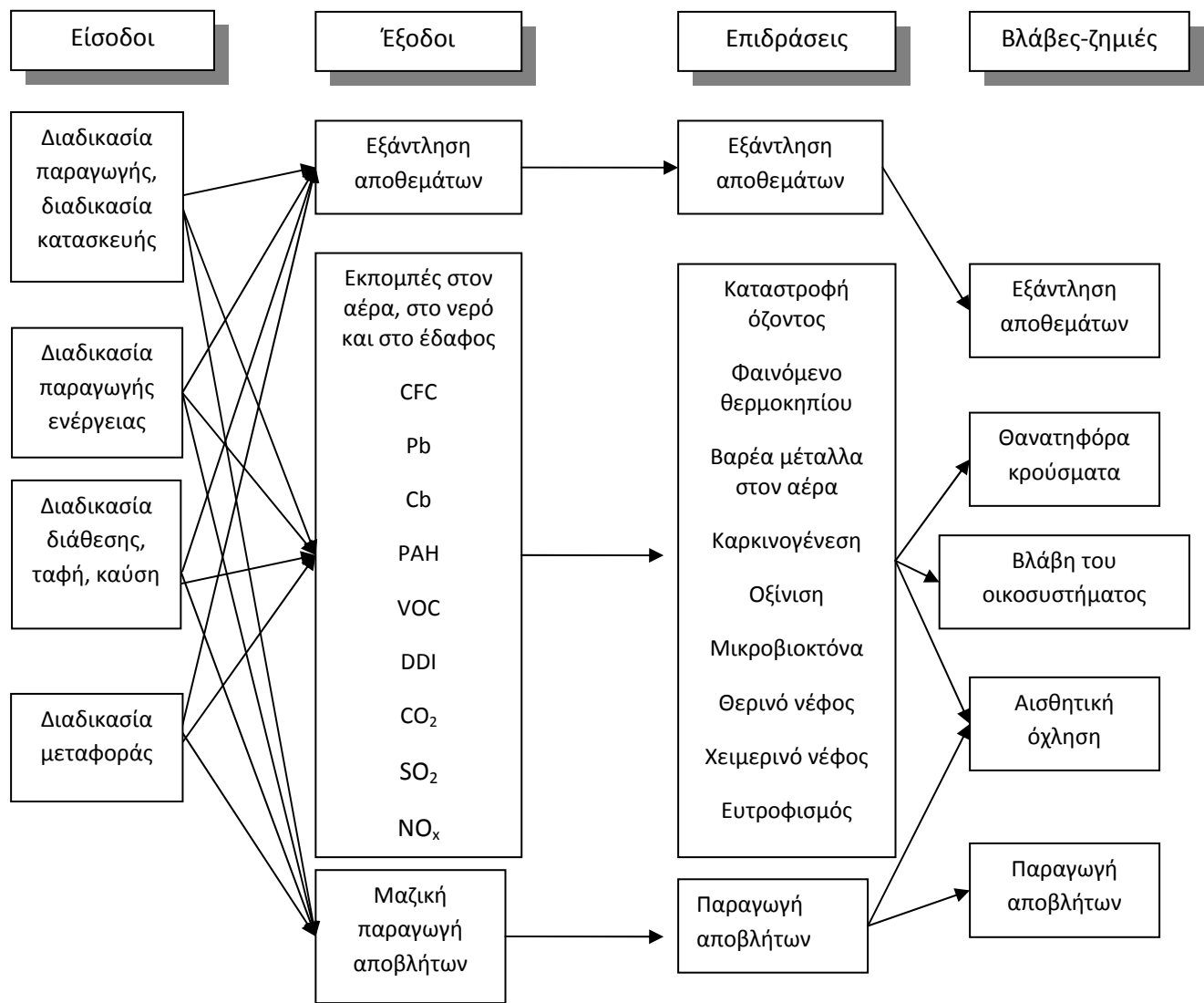
3.1.3.4 Εκτίμηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA)

Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA), παρέχει δείκτες και τη βάση σε μία απογραφή, για να αναλυθούν οι πιθανές συνεισφορές από την εξαγωγή φυσικών πόρων και από τα απόβλητα/εκπομπές σε έναν αριθμό πιθανών επιπτώσεων. Το αποτέλεσμα της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA) είναι μία αξιολόγηση του κύκλου ζωής του προϊόντος, σε μία βάση λειτουργικής μονάδας, σε όρους διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων (όπως είναι η κλιματική αλλαγή, το τοξικό στρες, ο θόρυβος, η χρήση γης, κ.λπ.) και, σε κάποιες περιπτώσεις, σε έναν ολοκληρωμένο τρόπο (όπως η απώλεια ετών μιας ανθρώπινης ζωής λόγω της κλιματικής αλλαγής, καρκινογόνες επιδράσεις, θόρυβος, κ.λπ..

3.1.3.5 Ερμηνεία του κύκλου ζωής

Η ερμηνεία του κύκλου ζωής πραγματοποιείται σε κάθε στάδιο της AKZ. Εάν συγκρίνονται δύο διαφορετικά προϊόντα και το ένα εξ αυτών παρουσιάζει μεγαλύτερη κατανάλωση από κάθε υλικό και από κάθε φυσικό πόρο, μπορεί να υπάρξει μία τελική ερμηνεία βασισμένη στην απογραφή δεδομένων. Παρ' όλα αυτά μπορεί να είναι επιθυμητή η σύγκριση μέχρι και τις κατηγορίες επιπτώσεων, ειδικά όταν είναι επιθυμητό να μούνε σε προτεραιότητες κάποια πεδία που προβληματίζουν μέσα στη μελέτη του κύκλου ζωής. Για παράδειγμα οι εκπομπές CO₂ στον ένα κύκλο ζωής μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα έναν υψηλότερο δείκτη κλιματικής αλλαγής από ότι σε έναν άλλο, αλλά ο άλλος να εμπλέκει περισσότερα φυτοφάρμακα και να έχει υψηλότερο δυναμικό

συνεισφοράς στις τοξικολογικές επιπτώσεις. Η επίλυση τέτοιων θεμάτων είναι συχνά ένα προαιρετικό βήμα, το οποίο σαφώς απαιτεί προσοχή και πληροφορίες όχι μόνο από τις φυσικές επιστήμες, αλλά και από κοινωνικές και τις οικονομικές (Rebitzer et al., 2004).



Σχήμα 3.1: Παράδειγμα σχηματικής απεικόνισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Πηγή: Μουσιόπουλος, 1999

Ποιότητα δεδομένων

Η ποιότητα δεδομένων της ΑΚΖ ορίζεται ως ο βαθμός αξιοπιστίας ανάμεσα στα δεδομένα εισόδου και εξόδου ξεχωριστά, και στα δεδομένα σαν σύνολο, και τελικά στις αναφορές που βασίζονται στη

χρήση των δεδομένων. Οι στόχοι συγκεκριμένης ποιότητας δεδομένων θα πρέπει να διατυπώνονται ξεκάθαρα κατά το στάδιο προσδιορισμού του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης. Η χρησιμότητα και η αξιοπιστία της Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα δεδομένων. Παρά τη σημαντική εξέλιξη των μεθόδων AKZ που σημειώθηκε τελευταία, η αμφισβήτησή τους με βάση την ποιότητα των δεδομένων είναι εμφανής.

Η ποιότητα δεδομένων επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- την πηγή των δεδομένων
- τη μέθοδο συλλογής
- τον τρόπο παραγωγής τους
- το κόστος και το χρόνο συλλογής

Οι πηγές των δεδομένων μπορεί να είναι πρωτογενής (όπως για τα δεδομένα που συλλέγονται για ειδικές διαδικασίες) ή δευτερογενής (όπως για αυτά που συλλέγονται από αναφορές ή άλλες δημοσιευμένες πηγές. Αυτές προέρχονται από:

- βιομηχανικές και κρατικές αναφορές
- δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών
- βιβλία αναφοράς
- δημοσιεύσεις και βάσεις δεδομένων
- λίστες θεσμοθετημένων ορίων
- συμβούλους και εμπορικούς συνδέσμους
- παρόμοιες μελέτες AKZ

Η συλλογή των δεδομένων μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα:

- μέσες τιμές (μηνιαίες / ετήσιες)

- μικτά δεδομένα
- σταθερά δεδομένα
- κανονικοποιημένα δεδομένα

Επίσης δεδομένα μπορούν να παραχθούν με διάφορους τρόπου:

- ακριβείς μετρήσεις
- εκτιμήσεις / δείγματα
- μοντέλα / υπολογισμούς

Κόστος και χρόνος για τη συλλογή των δεδομένων

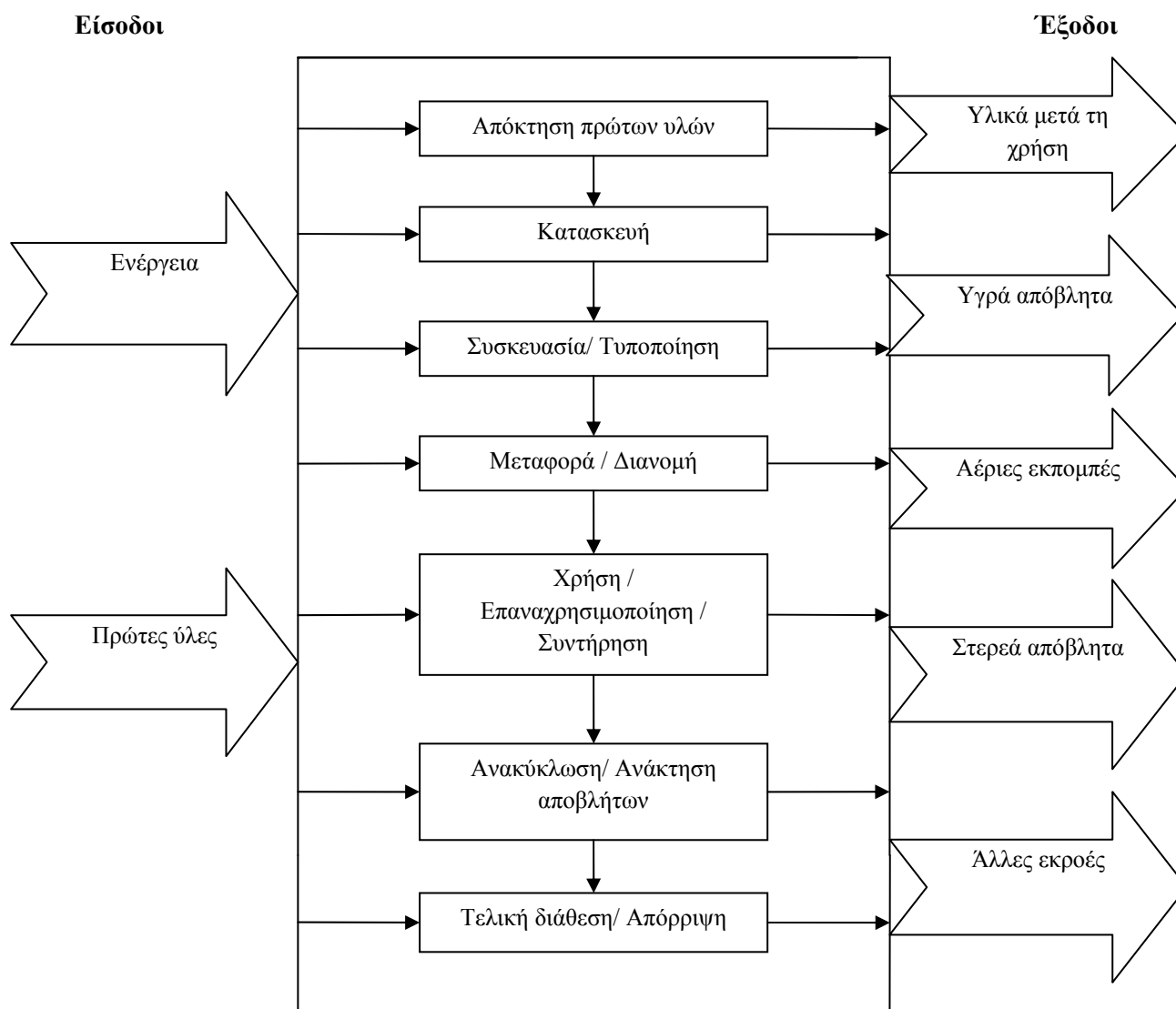
Η ποιότητα των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί για μια ΑΚΖ εξαρτάται από την προσπάθεια και το χρόνο που έχει αφιερωθεί στη μελέτη, όπως και από τη διαθεσιμότητά τους. Επομένως, οι στόχοι της ποιότητας δεδομένων πρέπει να καθοριστούν από νωρίς στη διαδικασία, για να εξασφαλιστεί ένας ικανοποιητικός αριθμός φυσικών πόρων που προσδιορίζονται στη μελέτη.

Δείκτες ποιότητας δεδομένων

Οι στόχοι της ποιότητας δεδομένων βρίσκονται σε συμφωνία με ειδικούς δείκτες. Αυτοί μπορεί να είναι είτε ποιοτικοί είτε ποσοτικοί. Επιλέγονται ανάλογα με το σκοπό της ΑΚΖ και τις μεθοδολογίες που έχουν οριστεί για τη μελέτη.

Πίνακας 3.2: Παράδειγμα πίνακα χρήσης δεικτών ποιότητας δεδομένων

Σκοπός μελέτης Δείκτες	Βελτίωση εσωτερικής παραγωγής	Αξιολόγηση προϊόντος	Προώθηση προϊόντος
Ποσοτικοί δείκτες			
ακρίβεια	+	+	+
πληρότητα	+	+	+
κατανομή			+
ομοιογένεια			+
σχέσεις αλληλεξάρτησης			
αβεβαιότητα			+
Ποιοτικοί δείκτες			
αλληλουχία	+	+	+
εφαρμοσιμότητα		+	+
συγκρισιμότητα		+	+
αντιπροσωπευτικότητα			+
αναγνώριση ιδιομορφιών		+	+
ικανότητα αναπαραγωγής	+	+	+
διαθεσιμότητα			+



Σχήμα 3.2: Οριοθέτηση συστήματος – Γενικό διάγραμμα ροής διεργασίας

Πηγή: Μουσιόπουλος, (1999)

3.1.3.6 Εκτίμηση βελτιώσεων

Κατά την εκτίμηση βελτιώσεων τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρησιμοποιούνται ως βάση για τη λήψη αποφάσεων που θα οδηγήσουν σε συγκεκριμένες δραστηριότητες, που θα ωφελήσουν τόσο τη βιομηχανία όσο και το περιβάλλον. Ο Οργανισμός Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC) ορίζει την εκτίμηση βελτιώσεων ως εξής: "Η εκτίμηση βελτιώσεων αποτελεί μία συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής

προϊόντων, διεργασιών και δραστηριοτήτων. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατό να περιέχει τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά μέτρα βελτίωσης, όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και το σχεδιασμό, στη χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση των απορριμμάτων".

Η απογραφή δεδομένων χρησιμοποιείται για να «αποκαλύψει» σημεία που επιδέχονται βελτίωση. Είσοδοι και έξοδοι βελτιωμένης αποδοτικότητάς (όπως μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας ή αύξηση της παραγωγής) καθώς και έξοδοι που λαμβάνουν υπόψη τους περιβαλλοντικά κριτήρια (όπως περιορισμένη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και λιγότερες εκπομπές) μπορούν να προσφέρουν δυνατότητες που λαμβάνουν υπόψη τους την περιβαλλοντική βελτίωση ανά λειτουργική μονάδα. Σύμφωνα με την τεχνική επιτροπή του BSI (British Standards Institution), η εκτίμηση βελτιώσεων δεν αποτελεί μέρος της μεθοδολογίας που μπορεί να τυποποιηθεί, όσο κάθε μία και όλες μαζί οι εφαρμογές της Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Με αυτή την υπόθεση, δεν υπάρχουν απόλυτοι κανόνες που μπορούν να εφαρμοστούν εδώ. Κοινό τόπο αποτελεί η αρχή «ό,τι μπορεί να μετρηθεί, μπορεί να διαχειριστεί» αλλά και να βελτιωθεί.

3.2 Περιπτώσιολογικές μελέτες

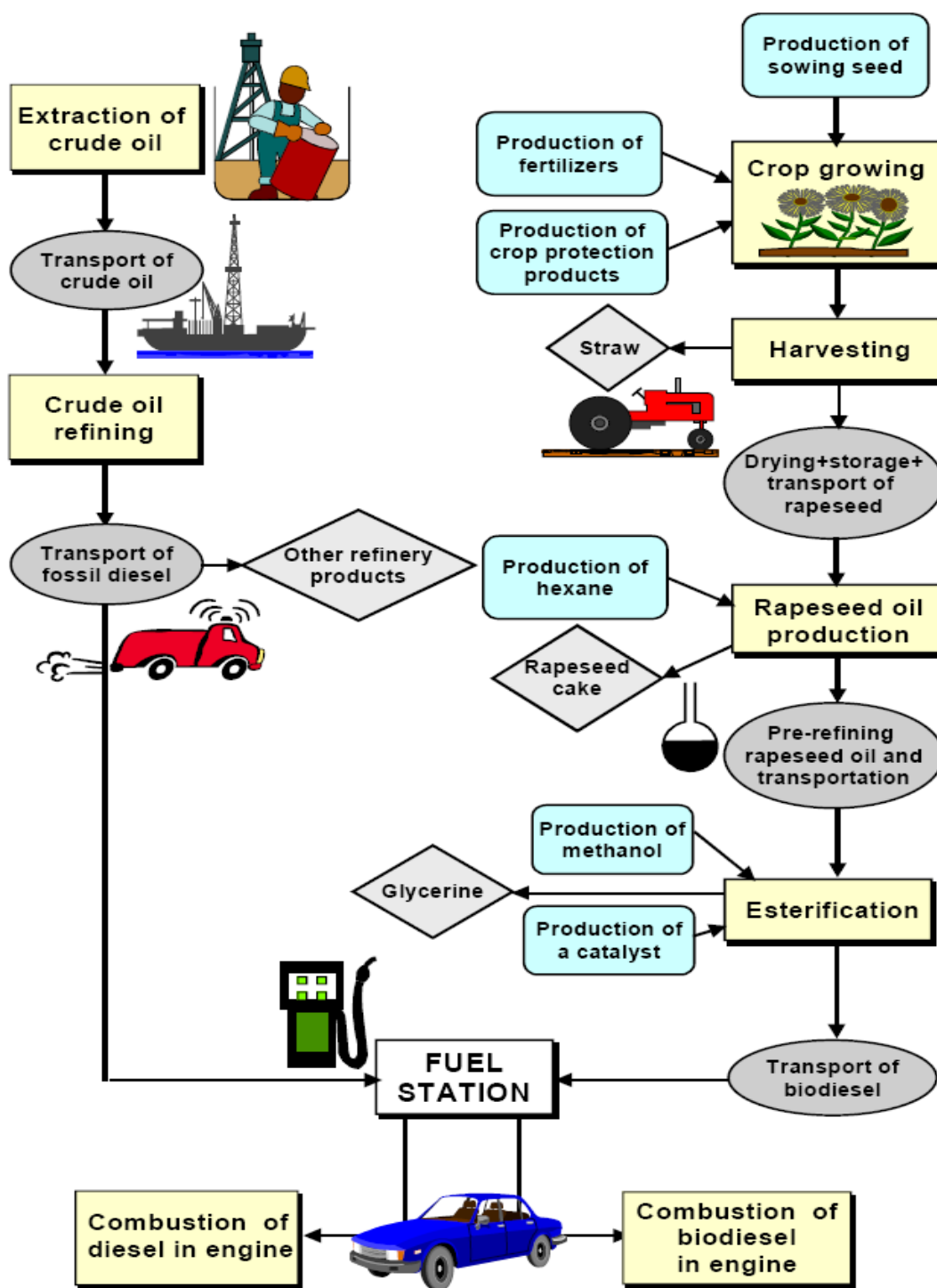
Με σκοπό την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης των διαφόρων ενεργειακών καλλιεργειών, μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται μελέτες, στις οποίες γίνεται σύγκριση συμβατικών καυσίμων και καυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες, μελέτες που εξετάζουν συγκεκριμένα είδη ενεργειακών φυτών όπως την ινδική καρύδα, το καλαμπόκι, τη σόγια, τον ηλίανθο κ.λπ. και μελέτες που εξετάζουν συγκεκριμένες κατηγορίες επιπτώσεων, όπως είναι η επίδραση της καλλιέργειας ενεργειακών φυτών στις χρήσεις γης και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφορετικών ποσοστών αζωτούχων (N) λιπασμάτων. Στις μελέτες αυτές ως εργαλείο αξιολόγησης χρησιμοποιείται η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (LCA).

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε για τη Βόρεια Αμερική, από τους MacLean et al. (2000), διερευνήθηκαν οι κύκλοι ζωής της βενζίνης, του πετρελαίου, του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG), και της αιθανόλης (C_2H_5OH) - καύσιμα που τροφοδοτούν οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης (ICE). Εξετάστηκαν επίσης οι μηχανές Port και άμεσης έγχυσης και ανάφλεξης σπινθήρων και συμπίεσης. Ακόμη, ερευνήθηκαν καύσιμα που προέρχονται από πετρέλαιο, όπως η αναμορφωμένη βενζίνη αλλά και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το βιοντίζελ από σόγια καθώς επίσης και η αιθανόλη (C_2H_5OH) από καλαμπόκι, ποώδη βιομάζα, και βιομάζα κυτταρίνης. Το βασικό όχημα, στο οποίο εξετάστηκαν τα καύσιμα ήταν ένα Ford Taurus του 1998, το οποίο υπό κανονικές συνθήκες τροφοδοτείται με βενζίνη. Οι υπολογισμοί για τους κύκλους ζωής έγιναν με χρήση του λογισμικού οικονομικών εισροών εκροών ανάλυσης κύκλου ζωής (EIO-LCA). Οι κύκλοι των καυσίμων και τα στάδια στο τέλος του κύκλου ζωής των οχημάτων βασίστηκαν στα δημοσιευμένα αποτελέσματα του μοντέλου. Διαπιστώθηκε ότι, οι πρόσφατες εξελίξεις στα οχήματα βενζίνης, η χαμηλή τιμή πετρελαίου και οι εκτεταμένες υποδομές για τα ορυκτά καύσιμα καθιστούν δύσκολη την εμπορική βιωσιμότητα των εναλλακτικών καυσίμων. Από τη συγκεκριμένη έρευνα προέκυψε ότι το ελκυστικότερο από τα εναλλακτικά καύσιμα είναι το συμπιεσμένο φυσικό αέριο, επειδή είναι λιγότερο ακριβό από τη βενζίνη, έχει χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και τοξικών ουσιών, παράγει τις λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), και είναι διαθέσιμο στη Βόρεια Αμερική σε μεγάλες ποσότητες. Εντούτοις, ο όγκος και το βάρος των κυλίνδρων αποθήκευσης αερίου που απαιτούνται για να κατορθώσει το όχημα να επιτύχει μια απόδοση συγκρίσιμη με αυτήν των οχημάτων βενζίνης, απαιτούν έναν επανασχεδιασμό της μηχανής και των

πλαisiών. Τα βιοκαύσιμα προσφέρουν τις χαμηλότερες εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων (GHG), είναι βιώσιμα και μειώνουν την απαίτηση για εισαγόμενα καύσιμα. Τα καύσιμα που παράγονται από πηγές τροφίμων, όπως το βιοντίζελ (βιοντίζελ) από σόγια και η αιθανόλη (C_2H_5OH) από καλαμπόκι, μπορούν να είναι ελκυστικά μόνο αν τα ορυκτά καύσιμα παρουσιάζουν υψηλή ζήτηση και αν η παραγωγή καυσίμων δεν μειώνει τη συνολική παροχή τροφίμων. Η αιθανόλη από ποώδη βιομάζα ή βιομάζα από ξύλο θα μπορούσε να αντικαταστήσει τη βενζίνη που καταναλώνεται σε οχήματα με μικρές απαιτήσεις και παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια. Ενώ κοστίζει περισσότερο από τη βενζίνη, η βιοαιθανόλη θα ήταν ελκυστική αν η τιμή της βενζίνης διπλασιαζόταν, αν επιβαλλόταν σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου GHG, ή αν επιβαλλόταν αυστηροί κανονισμοί οικονομίας καυσίμων για τα οχήματα βενζίνης.

Οι Nocker et al. (1998), πραγματοποίησαν μελέτη με σκοπό τη σύγκριση του βιοντίζελ από ελαιοκράμβη και του συμβατικού πετρελαίου χρησιμοποιώντας δύο μεθοδολογίες για αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλο τον κύκλο ζωής. Ως γεωγραφική περιοχή αναφοράς για τον κύκλο ζωής του βιοντίζελ θεωρήθηκε το Βέλγιο. Δυτικοευρωπαϊκά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν όσον αφορά στα καύσιμα ορυκτού πετρελαίου, αλλά και στο βιοντίζελ όπου δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για το Βέλγιο. Ο σκοπός, η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας AKZ συγκρίθηκαν με την ανάλυση πορείας των επιπτώσεων ExternE, για τον υπολογισμό των εξωτερικών δαπανών. Οι εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής υπολογίστηκαν αφενός με μια παραδοσιακή προσέγγιση AKZ (Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής) και αφετέρου με μια ανάλυση εξωτερικών δαπανών/κοστών. Η λειτουργική μονάδα για την ανάλυση AKZ ήταν το 1 kg βιοντίζελ και για την ανάλυση ExternE το 0,9 kg των καυσίμου ορυκτού πετρελαίου λόγω ισοδυναμίας. Ως κατηγορίες επιπτώσεων θεωρήθηκαν οι εξής: Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, κατανάλωση ανόργανων πρώτων υλών, κατανάλωση νερού, φαινόμενο του θερμοκηπίου, οξίνιση, ευτροφισμός, φωτοχημικός σχηματισμός οξειδωτικών, μη ραδιενεργά απόβλητα και ραδιενεργά απόβλητα. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής: Χρήση σε μηχανή diesel, εστεροποίηση, εξαγωγή ελαίου, συγκομιδή, ξήρανση και μεταφορά των σπόρων, επιτόπιες εργασίες και καλλιέργεια, παραγωγή + μεταφορά των λιπασμάτων, προϊόντα προστασίας των φυτειών και του σπόρου σποράς. Τα δεδομένα των εκπομπών αναφέρονται στο πρόγραμμα επίδειξης στο VITO για τη χρήση του μεθυλικού εστέρα ελαιοκράμβης (RME) ή του βιοντίζελ ως καύσιμα κίνησης. Η σύγκριση δείχνει ότι και οι δύο μέθοδοι εκτίμησης και αξιολόγησης των επιπτώσεων διαφέρουν πολύ, αλλά τα αποτελέσματα είναι συμπληρωματικά. Η AKZ δείχνει ότι τα οφέλη, από την άποψη

των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αντισταθμίζονται από άλλες μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ειδικά για τον ευτροφισμό. Η ανάλυση εξωτερικών δαπανών, βασισμένη στην προσέγγιση ExternE, υπολογίζει τις ζημίες στη δημόσια υγεία, στα υλικά, στη γεωργία και στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη αλλά δεν μπορεί να υπολογίσει τις οικονομικές ζημίες από τις οικολογικές επιπτώσεις. Η ανάλυση αυτή δείχνει ότι οι εξωτερικές δαπάνες του βιοντίζελ και του ορυκτού πετρελαίου έχουν την ίδια έκταση και κυριαρχούνται από τις επιπτώσεις στη φάση της χρήσης. Το κύριο συμπέρασμα ήταν ότι, έναντι των ιδιωτικών δαπανών παραγωγής, οι εξωτερικές δαπάνες είναι υψηλές και για το πετρέλαιο και για το βιοντίζελ. Σε σύγκριση με το ορυκτό πετρέλαιο, οι συνολικές εξωτερικές δαπάνες του βιοντίζελ είναι 5% με 20% μικρότερες, ανάλογα με τις διαφορετικές υποθέσεις. Πρέπει εντούτοις να ληφθεί υπόψη ότι, διάφοροι δείκτες για τους οποίους το βιοντίζελ αποδίδει χειρότερα (επιπτώσεις στο νερό, στον ευτροφισμό, στην οξίνιση και στο φωτοχημικό σχηματισμό οξειδωτικών) δεν έχουν ή έχουν μόνο εν μέρει ποσοτικοποιηθεί και αποδοθεί με οικονομικούς όρους. Φαίνεται ότι, οι συνολικές κοινωνικές δαπάνες (ιδιωτικές δαπάνες παραγωγής + εξωτερικό κόστος περιβαλλοντικής ζημίας) του ορυκτού πετρελαίου είναι χαμηλότερες απ' ό,τι για το βιοντίζελ, το οποίο δεν αντισταθμίζεται εντελώς από τις κάπως χαμηλότερες περιβαλλοντικές δαπάνες.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα των κύκλων ζωής του βιοντίζελ και του ορυκτού πετρελαίου

Πηγή: De Nocker, (1998)

Οι Hill et al. (2006), μέσω της μελέτης τους, έκαναν μία προσπάθεια να εκτιμήσουν τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και ενεργειακά κόστη και οφέλη από τη χρήση βιοντίζελ και βιοαιθανόλης. Υποστηρίζουν ότι για να είναι τα βιοκαύσιμα μια βιώσιμη εναλλακτική λύση, θα πρέπει να παρέχουν καθαρό κέρδος ενέργειας, να έχουν περιβαλλοντικά οφέλη, να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά και να μπορούν να παράγονται σε τέτοιες ποσότητες, ώστε να μην προκαλούν μείωση των προμηθειών τροφίμων. Σκοπός της μελέτης τους ήταν να υπολογιστεί η αιθανόλη που εξάγεται από το σιτάρι καλαμποκιού και το βιοντίζελ που εξάγεται από τη σόγια, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα τα παραπάνω κριτήρια. Προκειμένου να επιτευχθεί ο συγκεκριμένος στόχος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής, με την οποία υπολογίστηκε ότι η αιθανόλη παράγει 25% περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια που επενδύεται κατά την παραγωγή της, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το βιοντίζελ είναι 93%. Σχετικά με τα συμβατικά καύσιμα που αντικαθιστούν, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μειώνονται κατά 12% από την παραγωγή και την καύση της αιθανόλης και 41% από το βιοντίζελ, ενώ το αντιστρόφως ανάλογο συμβαίνει με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Ένα από τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής, ήταν ότι κανένας τύπος βιοκαυσίμου δεν μπορεί να αντικαταστήσει τη χρήση πετρελαίου, χωρίς να έχει αντίκτυπο στις προμήθειες τροφίμων. Εξαιτίας των αυξήσεων στις τιμές πετρελαίου, της υπό μελέτη χρονιάς, οι υψηλές δαπάνες παραγωγής κατέστησαν τα βιοκαύσιμα ασύμφορα, χωρίς επιχορηγήσεις. Το βιοντίζελ παρέχει ικανοποιητικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα για να αξίζει την επιχορήγηση. Τα βιοκαύσιμα κίνησης όταν παράγονται είτε από βιομάζα που απαιτεί μικρές εισροές και που παράγεται σε ένα τυπικό αγροτικό έδαφος, ή από βιομάζα αποβλήτων, μπορούν να παρέχουν πολύ περισσότερες προμήθειες και περιβαλλοντικά οφέλη, απ' ό,τι τα βιοκαύσιμα, παραγόμενα από τροφές.

Μία μελέτη που δίνει έμφαση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια, είναι αυτή των Pascual and Tan (2004). Δεδομένου ότι, η Μανίλα στις Φιλιππίνες θεωρείται η δεύτερη περισσότερο ρυπασμένη περιοχή στην Ασία, πραγματοποιήθηκε μελέτη για χρήση εναλλακτικών τύπων καυσίμων, πιο συγκεκριμένα βιοντίζελ, προερχόμενα από την ινδική καρύδα, ώστε να μετριαστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει πολλές προοπτικές, λόγω του ότι οι Φιλιππίνες μπορούν να εφοδιάσουν το 60% των ελαίων ινδικής καρύδας, παγκοσμίως. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η ποσοτική αξιολόγηση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που προέρχονται από τις εκπομπές αερίων και την κατανάλωση ενέργειας του βιοντίζελ ινδικής καρύδας, καθώς και του

πετρελαίου ή του συμβατικού ντίζελ, σε ολόκληρους τους κύκλους ζωής τους, από τις πρώτες ύλες, μέχρι και την τελική χρήση του προϊόντος για εφαρμογή στις μεταφορές με οχήματα και στο βιομηχανικό τομέα (βιομηχανικοί λέβητες). Η μεθοδολογία στηρίχτηκε στην Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής, μέσω της οποίας γίνεται η ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών ροών, καθώς και η σύγκριση αυτών, για τους δύο τύπους ντίζελ (βιοντίζελ και συμβατικό), δημιουργώντας τέσσερα σενάρια για κάθε διαφορετικό συνδυασμό δεδομένων. Στο μοντέλο, η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το 1 χιλιόμετρο πορείας για μεταφορά με όχημα και το 1 χιλιόγραμμα ατμού για χρήση βιομηχανικού λέβητα. Κάποια δεδομένα εκπομπών και κάποια άλλα σχετικά δεδομένα λήφθηκαν από το έγκυρο λογισμικό εργαλείο, το Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation ή GREET v1.5a. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των κύκλων ζωής του βιοντίζελ ινδικής καρύδας και του συμβατικού ντίζελ δείχνουν ότι η χρήση του βιοντίζελ καρύδας στις Φιλιππίνες μπορεί να είναι βιώσιμα εφαρμόσιμη. Αν και, η χρήση των υπολειμμάτων καρύδας για τη συμπαραγωγή ισχύος αυξάνει, σε μικρό ποσοστό, μερικές από τις εκπομπές όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NOx) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM10), οι συνολικές επιπτώσεις από τις εκπομπές και την κατανάλωση ενέργειας είναι χαμηλότερες όσον αφορά σε βιομηχανικές εφαρμογές, για όλα τα σενάρια. Για το μετριασμό των εκπομπών αυτών, θα μπορούσε να γίνει χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, καθιστώντας το βιοντίζελ ινδικής καρύδας πιθανό εναλλακτικό καύσιμο.

Μια αξιολόγηση των κύκλων ζωής διαφορετικών συστημάτων καλλιέργειας με έμφαση στην παραγωγή καλαμποκιού και σόγιας εκτελέστηκε από τους Seungdo and Dale (2005), υποθέτοντας ότι η βιομάζα από τα συστήματα καλλιέργειας χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων (δηλ., αιθανόλη και βιοντίζελ). Η λειτουργική μονάδα ορίστηκε για να συγκρίνει την περιβαλλοντική επίδοση των διαφορετικών συστημάτων καλλιέργειας ήταν το 1 εκτάριο καλλιεργήσιμου εδάφους που παράγει βιομάζα για βιοκαύσιμα. Οι εξωτερικές λειτουργίες κατανέμονται με την εισαγωγή εναλλακτικών συστημάτων προϊόντων (η προσέγγιση κατανομής επέκτασης συστήματος). Ως πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις θεωρούνται η κατανάλωση μη ανανεώσιμης ενέργειας, οι επιπτώσεις της παγκόσμιας υπερθέρμανσης, η οξίνιση και ο ευτροφισμός και υπολογίστηκαν από τους παράγοντες χαρακτηρισμού που δίνονται από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών - United States Environmental Protection Agency (EPA- TRACI). Τα οφέλη της αφαίρεσης της ξηρής βιομάζας (στελέχη και φύλλα) του καλαμποκιού είναι (1) χαμηλότερα περιβαλλοντικά φορτία αζώτου από το έδαφος, (2) υψηλότερο

ποσοστό παραγωγής αιθανόλης ανά μονάδα καλλιεργήσιμης γης, και (3) ενεργειακή ανάκτηση από τα πλούσια σε λιγνίνη υπολείμματα ζύμωσης. Ενώ τα μειονεκτήματα της αφαίρεσης της ξηρής βιομάζας του καλαμποκιού είναι ένα χαμηλότερο ποσοστό συγκέντρωσης εδαφικού οργανικού άνθρακα και μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων κατά τη συγκομιδή της. Η φύτευση φυτών χειμερινής κάλυψης μπορεί να αντισταθμίσει μερικά μειονεκτήματα (δηλ., επίπεδα εδαφικού οργανικού άνθρακα και διάβρωση εδάφους) της αφαίρεσης της ξηρής βιομάζας του καλαμποκιού. Οι καλλιέργειες κάλυψης επιτρέπουν επίσης μεγαλύτερη συγκομιδή της ξηρής βιομάζας καλαμποκιού. Κατά συνέπεια, η χρήση της ξηρής βιομάζας καλαμποκιού και οι καλλιέργειες χειμερινής κάλυψης μπορούν να βελτιώσουν την οικο-αποδοτικότητα των καλλιεργητικών συστημάτων. Όταν χρησιμοποιείται βιομάζα από τα καλλιεργητικά συστήματα για την παραγωγή βιοκαυσίμων, όλα τα καλλιεργητικά συστήματα που μελετήθηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση προσφέρουν περιβαλλοντικά οφέλη από την άποψη της κατανάλωσης μη ανανεώσιμης ενέργειας και των επιπτώσεων της παγκόσμιας υπερθέρμανσης. Επομένως η χρήση της βιομάζας για βιοκαύσιμα εξοικονομεί μη ανανεώσιμη ενέργεια, και μειώνει τα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου. Εντούτοις, εκτός αν παρθούν πρόσθετα μέτρα όπως φύτευση σπαρτών κάλυψης, η χρήση βιομάζας για βιοκαύσιμα τείνει επίσης να αυξήσει την οξίνιση και τον ευτροφισμό, πρώτιστα επειδή κατά την καλλιέργεια απελευθερώνονται από το χώμα μεγάλα περιβαλλοντικά φορτία αζώτου (και φώσφορου).

Η αιθανόλη που προέρχεται από βιομάζα έχει τη δυνατότητα να είναι ανανεώσιμο καύσιμο κίνησης που μπορεί να αντικαταστήσει τη βενζίνη. Ετησίως στις Ηνωμένες Πολιτείες παράγονται περίπου 15 εκατομμύρια κυβικά μέτρα αιθανόλης, πρώτιστα από σπόρο καλαμποκιού. Πρόσφατα εξετάστηκε, σε διάφορες μελέτες, η περιβαλλοντική επίδοση της αιθανόλης από καλαμπόκι, ειδικά όσον αφορά στην κατανάλωση μη ανανεώσιμης ενέργειας και στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι περισσότερες μελέτες εξ αυτών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αιθανόλη από καλαμπόκι, που χρησιμοποιείται ως υγρό καύσιμο, θα μετατόπιζε τα καύσιμα από πετρέλαιο και θα μείωνε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ενώ δύο μελέτες από τον Pimentel έδειξαν ότι η εισροή ενέργειας για την παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι είναι μεγαλύτερη από ότι το ενεργειακό περιεχόμενο σε αιθανόλη. Αυτή η διαφωνία αποδίδεται στα διαφορετικά δεδομένα (συμπεριλαμβανομένων των πηγών και της παλαιότητας των δεδομένων) και στις μεθοδολογίες. Μεθοδολογικές διαφορές υπάρχουν στις επιλογές των ορίων των συστημάτων και στις διαδικασίες κατανομής.

Οι πρώτες ύλες που έχουν το μεγαλύτερο δυναμικό για παραγωγή αιθανόλης είναι η λιγνοκυτταρική βιομάζα, που περιλαμβάνει υλικά όπως γεωργικά υπολείμματα (π.χ., ξηρής βιομάζας καλαμποκιού, άχυρα συγκομιδών, υπολείμματα εκχύλισης ζαχαροκάλαμων), ποώδεις καλλιέργειες (π.χ. ήμερο τριφύλλι (alfalfa), switchgrass), τα βραχείας εναλλαγής ξυλώδεις καλλιέργειες, τα υπολείμματα δασοκομίας, το απόβλητο χαρτί και άλλα απόβλητα. Η ξηρή βιομάζα καλαμποκιού αναφέρεται σε όλα τα ανωτέρω υπέργεια μέρη του αραβόσιτου εκτός από το σπόρο. Παράγονται περίπου ίσες μάζες υπολειμμάτων βιομάζας και σπόρου. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, περισσότερο από το 90% των υπολειμμάτων βιομάζας καλαμποκιού εγκαταλείπεται στους αγρούς. Για βιομηχανική επεξεργασία συλλέγεται λιγότερο από το 1% της ξηρής βιομάζας του καλαμποκιού, και περίπου το 5% συσκευάζεται για ζωοτροφή και κλινοστρωμή. Το National Renewable Laboratory (NREL) πραγματοποίησε πρόσφατα μια μελέτη εκτίμησης των κύκλων ζωής για την παραγωγή αιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκιού, και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η χρήση αιθανόλης από ξηρή βιομάζα καλαμποκιού σαν υγρό καύσιμο μπορεί επίσης να μειώσει την κατανάλωση μη ανανεώσιμης ενέργειας και να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Στην έκθεση του NREL, η ξηρή βιομάζα καλαμποκιού επεξεργάζεται με αραιό θειικό οξύ για να μετατραπεί η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη σε διαλυτά σάκχαρα, και ακολουθεί ταυτόχρονη ενζυματική σακχαροποίηση και ζύμωση, για να παραχθεί αιθανόλη. Τα πλούσια σε λιγνίνη υπολείμματα ζύμωσης χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού. Μολονότι δεν υπάρχει εμπορική βιομηχανία μετατροπής της ξηρής βιομάζας του καλαμποκιού σε αιθανόλη, μια τέτοια βιομηχανία θα μπορούσε να προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη σε διάφορες κατηγορίες.

Οι Gasol et al. (2007), στην Ισπανία, προκειμένου να επιδείξουν τις μεγάλες δυνατότητες που έχει το φυτό *Brassica carinata* ως πηγή ανανεώσιμης ενέργειας στη νότια Ευρώπη, ανέλυσαν την ενεργειακή και την περιβαλλοντική επίδοση της παραγωγής του φυτού, στο Soria της Ισπανίας, με τη μεθοδολογία της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA).

Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης των μέσων όρων των επιπτώσεων, έδειξε ότι η χρήση των λιπασμάτων είναι η διαδικασία με τη μεγαλύτερη επίπτωση στις 6 από τις 10 κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εξετάστηκαν, αντιπροσωπεύοντας ένα ποσοστό μεταξύ 51% και 68% των επιπτώσεων σε αυτές τις κατηγορίες. Η δεύτερη πιο σημαντική επίπτωση παρουσιάζεται όταν χρησιμοποιείται ντίζελ σε γεωργικούς ελκυστήρες και οχήματα μεταφοράς, και αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό μεταξύ 48 και 77%. Η

συνεισφορά του καλλιεργητικού συστήματος στην κατηγορία της παγκόσμιας υπερθέρμανσης είναι $12,7 \text{ g CO}_2 \text{ eq. MJ}^{-1}$ παραγόμενης βιομάζας. Θεωρώντας μία προκαταρκτική εκτίμηση της χωρητικότητας της *B. carinata* σε μετατοπισμένο CO_2 ($631 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) από βιομάζα υπεδάφους μέσα στο χώμα, οι εκπομπές μειώνονται μέχρι $5,2 \text{ g CO}_2 \text{ eq. MJ}^{-1}$. Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα όπως είναι το φυσικό αέριο, μειώνει την κατανάλωση αρχικής ενέργειας κατά 33,2% και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από 33,1 έως 71,2% ανάλογα με το αν υπολογίζεται η μετατόπιση του CO_2 . Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποστηρίζουν τον ισχυρισμό ότι η καλλιέργεια του φυτού *B. carinata* είναι βιώσιμη από την άποψη της ενεργειακής ισορροπίας και του περιβάλλοντος για παραγωγή στερεού καυσίμου από λιγνοκυτταρίνη, που προορίζεται για παραγωγή ενέργειας στη νότια Ευρώπη. Επιπλέον, η επίδοση της καλλιέργειας θα μπορούσε να βελτιωθεί, κι έτσι να αυξηθούν η ενέργεια και τα περιβαλλοντικά οφέλη.

Στην εργασία των Kallivroussis et al. (2002) μελετήθηκε το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ των εισροών και εκροών ανά μονάδα έκτασης για την καλλιέργεια ηλίανθου στην Ελλάδα, προκειμένου να αξιολογηθεί ως πηγή για παραγωγή βιοντίζελ. Προϋπόθεση για να εξεταστεί μια καλλιέργεια ηλίανθου για παραγωγή βιοντίζελ, είναι η παροχή θετικής επιστροφής ενέργειας σε σύγκριση με την ενέργεια που χρησιμοποιείται για να παραχθούν καύσιμα. Αυτό εξαρτάται εν μέρει από την εισροή ενέργειας στην παραγωγή ηλίανθου. Ο υπολογισμός των εισροών ενέργειας βασίστηκε στις διαδικασίες και τις διάφορες εισροές όπως εκτελούνται από τους αγρότες στον Έβρο. Για να υπολογιστεί η ενέργεια που απαιτήθηκε (α) για να παραχθούν οι σπόροι του ηλίανθου, (β) για να κατασκευαστούν τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα και (γ) για να παραχθούν και να χρησιμοποιηθούν τα αγροτικά μηχανήματα, λήφθηκαν δεδομένα για την κατανάλωση ενέργειας από τη βιβλιογραφία. Οι εκροές ενέργειας υπολογίστηκαν απλώς με τον πολλαπλασιασμό της παραγωγής των σπόρων και των στελεχών ηλίανθου με την αντίστοιχη ενεργειακή αξία τους. Η συνολική εισροή ενέργειας υπολογίστηκε $10,49 \text{ GJ/ha}$, με τα λιπάσματα να είναι οι σημαντικότερες εισροές. Υποθέτοντας μια τυπική παραγωγή ηλίόσπορων 1800 kg/ha^{-1} , όπως συμβαίνει υπό κανονικές συνθήκες σε εύφορα ξηρικά εδάφη, και λαμβάνοντας υπόψη την ενεργειακή αξία του σπόρου, η αξία της καθαρής ενέργειας υπολογίστηκε στα $36,87 \text{ GJ/ha}$ και η αναλογία των ενεργειακών αποτελεσμάτων στο σπόρο ηλίανθων 4.5:1. Οι σπόροι ηλίανθου είναι μια καλλιέργεια που εξετάζεται για την παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα, επειδή θεωρείται ότι είναι καλοί «αποθηκευτές» βιομάζας. Οι δυνατότητες μείωσης των ενεργειακών εισροών είναι πολύ περιορισμένες.

Οι πληροφορίες παραγωγής για τη καλλιέργεια ηλίανθων συγκεντρώθηκαν με τη βοήθεια συνεντεύξεων με τους αγρότες και από αυτά τα δεδομένα ορίστηκε μια τυπική μέθοδος παραγωγής. Η άρδευση δεν εξετάστηκε, δεδομένου ότι οι ετήσιες βροχοπτώσεις μπορούν να εξασφαλίσουν μια ικανοποιητική παραγωγή. Επιπλέον, δεδομένου ότι η ξηρική καλλιέργεια μειώνει την περίοδο ανάπτυξης και αυξάνει τη φυσική ξήρανση, δεν λήφθηκε υπόψη η αποξήρανση.

Η απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή του ηλίανθου ταξινομήθηκε σε άμεση και έμμεση. Ως άμεσες ενεργειακές εισροές χαρακτηρίστηκαν οι ποσότητες που καταναλώθηκαν κατά τη διάρκεια της παραγωγής των σπόρων ηλίανθων (πραγματική ενέργεια που εμπεριέχεται στα καύσιμα ντίζελ, στα λιπάσματα και στα χημικά που χρησιμοποιήθηκαν. Οι έμμεσες ενέργειες ήταν αυτές που απαιτούνταν για την κατασκευή και τη συντήρηση των άμεσων εισροών και των ανθεκτικών στοιχείων, όπως οι ελκυστήρες και ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Ως έμμεσες ενεργειακές εισροές θεωρήθηκαν: η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή του χάλυβα από τον οποίο κατασκευάστηκε ο μηχανολογικός εξοπλισμός και τα εργαλεία, η ενέργεια που απαιτήθηκε για τη διύλιση του αργού πετρελαίου σε καύσιμα ντίζελ, κ.λπ.. Τα κατάλληλα ενεργειακά ισοδύναμα για να υπολογιστούν οι έμμεσες και οι άμεσες ενεργειακές εισροές, προήλθαν από διάφορες πηγές.

Σε μία άλλη έρευνα εξετάστηκε η αποδοτικότητα της χρήσης ενέργειας κατά την παραγωγή χειμερινού σίτου και ζαχαρότευτλων στην Ευρώπη. Την έρευνα αυτή πραγματοποίησαν οι Kuesters and Lammel (1999), οι οποίοι για να πετύχουν το βασικό τους στόχο άντλησαν στοιχεία κάνοντας πειράματα σε διάστημα που αφορούσε στην περίοδο από το 1989 έως το 1997, σε 76 χωράφια χειμερινού σίτου και 21 χωράφια από ζαχαρότευτλα που βρίσκονταν στη Γερμανία στην περιοχή Ριν Μάιν (Rhine-Main), σε μια περιοχή της Σαξονίας και σε περιοχές της Βεστφαλίας. Τα χωράφια ανήκαν σε διάφορους αγρότες από περιοχές της Γερμανίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνητών για την κατανάλωση της ενέργειας, αυτή θα μπορούσε να διαχωριστεί σε τρεις κύριες κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα, στην παραγωγή λιπάσματος αζώτου, στην παραγωγή και στις μεταφορές άλλων εισροών στο χωράφι, όπως σπόροι ή γεωργικά μηχανήματα και γεωργικές εργασίες όπως προετοιμασία του εδάφους, λιπασματοδιανομή και συγκομιδή. Σε πολλές από αυτές τις κατηγορίες, όπως είναι η προετοιμασία του εδάφους, τα ποσά της ενέργειας τα οποία καταναλώνονται, δεν εξαρτώνται από το επίπεδο έντασης παραγωγής της σοδειάς. Η ενέργεια που καταναλώνεται μέσω των εισροών των

λιπασμάτων είναι μια μεταβλητή που εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό των λιπασμάτων αζώτου (N) που χρησιμοποιούνται. Πιο συγκεκριμένα από τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνεται ότι υπάρχει μια καθαρή γραμμική σχέση ανάμεσα στο αυξανόμενο ποσοστό λιπασμάτων αζώτου και της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται ως εισροή για την παραγωγή του χειμερινού σίτου και των ζαχαρότευτλων. Όσον αφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο (εισροές/εκροές), αυτό χρησιμοποιείται ως παράμετρος για να περιγράψει την αποδοτικότητα για την παραγωγή σοδειάς.

Τέλος, οι ανωτέρω ερευνητές κατόρθωσαν να υπολογίσουν τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση για τα συστήματα παραγωγής του χειμερινού σίτου και των ζαχαρότευτλων, συμπεριλαμβανομένης και της ενέργειας για τα λιπάσματα, τους σπόρους, τα γεωργικά μηχανήματα, τις μεταφορές από το εργοστάσιο στα χωράφια και όλες τις γεωργικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα. Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογισμός του παράγοντα της ενεργειακής αποδοτικότητας της χρήσης λιπάσματος αζώτου, αποκάλυψε ότι το ποσό της ενέργειας που αποκτήθηκε κατά την αύξηση στη βιομάζα συγκομιδών λόγω του λιπάσματος, υπερβαίνει το λιγότερο πέντε φορές την εισροή της ενέργειας που οφείλεται στην εφαρμογή του λιπάσματος.

Είναι εξαιρετικά σημαντικό να περιλαμβάνεται η χρήση της γης στις μελέτες αγροτικής και δασικής παραγωγής, υποστηρίζουν σε μελέτη τους οι Mattsson et al. (2000). Στις AKZ, μία από τις κατηγορίες επιπτώσεων στους φυσικούς πόρους είναι η χρήση γης. Σπάνια όμως οι επιπτώσεις από τη χρήση γης περιλαμβάνονται σε ανάλογες μελέτες, λόγω της έλλειψης καθιερωμένης μεθοδολογίας. Οι AKZ είναι περισσότερο εστιασμένες σε ροές υλικών και δεν ισχύει κάποια επίσημη συμφωνία για τον τρόπο περιγραφής της χρήσης γης στις καταγραφές δεδομένων. Πρόσφατα άρχισαν να υλοποιούνται ερευνητικά προγράμματα με στόχο την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας εκτίμησης της χρήσης γης. Οι αντικειμενικοί σκοποί αυτής της μελέτης ήταν να (i) υποδειχθούν περιβαλλοντικοί σκοποί για τη χρήση της αγροτικής γης, (ii) προταθεί ένα σύνολο δεικτών για εκτίμηση της χρήσης γης, και να (iii) ελεγχθεί η προτεινόμενη προσέγγιση σε περιπτώσιολογικές μελέτες καλλιεργούμενων ελαιούχων φυτειών. Η μέθοδος ελέγχεται σε περιπτώσιολογικές μελέτες τριών καλλιεργούμενων ελαιούχων φυτειών, στη σουηδική ελαιοκράμβη, στη βραζιλιανή σόγια και στο Μαλαισιανό φοίνικα. Το αποτέλεσμα αυτής της μελέτης είναι η επιλογή των εξής δεικτών: διάβρωση του εδάφους, οργανική ύλη στο έδαφος, εδαφική δομή, εδαφικό pH, βαθμός του φωσφόρου και του ποτάσιου στο έδαφος και επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα. Αν χρησιμοποιηθούν όλοι μαζί ταυτόχρονα το αποτέλεσμα θα είναι ένα μείγμα

ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών, που δεν θα μπορεί να επεξεργαστεί με αποδεκτό τρόπο. Επομένως, όταν η εκτίμηση της χρήσης γης πραγματοποιείται με αυτό τον τρόπο, δεν περιλαμβάνει μόνο ποσοτικά αποτελέσματα, αλλά και ποιοτικές περιγραφές.

Για την εκτίμηση της υποκατηγορίας «επίπτωση στη γονιμότητα του εδάφους» σε αγροκτήματα επιλέχθηκαν επτά δείκτες, ενώ η «βιοποικιλότητα» και η «αισθητική τοπίου» διαχειρίστηκαν ως διαφορετικές υποκατηγορίες στην κατηγορία «επιπτώσεις από τη χρήση γης». Αυτοί οι δείκτες βασίστηκαν στις επιστήμες του εδάφους και συζητήθηκαν με ειδικούς του Σουηδικού Πανεπιστημίου των Γεωπονικών Επιστημών. Τα δεδομένα διερευνήθηκαν και λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία, το διαδίκτυο και από προσωπική επικοινωνία. Η εργασία για την περιπτώσιολογική μελέτη ανέδειξε την έλλειψη δεδομένων για την πλήρη αξιολόγηση της χρήσης γης, κάτι που αντιμετώπισαν και άλλοι μελετητές. Η δυσκολία εύρεσης δεδομένων ήταν ιδιαιτέρως μεγάλη για τους προτεινόμενους δείκτες υδρολογίας, συσσώρευσης βαρέων μετάλλων και αισθητικής αξιολόγησης του τοπίου. Η επιλογή των συγκεκριμένων εσοδειών ανέδειξε τα προβλήματα που σχετίζονται με τη λήψη δεδομένων από εισαγόμενες εσοδείες. Για διάφορους λόγους δεν συμπεριλήφθησαν άλλοι δείκτες.

Οι πληροφορίες για τη διάβρωση του εδάφους κρίθηκαν σημαντικές μιας και η διάβρωση είναι μια σοβαρή απειλή για τα εδάφη παγκοσμίως και δείχθηκε στις περιπτώσιολογικές μελέτες, ότι είναι δυνατό να βρεθούν πληροφορίες για διαφορετικές εσοδείες. Οι οργανικές ουσίες είναι απαραίτητες στα φτωχά εδάφη για την παροχή θρεπτικών συστατικών στα φυτά: Η περίπτωση της σόγιας έδειξε ότι η απώλεια οργανικής ύλης ήταν η πιο σοβαρή απειλή για τη βιώσιμη καλλιέργειά της. Αποδεικνύεται τεκμηριωμένα ότι το συμπυκνωμένο έδαφος έχει μειωμένη απόδοση και αυτό είναι ιδιαιτέρως σοβαρό, επειδή είναι σχεδόν μη αναστρέψιμο φαινόμενο. Τα αποτελέσματα για τις τρεις μελέτες έδειξαν ότι είναι δύσκολο να συγκεντρωθούν λεπτομερείς πληροφορίες για τις επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα για μία και μόνο εσοδεία. Στην εν λόγω μελέτη δείχθηκε ότι μπορεί να υπάρχει μια συνολική εικόνα των επιπτώσεων από διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας, σε διαφορετικά μέρη του κόσμου με μεγάλη βιοποικιλότητα.

Τα είδη των αποτελεσμάτων που αποκτώνται όταν εφαρμόζεται η προτεινόμενη μέθοδος, παρουσιάζονται από ένα παράδειγμα κράμβης και σόγιας βασισμένο σε δεδομένα των Blix and Mattsson (1998). Αν επιλεγθεί ο καταμερισμός κατά βάρος, απαιτείται καλλιεργητική γη 0,34 εκτάρια ανά τόνο κράμβης και 0,45 εκτάρια ανά τόνο σόγιας. Η διάβρωση εδάφους ανά έτος για

την κράμβη μπορεί να εκτιμηθεί στα 10-20 kg εδάφους ανά τόνο, και στα 3600 kg εδάφους ανά τόνο σόγιας. Το περιεχόμενο σε οργανική ουσία του εδάφους είναι περίπου 3-4% σε σταθερή κατάσταση στα σουηδικά εδάφη, όπου καλλιεργείται ελαιοκράμβη. Η οργανική ουσία έχει μεγαλύτερη σημασία για τα εδάφη της Βραζιλίας, δεδομένου ότι δεν είναι ικανά να συγκρατούν τις θρεπτικές ουσίες των φυτών. Το περιεχόμενο σε οργανική ουσία, που καταγράφηκε περίπου 0,9-5%, και η εντατική καλλιέργεια του εδάφους, συνδυασμένη με υψηλή θερμοκρασία εδάφους, επιταχύνει την αποδόμηση της οργανικής ουσίας. Το συμπιεσμένο έδαφος, σε ένα σύστημα καλλιέργειας που έχει την ελαιοκράμβη ως μέρος του καλλιεργητικού κύκλου, είναι ένα πρόβλημα για τη μακροχρόνια γονιμότητα. Παρ' όλο που δεν βρέθηκαν συγκεκριμένα δεδομένα για την ελαιοκράμβη αναφέρθηκε μείωση της παραγωγής στη Σουηδία. Για την καλλιέργεια σόγιας δεν αναφέρθηκε και συμπίεση εδάφους.

Η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης οδηγεί σε απώλεια αζώτου, ενώ στην καλλιέργεια σόγιας εκτός από τη διάβρωση του εδάφους υπάρχει και απώλεια φωσφόρου. Αυτές οι εκπομπές διαχειρίστηκαν στην κατηγορία επιπτώσεων «ευτροφισμός». Δεδομένου ότι η λίπανση φαίνεται να είναι αρκετά ισορροπημένη με την παραγωγή, το περιεχόμενο σε K και P μπορεί να θεωρηθεί σταθερό, τόσο για την ελαιοκράμβη όσο και για τη σόγια. Η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης προσφέρει μεγαλύτερη βιοποικιλότητα στη σουηδική φύση, ενώ η διεύρυνση της καλλιέργειας της σόγιας αποτελεί απειλή για τη βιοποικιλότητα στην περιοχή «cerrado» της Βραζιλίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας καθιστούν την επιλογή μεταξύ της ελαιοκράμβης και της σόγιας αρκετά ξεκάθαρη. Η σόγια απαιτεί περίπου 30% περισσότερη καλλιεργήσιμη γη και για πολλούς από τους επιλεγμένους δείκτες, π.χ. διάβρωση εδάφους και βιοποικιλότητα, είναι ξεκάθαρο ότι η καλλιέργεια της σόγιας συνδέεται με σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Οι περιπτώσιολογικές μελέτες έδειξαν επίσης ότι κάποιες φορές είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη η αλλαγή στη χρήση της γης. Στη Βραζιλία, η παραγωγή σόγιας τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί τάχιστα. Κάποιες φορές περιοχές χρησιμοποιούνται μόνο για μια μικρή περίοδο, και μετά εκμεταλλεύονται νέες περιοχές. Για το λόγο αυτό, φαίνεται λογικό να συμπεριληφθεί η μετατροπή γης και να καταμεριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις σοδειές που καλλιεργούνται, όπως η απώλεια βιοποικιλότητας. Στη Μαλαισία, οι φυτείες φοινίκων επίσης επεκτείνονται, κάποιες φορές θυσιάζοντας τα ανεκτίμητα δάση των βροχών (τα λεγόμενα rain forest). Η κατάσταση αυτή θέτει το ερώτημα: Είναι σωστό να λαμβάνεται υπόψη μόνο η συνεχής χρήση της αγροτικής γης στη

Σουηδία, όπου η γη άλλαξε χρήση εκατοντάδες χρόνια πριν ή θα πρέπει να περιληφθεί και αυτή η αλλαγή; Δεδομένου ότι οι ΑΚΖ σήμερα χρησιμοποιούνται μόνο για να ληφθούν αποφάσεις, οι μελετητές πιστεύουν ότι είναι ρεαλιστικό να εξαιρεθεί το αποτέλεσμα της ιστορικής αλλαγής της χρήσης γης, μιας και δεν επηρεάζεται από τις αποφάσεις που λαμβάνονται σήμερα.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, επιλέχθηκε να διεξαχθεί μία καταγραφή πολλών δεικτών χώρου που παρουσιάζονται χωρίς συσχετισμό. Άλλοι συγγραφείς υποστηρίζουν μια πιο γενική προσέγγιση, κατά την οποία ορίζουν τις επιπτώσεις στη βιολογική παραγωγή με διάφορους τρόπους. Περιλαμβάνουν επίσης στην εκτίμηση και τη βιοποικιλότητα.

Η μελέτη των Brentrup et al. (2004), εξέτασε την περιβαλλοντική επίπτωση των διαφορετικών ποσοστών αζωτούχων (N) λιπασμάτων στην παραγωγή χειμερινού σίτου με τη χρήση μιας νέας μεθόδου αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA), η οποία προσαρμόστηκε συγκεκριμένα στην παραγωγή συγκομιδών. Το σύστημα παραγωγής σίτου που μελετήθηκε, σχεδιάστηκε σύμφωνα με την "καλή γεωργική πρακτική". Οι πληροφορίες για την απόδοση των καλλιεργειών που ανταποκρίθηκαν σε διαφορετικά ποσοστά N λήφθηκαν από μια μακροπρόθεσμη δοκιμή στο πεδίο στο H.B. (Broadbalk Experiment, Rothamsted). Η ανάλυση εξέτασε ολόκληρο το σύστημα, που απαιτήθηκε για να παράγει 1 τόνο σίτου. Συμπεριέλαβε τη λήψη των πρώτων υλών (π.χ. ορυκτά καύσιμα, ορυκτά πετρώματα), την παραγωγή και μεταφορά των εισροών καλλιέργειας (π.χ. λιπάσματα) και όλες τις γεωργικές διεργασίες στο πεδίο (π.χ. άρωση, συγκομιδή). Στο πρώτο βήμα, όλες οι εκπομπές και η κατανάλωση φυσικών πόρων, που συνδέθηκαν με τις διαφορετικές διεργασίες, καταγράφηκαν σε έναν κατάλογο κύκλου ζωής (LCI) και σχετίστηκαν σε μία κοινή μονάδα, η οποία είναι 1 τόνος σίτου. Έπειτα πραγματοποιήθηκε μία Εκτίμηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (LCIA), στην οποία τα δεδομένα από την καταγραφή αθροίζονται σε δείκτες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες περιέλαβαν τη μείωση των αβιοτικών φυσικών πόρων (ορυκτά καύσιμα, ορυκτό φωσφορικό άλας, ανθρακικό κάλιο), τη χρήση γης, την κλιματική αλλαγή, την τοξικότητα (ανθρώπινη τοξικότητα και οικοτοξικότητα), την οξίνιση, και τον ευτροφισμό (στη ξηρά και στα ύδατα). Μετά από την κανονικοποίηση και τη στάθμιση των τιμών/αξιών των δεικτών κατέστη δυνατό να υπολογιστούν οι συνοπτικοί δείκτες για τη μείωση των φυσικών πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (EcoX). Σε ποσοστά N, 48, 96, 144 ή 192 kg N/ha ο περιβαλλοντικός δείκτης "EcoX" παρουσίασε παρόμοιες τιμές ανά τόνο σπόρου (0,16–0,22 EcoX/ton σπόρου). Στα πολύ χαμηλά ποσοστά αζώτου, η χρήση γης ήταν ο βασικός –

περιβαλλοντικός παράγοντας, ενώ στα υψηλά ποσοστά αζώτου ο «ευτροφισμός» ήταν το σημαντικότερο πρόβλημα. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η αγρονομική βέλτιστη καλλιεργήσιμη γεωργία δεν συγκρούεται απαραίτητως με οικονομικούς και περιβαλλοντικούς όρους.

4. Περιβαλλοντική αξιολόγηση του κύκλου ζωής της παραγωγής ελαιοσπόρου του φυτού *Cynara cardunculus* L.

4.1 Εισαγωγή

Η εκπόνηση μιας ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής αξιολόγησης κύκλου ζωής, για οποιοδήποτε προϊόν, ενέχει πολλές δυσκολίες. Πολλές δυσκολίες υπήρξαν και στην παρούσα μελέτη. Ιδανικά, μια πλήρης μελέτη πρέπει να περιλάβει τη γεωργική παραγωγή, τη βιομηχανική επεξεργασία, την αποθήκευση και διανομή, τη χρήση καθώς και τη διαχείριση των αποβλήτων. Όλα αυτά συνθέτουν ένα μεγάλο και πολύπλοκο σύστημα. Απαιτείται, λοιπόν, να γίνουν κάποιες παραδοχές και απλοποιήσεις, οι οποίες θα επιτρέψουν τη μοντελοποίηση του πολυσύνθετου προβλήματος.

Ένα από τα μεγάλα προβλήματα κατά την αξιολόγηση ενός κύκλου ζωής κάποιου προϊόντος είναι η έλλειψη, διαθέσιμων στο ευρύ κοινό, δεδομένων. Μια επιπλέον δυσκολία είναι ότι, η ΑΚΖ ενός αγροτικού προϊόντος όπως είναι ο σπόρος ενός φυτού, πρέπει να αντλεί πληροφορίες από πολλούς επιστημονικούς κλάδους, όπως η γεωπονία, η γεωργική μηχανική, η μηχανική περιβάλλοντος, η βιολογία κ.α.. Η εξεύρεση δεδομένων εισροής υπήρξε εξαιρετικά δύσκολη, λόγω απουσίας σχετικής βιβλιογραφίας. Τα πλέον αξιόπιστα δεδομένα στην ΑΚΖ συλλέγονται από την εμπειρία εμπλεκόμενων στην αγροτική παραγωγή.

4.2 Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου μελέτης

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση του κύκλου ζωής της παραγωγής ελαιοσπόρου του φυτού *Cynara cardunculus* L. για παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα, καθώς και η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του. Το αντικείμενο της έρευνας περιλαμβάνει τις γεωργικές εργασίες που απαιτούνται για την καλλιέργεια του φυτού, τη συγκομιδή του σπόρου και τη μεταφορά του στο εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία προέκυψαν από επίσκεψη στην εταιρεία Agricon – Γεωργικοί Σύμβουλοι, η οποία είναι η μοναδική εταιρεία αυτού του κλάδου που έχει εξειδικευτεί στην καλλιέργεια της *Cynara cardunculus* L. και ακολούθησε συνεχής τηλεφωνική επικοινωνία με σκοπό τη διευκρίνιση κάποιων σημείων, τόσο με την εν λόγω εταιρεία όσο και με άτομα που απασχολούνται στον αγροτικό τομέα, με επιστήμονες γεωπόνους, καθώς και με γνώστες των επιστημών που εμπλέκονται στο αντικείμενο της έρευνας.

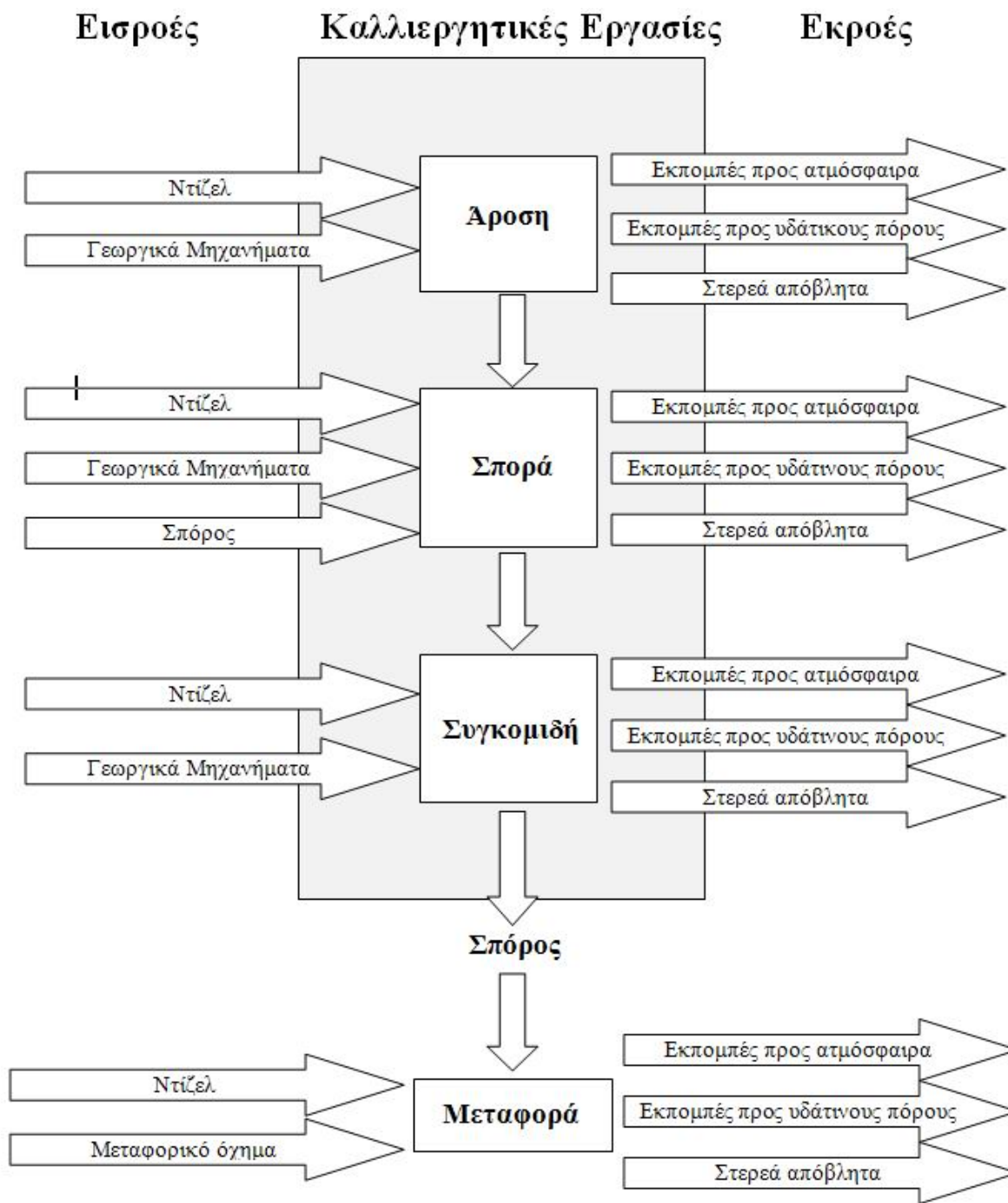
4.3 Καθορισμός ορίων συστήματος

Το σύστημα που εξετάζεται περιστρέφεται γύρω από τον παραχθέντα σπόρο του φυτού *Cynara cardunculus* L. Το συγκεκριμένο προϊόν κεντρίζει το ενδιαφέρον όσων ασχολούνται με την παραγωγή βιοντίζελ, λόγω της υψηλής θερμογόνου δύναμης που διαθέτει. Ανώτερη θερμογόνος δύναμη σπόρου - HCV: 5576 cal/g (23.341 kJ/kg) και 736 Mcal/t (3.081 MJ/t) της συνολικής βιομάζας. Κατώτερη θερμογόνος δύναμη σπόρου – LCV: 5208 cal/g (21.801 kJ/kg) και 687 Mcal/t (2.876 MJ/t) της συνολικής βιομάζας. Για χάριν σύγκρισης αναφέρονται ενδεικτικά οι θερμογόνες δυνάμεις δύο άλλων φυτών: το φυτό *Jatropha gossypifolia* διαθέτει $3550,09 \pm 19,0$ (cal/g), το φυτό *Achras sapota* διαθέτει $4604,09 \pm 27,3$ (cal/g), (Augustus and Seiler, 2001).

Το σύστημα που ερευνήθηκε περιλαμβάνει 4 βασικές διαδικασίες, οι τρεις εκ των οποίων είναι γεωργικές εργασίες και η τέταρτη είναι η μεταφορά του προϊόντος:

1. Βαθιά άροση αγροτεμαχίου
2. Σπορά αγροτεμαχίου
3. Συγκομιδή του παραχθέντος σπόρου
4. Μεταφορά του σπόρου σε εργοστάσιο βιοντίζελ.

Το διάγραμμα ροής και τα όρια του συστήματος που μελετήθηκε παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. Το σύστημα ξεκινά από την άροση και καταλήγει στο εργοστάσιο. Ενδιάμεσα παρουσιάζονται τα υπόλοιπα στάδια του κύκλου ζωής.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής του εξεταζόμενου συστήματος

4.4 Λειτουργική μονάδα

Η λειτουργική μονάδα που επιλέχθηκε είναι: η παραγωγή ελαιοσπόρου από ένα αγροτεμάχιο με έκταση 4 εκτάρια στην περιοχή της Λάρισας, στο χρονικό διάστημα των 10 ετών που διαρκεί ο κύκλος του φυτού *Cynara cardunculus* L..

4.5 Πηγές δεδομένων

Τα πρωτογενή στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην αξιολόγηση αυτή αφορούν πρωτογενή καλλιεργητικά δεδομένα, βάσει της καλλιέργειας που προτείνει η Agricon ως εταιρεία γεωργικών συμβούλων. Επίσης, αξιοποιήθηκαν δημοσιευμένα ερευνητικά δεδομένα από έγκριτα περιοδικά, καθώς και στοιχεία σχετικά με τις καταναλώσεις καυσίμων γεωργικών μηχανημάτων, που επικοινωνήθηκαν από αγρότες, οι οποίοι είναι γνώστες της χρήσης του κατάλληλου γεωργικού μηχανολογικού εξοπλισμού. Οι συντελεστές εκπομπών ρύπων που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της απογραφής δεδομένων αντλήθηκαν από το πρόγραμμα SimaPro 5.0.

4.6 Περιγραφή του συστήματος: Παραδοχές – Αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών

Παρατίθενται οι παραδοχές που έγιναν για την μοντελοποίηση του συστήματος στο στάδιο της Απογραφής των δεδομένων, καθώς και η αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών.

4.6.1 Καλλιέργεια

- Η επιλεγμένη λειτουργική μονάδα είναι η παραγωγή ελαιοσπόρου από ένα αγροτεμάχιο με έκταση 4 εκτάρια, σε χρονικό διάστημα των 10 ετών. Η ποσότητα αυτή είναι 66,6 tn σπόρου.
- Η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα στην αγροτική περιοχή του νομού Λάρισας.
- Το βασικό γεωργικό μηχάνημα που χρησιμοποιείται είναι ένας γεωργικός ελκυστήρας (τρακτέρ), πάνω στον οποίο εφαρμόζονται τα διάφορα γεωργικά εξαρτήματα.
- Στη συγκεκριμένη καλλιέργεια και για την έκταση που ορίζεται από τη λειτουργική μονάδα, αποδοτικός θεωρήθηκε ένας ελκυστήρας με ισχύ κατά ISO TR14396 2000/25/EC, 100 ίππων ή 73,5kW.

- Για την προετοιμασία του εδάφους εφαρμόζεται βαθιά άροση, 50-60 cm με τον προαναφερθέντα γεωργικό ελκυστήρα.
- Δεν εφαρμόζεται λίπανση του εδάφους
- Δεν πραγματοποιούνται αρδεύσεις
- Δεν εφαρμόζεται φυτοπροστασία
- Για την σπορά χρησιμοποιούνται 400 gr σπόρου ανά στρέμμα, 4 kg ανά ha και ο γεωργικός ελκυστήρας.
- Για τη συγκομιδή χρησιμοποιείται θεριζοαλωνιστική μηχανή αραβόσιτου.

4.6.2 Μεταφορά από το χωράφι στο εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ

- Αφού συγκομιστεί, ο σπόρος μεταφέρεται σε εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ, το οποίο βρίσκεται στη Λαμία, σε απόσταση 148 km.
- Ο σπόρος μεταφέρεται χωρίς συσκευασία.
- Το μεταφορικό όχημα επιλέχθηκε από τη βάση δεδομένων του SimaPro 5, βάση του φορτίου που μπορεί να μεταφέρει, το οποίο είναι 16 τόνοι.
- Οι παράγοντες εκπομπής αερίων (ρύπος g/km) και η κατανάλωση καυσίμων υπολογίζονται με τη χρήση του προγράμματος SimaPro. Ο υπολογισμός είναι βασισμένος στον τύπο οχήματος. Οι ρύποι που υπολογίστηκαν ήταν CO, NO_x, VOC, PM, CO₂, και SO₂. Οι εκπομπές και η κατανάλωση καυσίμων από την οδική μεταφορά υπολογίζονται βασισμένοι σε τονοχιλιόμετρα.

4.6.3 Αναλυτική περιγραφή διαδικασιών

Το φυτό *Cynara cardunculus* L., έχει διάρκεια ζωής που ξεπερνάει με άνεση τα 10 έτη και στην πραγματικότητα είναι αυτοφυές και ζιζάνιο. Όταν καλλιεργείται για ενεργειακούς σκοπούς, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, μπορούν να εφαρμοστούν λιπάνσεις, φυτοπροστασία και αρδεύσεις. Σύμφωνα όμως με την εταιρεία Agricon, εξίσου καλές αποδόσεις μπορούν να

επιτευχθούν και χωρίς τις προαναφερθείσες γεωργικές εφαρμογές. Αυτή η τακτική προτείνεται και στους Έλληνες καλλιεργητές, από τους γεωργικούς συμβούλους της εταιρείας, αυτή η τακτική τηρήθηκε και στο εξεταζόμενο σύστημα της παρούσας εργασίας.

Η εταιρεία Agricon, εκτός από την πληροφόρηση των αγροτών με τους οποίους συνεργάζεται, έχει αναλάβει και την επιστημονική υποστήριξή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των καλλιεργειών, αλλά και την καταγραφή της πορείας αυτών. Το φυτό σπέρνεται το πρώτο έτος, βλαστάνει και κατά αυτό το χρονικό διάστημα αναπτύσσεται το ριζικό του σύστημα, χωρίς μεγάλες αποδόσεις βιομάζας. Από το δεύτερο έτος και μετά έχει φτάσει στο μέγιστο δυνατό ύψος και αναπτύσσει υπέργεια βιομάζα. Το εξαιρετικά πλούσιο φύλλωμά του, σκεπάζει εναερίως την επιφάνεια του εδάφους και δεν επιτρέπει σε άλλα ζιζάνια να βλαστήσουν. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν χρειάζεται ζιζανιοκτονία. Το εξαιρετικά μεγάλο ριζικό σύστημα που διαθέτει, μπορεί να φτάσει σε μεγάλο βάθος και να αξιοποιήσει νερό που υπάρχει σε υπόγειους μικρούς υδατικούς ταμιευτήρες, αλλά και θρεπτικά από προηγούμενες λιπάνσεις που είχαν εφαρμοστεί στο παρελθόν στην περιοχή, οπότε μπορεί να αναπτυχθεί επαρκώς και χωρίς αρδεύσεις. Όπως όλα τα φυτά, εάν λιπανθεί και αρδευτεί θα έχει μεγαλύτερες αποδόσεις, αλλά ικανοποιητικότες κρίνονται και αυτές που προκύπτουν από τη ξηρική καλλιέργεια, με απουσία λίπανσης.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι *Cynara cardunculus* L. είναι ζιζάνιο και αυτό σημαίνει ότι, είναι πολύ πιθανό να επεκταθεί στην περιοχή σποράς και να προκαλέσει προβλήματα σε άλλες καλλιέργειες, στην περίπτωση που στην περιοχή πραγματοποιείται βιολογική γεωργία. Όταν σε μια περιοχή καλλιεργούνται φυτείες με τις συμβατικές μεθόδους (συμπεριλαμβάνουν ζιζανιοκτονία), η *Cynara* μπορεί να καταπολεμηθεί ως ζιζάνιο σε περίπτωση που αποικίσει μέσα σε μια άλλη φυτεία.

Γενικότερα, η καλλιέργεια της *Cynara cardunculus* L. ενδείκνυται για άγονες περιοχές και περιοχές που απειλούνται με διάβρωση, λόγω της ικανότητας της να αναπτύσσεται σε φτωχά εδάφη από άποψη θρεπτικών και λόγω της ικανότητάς της να συγκρατεί το έδαφος με το εκτεταμένο και ισχυρό ριζικό της σύστημα.

Για την καλλιέργεια του πραγματοποιούνται τρεις γεωργικές εργασίες:

1. Άροση σε βάθος 50 – 60 cm
2. Σπορά

3. Συγκομιδή του σπόρου

Η υπόλοιπη βιομάζα του φυτού, στο εξεταζόμενο σύστημα, μετά τη συγκομιδή του σπόρου εγκαταλείπεται στο χωράφι, αποδομείται και μετατρέπεται σε θρεπτικά συστατικά για το φυτό που ξαναβλαστάνει από τη ρίζα στην επόμενη περίοδο ανάπτυξης.

Για την βαθιά άροση, χρησιμοποιείται γεωργικός ελκυστήρας πάνω στον οποίο εφαρμόζεται άροτρο. Στη συγκεκριμένη καλλιέργεια και για την έκταση που ορίζεται από τη λειτουργική μονάδα, αποδοτικός θεωρήθηκε ένας ελκυστήρας με ισχύ, κατά ISO TR14396 2000/25/EC, 100 ίππων ή 73,5kW, σύμφωνα με την επιστημονική άποψη γεωπόνων που ερωτήθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

Ένα βασικό πρόβλημα, που καλούνται να αντιμετωπίζουν οι υπεύθυνοι των γεωργικών μηχανημάτων στις σύγχρονες γεωργικές εκμεταλλεύσεις, είναι η επιλογή του ελκυστήρα, ο οποίος πρέπει ανταποκρίνεται πλήρως στις ανάγκες της γεωργικής εκμετάλλευσης. Ο γεωργικός ελκυστήρας προσφέρει σωστή εργασία όταν επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος και η σωστή δυναμικότητα και αν όταν συνδέεται με την κατάλληλη ειδική μηχανή ή εργαλείο. Δηλαδή, κάθε γεωργικό εξάρτημα που συνδέεται με τον ελκυστήρα πρέπει να είναι συμβατό και ανάλογο με το μέγεθος του, για να μην υπερφορτώνεται ή να υποαπασχολείται ο ελκυστήρας και οι εργασίες να ολοκληρώνονται έγκαιρα.

Κατά την επιλογή του πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία: (α) στο είδος και την έκταση των εργασιών για τις οποίες προορίζεται (β) στη διαθεσιμότητά του στην αγορά (γ) στην κατανάλωση καυσίμου (δ) στη συνεκτικότητα του εδάφους και το ανάγλυφο της περιοχής, όπου θα χρησιμοποιείται και (ε) στην προσωπική εκτίμηση του αγρότη. Εάν πρόκειται να εργαστεί σε υγρό, χαλαρό ή ασταθές έδαφος, πρέπει να προτιμηθεί εκείνος που τα μέσα προώσεως του εξασφαλίζουν ικανή επιφάνεια επαφής με το έδαφος.

Η εξέλιξη και απόδοση των φυτών εξαρτάται άμεσα από την προετοιμασία του εδάφους. Τα διάφορα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία του εδάφους κατατάσσονται, ανάλογα με το είδος της εργασίας για την οποία χρησιμοποιούνται σε άροτρα, περιστροφικά άροτρα, καλλιεργητές, σβάρνες και κυλίνδρους, ενώ υπάρχουν και άλλα που χρησιμοποιούνται περισσότερο μετά το φύτευμα των φυτών, π.χ. τα σκαλιστήρια. Στην εξεταζόμενη καλλιέργεια χρησιμοποιούνται

άροτρο για τη βαθιά άροση και πνευματική για τη σπορά. Επειδή το έδαφος από τη σπορά και έπειτα δεν χρειάζεται επεξεργασία δεν πραγματοποιούνται άλλες γεωργικές εργασίες, οπότε δεν χρησιμοποιείται και άλλος γεωργικός εξοπλισμός.

Τα άροτρα χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του εδάφους, που είναι και η κύρια κατεργασία. Ανάλογα με το είδος του μηχανισμού οργώματος (σώμα), διακρίνονται σε υνάροτρα και δισκάροτρα. Ανάλογα δε με τον τρόπο που φέρονται από τον ελκυστήρα μπορεί να είναι:

1. Φερόμενα, αν κατά τη μεταφορά τους στηρίζονται στο σώμα του ελκυστήρα και αποτελούν προέκτασή τους
2. Συρόμενα, αν στηρίζονται σε δικούς τους τροχούς, τόσο κατά τη μεταφορά τους όσο και κατά την εργασία τους στο χωράφι, ενώ ο ελκυστήρας χρησιμοποιείται μόνο για την έλξη τους.
3. Ημιφερόμενα, αν μέρος από το βάρος τους στηρίζεται σε δικό τους τροχό και μέρος στον ελκυστήρα, τόσο κατά τη μεταφορά τους όσο και κατά την εργασία τους στο χωράφι.

Τα φερόμενα άροτρα είναι τα πιο συνηθισμένα, γιατί είναι πιο ευέλικτα, στοιχίζουν λιγότερο, το κόστος συντηρήσεως τους είναι μικρότερο και επίσης γιατί το βάρος του αρότρου στο πίσω μέρος του ελκυστήρα αυξάνει την ελκτική δύναμή του. Αυτός είναι και ο τύπος του αρότρου που επιλέχθηκε για το καλλιεργητικό σύστημα της *Cynara cardunculus* L.. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε φερόμενο υνάροτρο.

Με το υνάροτρο το έδαφος προετοιμάζεται για σπορά, κόβεται, χαλαρώνεται, θρυμματίζεται και αναστρέφεται. Επίσης καλύπτονται με αυτό τα φυτικά υπολείμματα και καταπολεμούνται αποτελεσματικά τα ζιζάνια, όπου υπάρχουν. Για να επιτευχθεί καλή άροση με το υνάροτρο χρειάζεται προσοχή κατά τη σύνδεση του στον ελκυστήρα και στη ρύθμισή του στο πεδίο. Ο αριθμός των σωμάτων και το πλάτη κοπής των υνίων, καθορίζουν το πλάτος εργασίας του αρότρου και είναι από τα βασικά στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εκλογή του γεωργικού ελκυστήρα.

Για τη συγκομιδή του σπόρου, μιας και δεν έχει αναπτυχθεί μέχρι σήμερα κάποια ειδική μηχανή για τη συγκομιδή της *Cynara*, όπως προτείνεται από τη βιβλιογραφία (Fernandez and Curt, 2004), χρησιμοποιείται θεριζοαλωνιστική μηχανή αραβόσιτου.

Ο τύπος μηχανήματος, τόσο για τη συγκομιδή των σπαδικών όσο και για την συγκομιδή και τον τεμαχισμό των στελεχών των φυτών (picker-chopper) είναι και αυτός που επιλέχθηκε για το καλλιεργητικό σύστημα. Τα κομμένα στελέχη είτε ρίχνονται στο έδαφος για να ανακατωθούν με το χώμα (χλωρή λίπανση), όπως στην περίπτωση του συστήματος που μελετήθηκε είτε συγκεντρώνονται σε ρυμουλκούμενο όχημα για ενσίρωση ή χλωρά τροφή για τα ζώα.

Η θεριζοαλωνιστική μπαίνει στο χωράφι, συλλέγει το σπόρο σε ειδικό δοχείο, χωρητικότητας 5 tn, που φέρει και αφήνει την υπόλοιπη βιομάζα στο χωράφι. Η ισχύς της μηχανής που ενδείκνυται για το εξεταζόμενο καλλιεργητικό σύστημα είναι 210 άλογα – 157 KW ή και μικρότερη.

Το δεύτερο έτος και στο τέλος της περιόδου ανάπτυξης, το αγροτεμάχιο βρίθει από βιομάζα. Αυτές είναι και οι ιδανικές συνθήκες για συγκομιδή από θεριζοαλωνιστική μηχανή, που σημαίνει ότι τότε εργάζεται με τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα και καταναλώνει το λιγότερο καύσιμο σε σχέση πάντα με το παραγόμενο έργο.

Τα μηχανήματα συγκομιδής του καλαμποκιού κατατάσσονται και ανάλογα με τον αριθμό των σειρών (μιας, δύο ή τεσσάρων σειρών), ανάλογα επίσης με το αν είναι πρόσθετα εξαρτήματα σε ανελκυστήρα ή αυτοκινούμενα ανεξάρτητα μηχανήματα (self-propelled corn combines), καθώς και ανάλογα με το αν είναι συρόμενα ή φερόμενα στους ελκυστήρες. Η θεριζοαλωνιστική μηχανή που χρησιμοποιείται στην περίπτωση της *Cynara* είναι αυτοκινούμενη.

Τα πρόσθετα ή φερόμενα μηχανήματα καθώς και τα συρόμενα κατασκευάζονται ως μιας ή δύο σειρών, ενώ τα αυτοκινούμενα είναι δύο ή τεσσάρων σειρών. Τα συρόμενα συνδέονται και αποσυνδέονται εύκολα, αλλά μειονεκτούν στο ότι ο χειριστής πρέπει να προσέχει διαρκώς προς τα πίσω, ενώ είναι δυνατόν να προκληθούν ζημιές στις γραμμές των φυτών κατά τη διάνοιξη διόδου για την κίνηση του ελκυστήρα. Τα φερόμενα μειονεκτούν στο ότι χρειάζεται αρκετός χρόνος για την τοποθέτηση του πρόσθετου μηχανήματος και επιπλέον ο ελκυστήρας δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί για άλλες εργασίες κατά την περίοδο της συγκομιδής. Η εργασία όμως της συγκομιδής με τα φερόμενα μηχανήματα γίνεται με μεγαλύτερη άνεση και ακρίβεια γιατί τα μηχανήματα αυτά τοποθετούνται στο πρόσθιο μέρος του ελκυστήρα. Τα αυτοκινούμενα μηχανήματα είναι κατάλληλα για γρήγορη και οικονομική εργασία συγκομιδής, σε περιοχές όμως όπου το καλαμπόκι καλλιεργείται σε μεγάλες εκτάσεις τα μηχανήματα αυτά παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια, άνεση και ορατότητα για το χειριστή.

Με τα μηχανήματα του τύπου συγκομιδής – εκκοκκισμού η εργασία είναι πιο γρήγορη και πιο ολοκληρωμένη εφόσον ο εκκοκκισμός γίνεται κατευθείαν στο χωράφι. Επιπλέον, μειώνεται το κόστος συγκομιδής και αποθηκεύσεως και διασκορπίζονται στο χωράφι η λοιπή βιομάζα, που αποσυντίθενται γρήγορα στο έδαφος και μετατρέπεται σε λίπασμα και οργανική ουσία.

Οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο της συγκομιδής καθώς και η ποικιλία είναι ευνόητο ότι επηρεάζουν σημαντικά τις γενικές απώλειες. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει αποφασιστικά τις γενικές απώλειες είναι η εποχή συγκομιδής. Όταν η συγκομιδή γίνεται αργά (στο τέλος της περιόδου) τα φυτά είναι εύθρυπτα και οι κόκκοι περιέχουν μικρότερο ποσοστό υγρασίας. Αυτό μολονότι είναι ευνοϊκό για το μηχανισμό εκκοκκισμού στις μηχανές συγκομιδής-εκκοκκισμού φαίνεται ότι είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα για τις μηχανές συγκομιδής – αποφλοιώσεως. Οι απώλειες μειώνονται με διάφορες τροποποιήσεις ή προσθήκες στους μηχανισμούς των μηχανημάτων συγκομιδής. Μια προσθήκη από δύο σταθερά ελάσματα επάνω από τους κυλίνδρους αποχωρισμού, είναι δυνατό να μειώσει τις απώλειες των κόκκων στους κυλίνδρους αυτούς μέχρι το 50%. Η προσθήκη αυτή άρχισε να χρησιμοποιείται σε πολλούς τύπους μηχανημάτων κυρίως μετά το 1955. Η αύξηση της αποδοτικότητας της μηχανής εξαρτάται από πολλούς και διάφορους παράγοντες κυρίως γεωργικούς και μηχανικούς. Η βασική γνώση των πραγμάτων σε συνδυασμό με την εμπειρία που θα επακολουθήσει και την επιδεξιότητα του χειριστή φαίνεται ότι θα επιφέρει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Η απόδοση του μηχανήματος συγκομιδής, η ποσότητα δηλαδή εκκοκκισμένου σπόρου που συγκομίζεται ανά ώρα εργασίας, κυμαίνεται κατά πολύ ανάλογα με το μέγεθος της μηχανής (αριθμός γραμμών που συγκομίζονται ταυτόχρονα), την ταχύτητα προωθήσεως του μηχανήματος, τις αποστάσεις μεταξύ των φυτών και τη στρεμματική απόδοση.

4.7 Sima Pro & Eco-indicator 99

SimaPro 5

Για την περιβαλλοντική αξιολόγηση του εξεταζόμενου συστήματος χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό εργαλείο ή πρόγραμμα, όπως συνηθίζεται να λέγεται, το SimaPro 5. Το λογισμικό SimaPro είναι ένα επαγγελματικό εργαλείο συλλογής, ανάλυσης και καταγραφής της περιβαλλοντικής επίδοσης προϊόντων και υπηρεσιών. Κατασκευάστηκε από την ολλανδική εταιρεία συμβούλων PRé

Consultants. Με τη χρήση αυτού, μπορούν εύκολα να μοντελοποιηθούν και να αναλυθούν σύνθετοι κύκλοι ζωής με έναν συστηματικό και σαφή τρόπο, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040.

Το όνομα του λογισμικού SimaPro προέρχεται από τη φράση "System for Integrated Environmental Assessment of Products", η οποία στην ελληνική γλώσσα αποδίδεται ως «Σύστημα για την Ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Αξιολόγηση Προϊόντων». Δεν χρησιμοποιείται όμως μόνο για προϊόντα, αλλά και για διαδικασίες και υπηρεσίες. Από το 1990 που κυκλοφόρησε, έχει χρησιμοποιηθεί από μεγάλες βιομηχανίες, εταιρείες συμβούλων και πανεπιστημιακά ιδρύματα (Life Cycle Software tools, PreConsultants).

Το πρόγραμμα διαθέτει κάποιες βάσεις δεδομένων, από τις οποίες μπορούν να ληφθούν στοιχεία για υλικά και διαδικασίες του εκάστοτε μοντέλου. Αυτές που είναι διαθέσιμες στην έκδοση που υπάρχει στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο είναι οι εξής:

- Ecoinvent v1
- ETH – ESU 96
- BUWAL 250
- Dutch Input-Output Database
- US Input Output database.
- Industry data
- IDEMAT 2001
- Franklin US LCI database
- Data archive
- Dutch Concrete database
- IVAM
- FEFCO

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάποιες μέθοδοι, που εμπεριέχονται στο πρόγραμμα. Αυτές είναι:

- ❖ Eco - Indicator 99
- ❖ Eco - Indicator 95
- ❖ CML 92
- ❖ CML 2 (2001)
- ❖ EDIP/UMIP
- ❖ EPS 2000
- ❖ Ecopoints 97

Όλες οι μέθοδοι εκτίμησης των επιπτώσεων που εμπεριέχει το SimaPro είναι σύμφωνες με το πρότυπο ISO 14042 και αποτελούνται από τα εξής στάδια: χαρακτηρισμός, εκτίμηση των ζημιών (προαιρετικά), κανονικοποίηση (προαιρετικά) και στάθμιση (προαιρετικά). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Eco-indicator 99.

Οι τρεις τελευταίες διεργασίες είναι προαιρετικές . Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι πάντα διαθέσιμες σε όλες τις μεθόδους. Όταν δημιουργείται μία νέα μέθοδος, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ των προαιρετικών διεργασιών της εκτίμησης των επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν μόνο τις διεργασίες που επιλέχθηκαν. Η εκτίμηση ζημίας είναι ένα νέο βήμα, που προστίθεται για να επιτευχθεί η χρήση κάποιων μεθόδων, των λεγόμενων «endpoint methods», όπως είναι η μέθοδος Eco-indicator 99 και η EPS 2000. Ο σκοπός της εκτίμησης των ζημιών είναι η συγκέντρωση ενός αριθμού δεικτών κατηγοριών επιπτώσεων σε μία κατηγορία ζημίας.

Χαρακτηρισμός

Οι ουσίες που συνεισφέρουν σε μια κατηγορία επιπτώσεων, πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή χαρακτηρισμού, ο οποίος δηλώνει τη σχετική συνεισφορά της ουσίας. Έτσι μπορεί να αντιμετωπιστεί ως συντελεστής ισοδυναμίας. Για παράδειγμα, ο συντελεστής χαρακτηρισμού για το CO₂ στην κατηγορία επίπτωσης Κλιματική αλλαγή μπορεί να είναι ίσος με 1, ενώ ο συντελεστής

χαρακτηρισμού για το μεθάνιο μπορεί να είναι 21. Αυτό σημαίνει ότι η έκλυση 1 kg μεθανίου συνεισφέρει στην κλιματική αλλαγή όσο 21 kg CO₂.

Εκτίμηση ζημιών

Κάποιες μέθοδοι έχουν μία φάση εκτίμησης ζημιών. Σε αυτή τη φάση οι δείκτες των κατηγοριών επιπτώσεων που έχουν κοινή μονάδα μπορούν να αθροιστούν. Για παράδειγμα, στη μέθοδο Eco-indicator 99, όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων που αναφέρονται στην Ανθρώπινη υγεία, εκφράζονται με τη μονάδα DALY (Disability Adjusted Life Years : συνολικά έτη ζωής που χάνονται) και για αυτό μπορούν να αθροιστούν. Σε αυτή τη μέθοδο επιτρέπεται να προστεθούν DALY που προκαλούνται από καρκινογόνες ουσίες με DALY που προκαλούνται από την Κλιματική αλλαγή.

Κανονικοποίηση

Πολλές μέθοδοι επιτρέπουν τα αποτελέσματα των δεικτών των κατηγοριών επιπτώσεων να συγκρίνονται με μια τιμή αναφοράς (ή Κανονική τιμή). Αυτό σημαίνει ότι, η κατηγορία επιπτώσεων διαιρείται με την τιμή αναφοράς. Η τιμή αναφοράς μπορεί να επιλεγεί χωρίς περιορισμούς, αλλά συχνά χρησιμοποιείται ως τιμή αναφοράς το αποτέλεσμα της διαίρεσης του ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου σε μια χώρα ή σε μια ήπειρο, με τον αριθμό κατοίκων.

Μετά από την κανονικοποίηση, όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων έχουν την ίδια μονάδα (συνήθως 1/yr), οπότε η σύγκριση τους γίνεται με ευκολία. Η κανονικοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί στα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού και της εκτίμησης ζημιών, αναλόγως της δομής που επιλέχθηκε για τη μέθοδο.

Στάθμιση

Κάποιες μέθοδοι επιτρέπουν τη στάθμιση των κατηγοριών επιπτώσεων. Αυτό σημαίνει ότι, τα αποτελέσματα των δεικτών των κατηγοριών επιπτώσεων (ή ζημιών) πολλαπλασιάζονται με συντελεστές στάθμισης και αθροίζονται για να σχηματιστεί ένα τελικό σκορ. Η στάθμιση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε κανονικοποιημένες, όσο και σε μη κανονικοποιημένες τιμές, μιας και κάποιες μέθοδοι όπως η EPS δεν περιλαμβάνουν βήμα κανονικοποίησης (SimaPro Reference Manual, 2003)

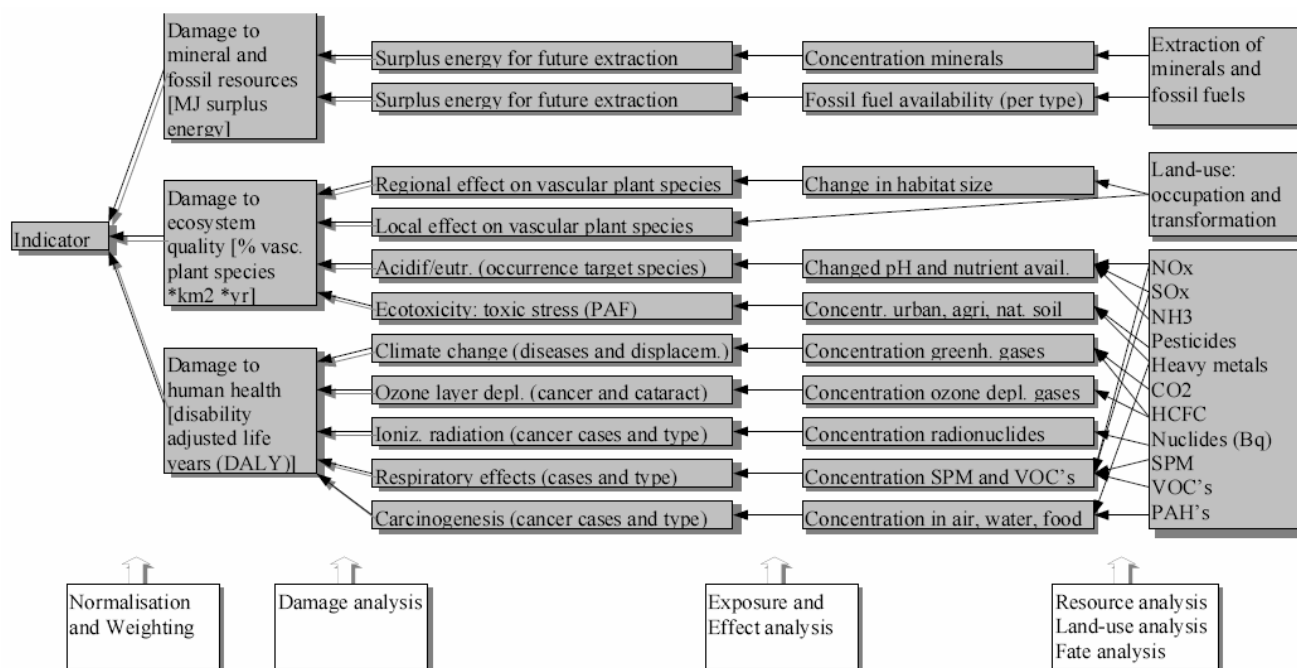
Eco-indicator 99

Η μέθοδος Eco-indicator 99 αποτελεί την εξέλιξη της μεθόδου Eco-indicator 95. Η κανονικοποίηση και η στάθμιση πραγματοποιούνται σε επίπεδο κατηγορίας ζημιών (επίπεδο endpoint σε ορολογία του ISO).

Χρησιμοποιούνται τρεις κατηγορίες ζημιών, στις οποίες αθροίζονται οι 11 κατηγορίες επιπτώσεων:

1. Ανθρώπινη Υγεία (μονάδα: DALY= Disability adjusted life years: συνολικά έτη ζωής που χάνονται, αυτό σημαίνει ότι σταθμίζονται διαφορετικές ζημιές που προκαλούνται από ασθένειες). Μοντέλα αναπτύχθηκαν για τις αναπνευστικές και τις καρκινογόνες επιδράσεις, τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, της καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος και ραδιενεργή ακτινοβολία.
2. Ποιότητα Οικοσυστήματος (μονάδα: PDF*m2yr, PDF= Potentially Disappeared Fraction of plant species: κλάσμα δυνητικά εξαφανισμένων φυτικών ειδών). Οι ζημιές στην ποιότητα του οικοσυστήματος εκφράζονται ως το ποσοστό των ειδών που έχουν εξαφανιστεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή λόγω του περιβαλλοντικού φορτίου. Αυτός ο ορισμός δεν είναι τόσο ομογενής όσο ο ορισμός για την Ανθρώπινη Υγεία:
 - Η οικοτοξικότητα εκφράζεται ως το ποσοστό όλων των παρόντων ειδών στο περιβάλλον που ζουν υπό τοξικό στρες (PAF).
 - Η οξίνιση και ο ευτροφισμός λαμβάνονται υπόψη ως μία μόνο κατηγορία επιπτώσεων. Εδώ μοντελοποιείται η ζημία σε συγκεκριμένα είδη (αγγειώδη φυτά) σε φυσικές περιοχές.
 - Η χρήση γης και η μετατροπή της γης βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα της εμφάνισης αγγειακών φυτών ως μία λειτουργία του τύπου χρήσης γης και του μεγέθους της περιοχής. Λαμβάνονται υπόψη η τοπική ζημία στην απασχολημένη ή τροποποιημένη περιοχή, αλλά και η τοπική ζημία στα οικοσυστήματα.
3. Φυσικοί Πόροι (μονάδα: MJ surplus energy= Additional energy requirement to compensate lower future ore grade: Πρόσθετη απαίτηση σε ενέργεια για να αντισταθμιστούν τα χαμηλότερα αποθέματα κοιτασμάτων). Η λήψη φυσικών πόρων σχετίζεται με μία παράμετρο, η οποία υποδεικνύει την ποιότητα των εναπομεινάντων κοιτασμάτων ορυκτών

πόρων και ορυκτών καυσίμων. Και στις δύο περιπτώσεις η εξαγωγή αυτών των φυσικών πόρων θα έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε μελλοντική εκμετάλλευση.



Σχήμα 4.2: Γενική αναπαράσταση της μεθοδολογίας του Eco-indicator 99.

Πηγή: (SimaPro Reference Manual, 2003)

1. Στο ανωτέρω σχήμα 4.2, παρουσιάζονται οι διαφορετικές διεργασίες και τα ενδιάμεσα αποτελέσματα. Πραγματοποιείται ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων (γκρι πλαίσια) και των διεργασιών (λευκά πλαίσια), (Eco-indicator 99, Methodology report, 3rd revised edition).

4.8 Αποτελέσματα της ανάλυσης:

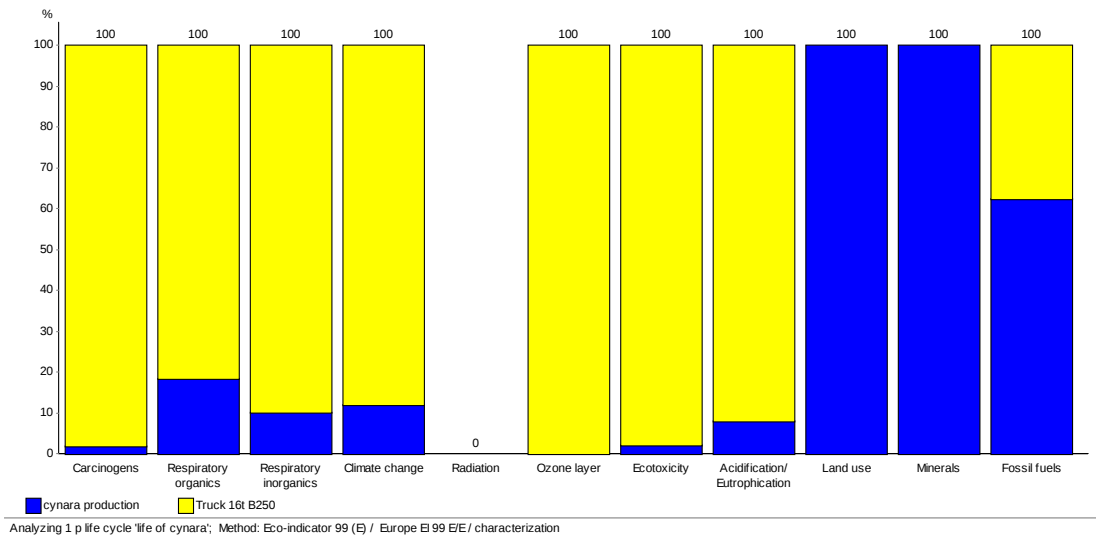
Ο πίνακας της απογραφής δεδομένων παρουσιάζεται στο Παράρτημα. Οι εκπομπές του συστήματος (όπως εμφανίζονται στον πίνακα της Απογραφής Δεδομένων) έχουν κατηγοριοποιηθεί σε 11 μεγάλες κατηγορίες επιπτώσεων στο στάδιο του χαρακτηρισμού. Τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού δείχνουν την συμβολή του σταδίου της παραγωγικής διαδικασίας του ελαιοσπόρου

και της μεταφοράς του, αλλά και του συνόλου των διαδικασιών σε κάθε μία από τις κατηγορίες επιπτώσεων.

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού ανά κατηγορία επιπτώσεων

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Καρκινογόνα	DALY	0,0000546	0,000001	0,0000536
Αναπνεύσιμες οργανικές ενώσεις	DALY	0,0000221	0,00000409	0,000018
Αναπνεύσιμες ανόργανες ενώσεις	DALY	0,00433	0,000434	0,00389
Κλιματική αλλαγή	DALY	0,000552	0,0000657	0,000486
Ακτινοβολία	DALY	x	x	x
Καταστροφή στιβάδας όζοντος	DALY	0,00000206	x	0,00000206
Οικοτοξικότητα	PAF*m2yr	125	2,83	122
Οξίνιση/ Ευτροφισμός	PDF*m2yr	255	20,3	234
Χρήση γης	PDF*m2yr	5,72	5,72	x
Ορυκτά	MJ surplus	0,181	0,181	x
Ορυκτά καύσιμα	MJ surplus	6740	4210	2530

Παρουσιάζονται αρνητικές επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων, με εξαίρεση σε αυτή της ραδιενέργειας και αυτό λόγω της απουσίας χρήσης της στις διαδικασίες. Η μεγαλύτερη αρνητική επίπτωση προκαλείται από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων, ενώ επιπτώσεις κάποιου βαθμού παρατηρούνται και από τη χρήση γης.

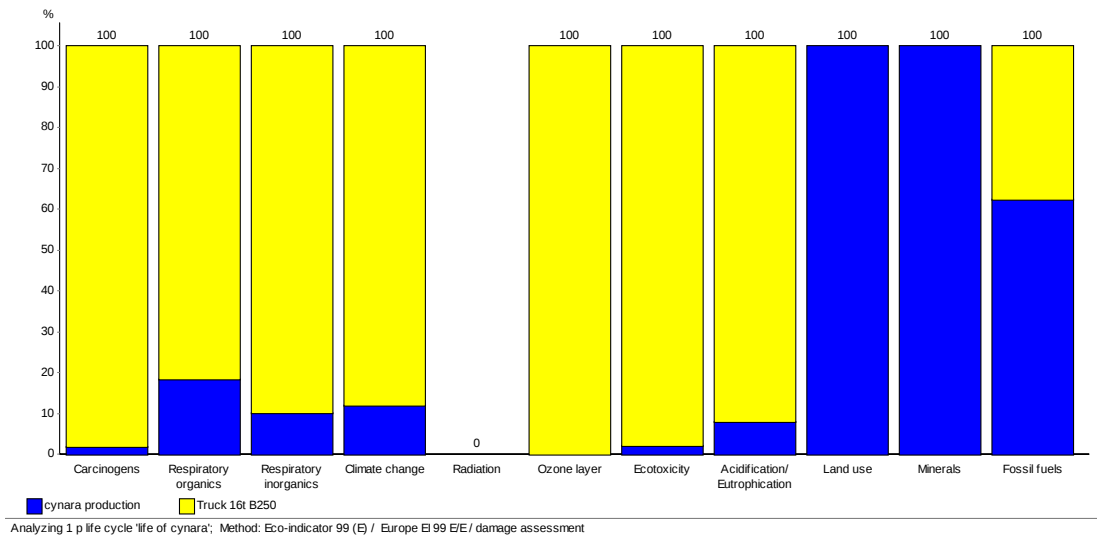


Σχήμα 4.3: Χαρακτηρισμός ανά κατηγορία επιπτώσεων

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα Εκτίμησης Επιπτώσεων ανά κατηγορία επιπτώσεων

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Καρκινογόνα	DALY	0,0000546	0,000001	0,0000536
Αναπνεύσιμες οργανικές ενώσεις	DALY	0,0000221	0,00000409	0,000018
Αναπνεύσιμες ανόργανες ενώσεις	DALY	0,00433	0,000434	0,00389
Κλιματική αλλαγή	DALY	0,000552	0,0000657	0,000486
Ακτινοβολία	DALY	x	x	x
Καταστροφή στιβάδας όζοντος	DALY	0,00000206	x	0,00000206
Οικοτοξικότητα	PAF*m2yr	125	2,83	122
Οξίνιση/ Ευτροφισμός	PDF*m2yr	255	20,3	234
Χρήση γης	PDF*m2yr	5,72	5,72	x
Ορυκτά	MJ surplus	0,181	0,181	x
Ορυκτά καύσιμα	MJ surplus	6740	4210	2530

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η Εκτίμηση των Επιπτώσεων από την παραγωγή του ελαιοσπόρου με μπλε χρώμα και από τη μεταφορά του με κίτρινο χρώμα ανά κατηγορία επιπτώσεων. Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζεται και η συνολική Εκτίμηση Επιπτώσεων σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων με τις αντίστοιχες μονάδες τους.



Σχήμα 4.4: Εκτίμηση Επιπτώσεων ανά κατηγορία επίπτωσης

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5, η παραγωγή του σπόρου έχει σημαντικές επιπτώσεις στις χρήσεις γης και στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και άλλων ορυκτών πόρων. Αυτό οφείλεται στη χρήση ντίζελ στο μηχανολογικό εξοπλισμό που απασχολείται στις γεωργικές εργασίες. Στις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων συνεισφέρει πολύ περισσότερο η μεταφορά του σπόρου. Αυτές είναι η καρκινογένεση, η εισπνοή οργανικών ουσιών, η εισπνοή ανόργανων ουσιών, η κλιματική αλλαγή, η λέπτυνση της στρωβιάδας του όζοντος, η οικοτοξικότητα, η οξίνιση και ο ευτροφισμός.

Τα αποτελέσματα όλων των κατηγοριών επιπτώσεων του σχήματος 4.3, αθροίζονται περαιτέρω και δημιουργούνται έτσι τρεις νέες συγκεντρωτικές κατηγορίες επιπτώσεων:

1. Επιπτώσεις που προκαλούνται στην χρήση των πόρων,
2. Επιπτώσεις που προκαλούνται στην ανθρώπινη υγεία και
3. Επιπτώσεις που προκαλούνται στο οικοσύστημα.

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αποτελούν μία μεγάλη κατηγορία, η οποία συγκεντρώνει τις επιπτώσεις που προκαλούνται από την καρκινογένεση, την κλιματική αλλαγή, τη λέπτυνση της στοιβάδας του όζοντος, τις αναπνεύσιμες οργανικές και ανόργανες ουσίες, και τη ραδιενέργεια.

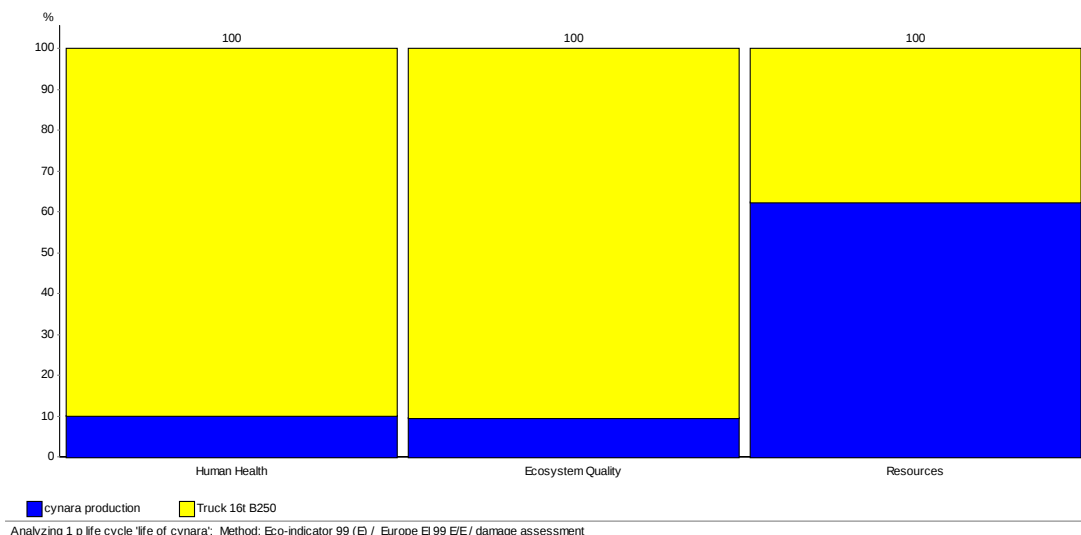
Στη γενική κατηγορία επιπτώσεων, που αφορά στην ποιότητα του οικοσυστήματος, συγκεντρώνονται οι επιπτώσεις από τη χρήση γης, την οικοτοξικότητα και τον ευτροφισμό/οξίνιση.

Η τρίτη αθροιστική κατηγορία επιπτώσεων είναι οι επιπτώσεις από τη χρήση φυσικών πόρων και προκύπτει από το σύνολο των επιπτώσεων που προκαλούνται από την εξαγωγή των ορυκτών καυσίμων και άλλων ορυκτών πόρων.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τον πίνακα 4.3 και το σχήμα 4.5, είναι ότι από τη λειτουργία του εξεταζόμενου συστήματος προκύπτουν επιπτώσεις και στις τρεις μεγάλες κατηγορίες.

Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα Εκτίμησης Επιπτώσεων συνολικά

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Ανθρώπινη υγεία	DALY	0,00496	0,000505	0,00445
Ποιότητα Οικοσυστήματος	PDF*m2yr	273	26,3	247
Φυσικοί πόροι	MJ surplus	6740	4210	2530



Σχήμα 4.5: Συνολική Εκτίμηση Επιπτώσεων

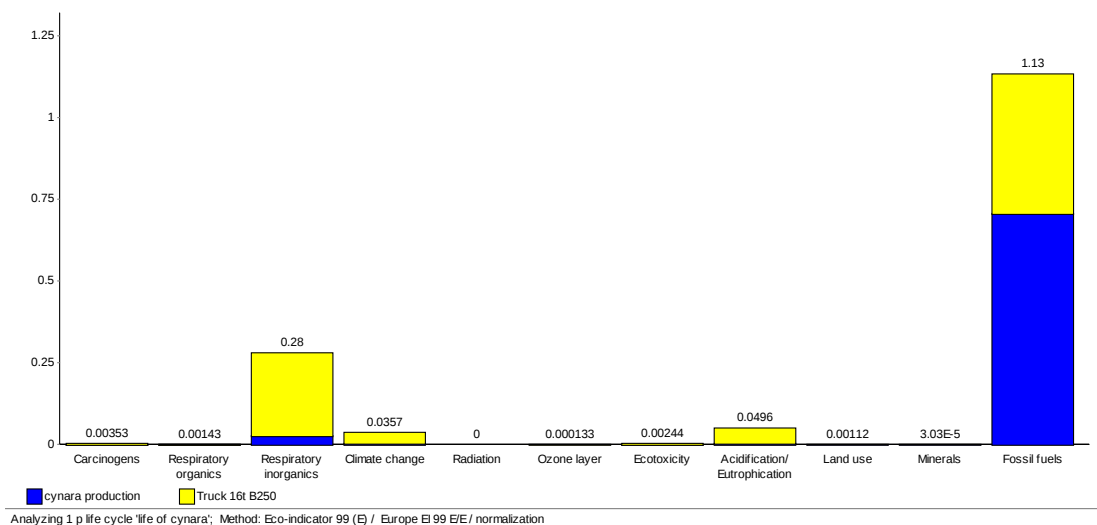
Η κανονικοποίηση προβάλλει, με σαφήνεια, τη βαρύτητα που έχει η κάθε μια από τις κατηγορίες επιπτώσεων. Για το σκοπό της κανονικοποίησης χρησιμοποιούνται συντελεστές εκτίμησης επιπτώσεων. Ο υπολογισμός της περιβαλλοντικής επίπτωσης υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

$$\text{Environmental score} = \text{Characterized value} \times \text{Normalization} \times \text{Weighting factor}$$

Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4.4 και σχήμα 4.6, όλες οι διαδικασίες του συστήματος απαιτούν αυξημένη χρήση ορυκτών πόρων. Η αμέσως επόμενη επιρροή που ασκούν από άποψη σημαντικότητας, είναι στις αναπνεύσιμες ανόργανες ουσίες και όπως είναι αναμενόμενο στην κλιματική αλλαγή. Επιπτώσεις παρατηρούνται και στην ενιαία κατηγορία οξίνισης και ευτροφισμού, ενώ για όλες τις άλλες κατηγορίες δεν παρατηρούνται αξιόλογες επιδράσεις.

Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα Κανονικοποίησης ανά κατηγορία επιπτώσεων

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Καρκινογόνα	DALY	0,0000546	0,000001	0,0000536
Αναπνεύσιμες οργανικές ενώσεις	DALY	0,0000221	0,00000409	0,000018
Αναπνεύσιμες ανόργανες ενώσεις	DALY	0,00433	0,000434	0,00389
Κλιματική αλλαγή	DALY	0,000552	0,0000657	0,000486
Ακτινοβολία	DALY	x	x	x
Καταστροφή στιβάδας όζοντος	DALY	0,00000206	x	0,00000206
Οικοτοξικότητα	PDF*m2yr	12,5	0,283	12,2
Οξίνιση/ Ευτροφισμός	PDF*m2yr	255	20,3	234
Χρήση γης	PDF*m2yr	5,72	5,72	x
Ορυκτά	MJ surplus	0,181	0,181	x
Ορυκτά καύσιμα	MJ surplus	6740	4210	2530

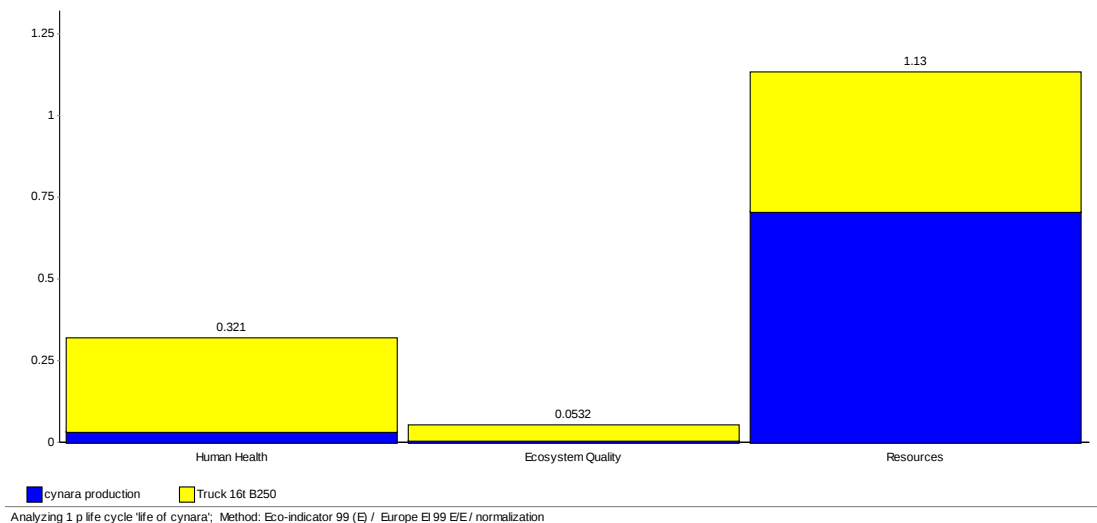


Σχήμα 4.6: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων

Τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης των έντεκα κατηγοριών επιπτώσεων του σχήματος 4.6, συναθροίζονται και παρουσιάζονται στις τρεις μεγάλες κατηγορίες επιπτώσεων στο σχήμα 4.7. Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζονται σχηματικά οι επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους, οι οποίες φαίνεται να είναι με μεγάλη διαφορά πολύ πιο σημαντικές από τις επιπτώσεις στις άλλες δύο κατηγορίες. Οι λιγότερο σημαντικές επιπτώσεις παρατηρούνται στην κατηγορία «ποιότητα οικοσυστήματος» και αυτό γιατί στη συγκεκριμένη καλλιέργεια δεν χρησιμοποιούνται λιπάσματα, φυτοφάρμακα κα δεν γίνεται χρήση νερού για αρδεύσεις, οπότε και το οικοσύστημα δεν επιβαρύνεται.

Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα Κανονικοποίησης συνολικά

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Ανθρώπινη υγεία	DALY	0,321	0,0326	0,288
Ποιότητα Οικοσυστήματος	PDF*m2yr	0,0532	0,00513	0,0481
Φυσικοί πόροι	MJ surplus	1,13	0,708	0,425



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα Κανονικοποίησης συνολικά

Όσον αφορά στους συντελεστές στάθμισης, χρησιμοποιήθηκαν οι προεπιλεγμένοι συντελεστές του Eco-indicator 95 για τις κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίοι παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6

Περιβαλλοντική επίπτωση	Ταξινόμηση	Συντελεστής στάθμισης
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	NOH LCA manual (IPCC)	2,5
Καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος	NOH LCA manual (IPCC)	100
Οξίνιση	NOH LCA manual (IPCC)	10
Ευτροφισμός	NOH LCA manual (IPCC)	5
Θερινή αιθαλομίχλη	NOH LCA manual (IPCC)	2,5
Χειμερινή αιθαλομίχλη	WHO Air Quality Guidelines	5
Εντομοκτόνα	Active ingredient	25
Βαρέα μέταλλα	WHO Air Quality Guidelines Quality Guidelines for Drinking Water	5
Καρκινογόνες ουσίες	WHO Air Quality Guidelines	10

Πίνακας 4.6: Συντελεστές στάθμισης των κατηγοριών επιπτώσεων

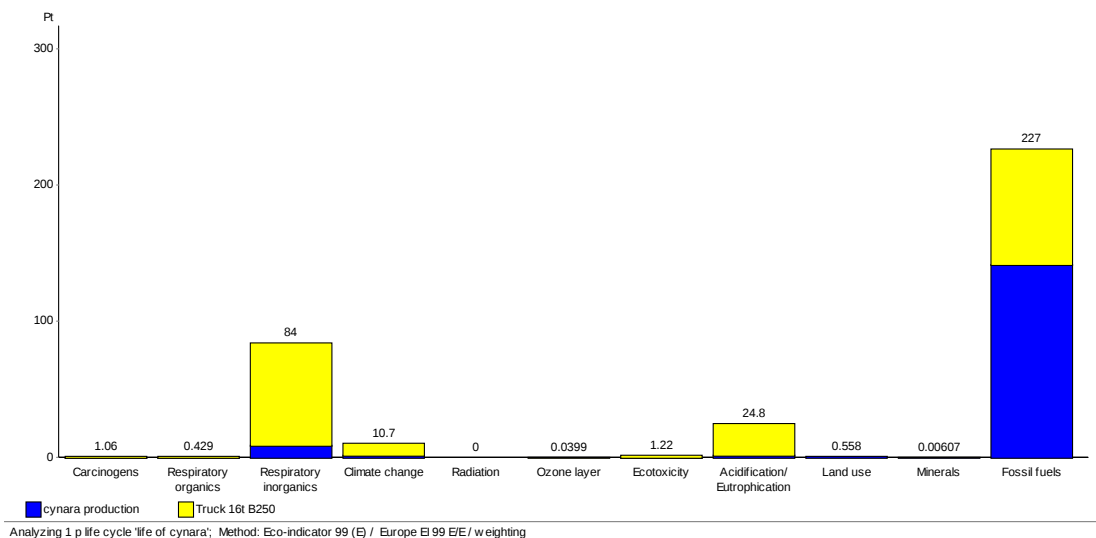
Πηγή: The Eco-indicator 95 – Final report

Σύμφωνα με τον πίνακα των συντελεστών στάθμισης των κατηγοριών επιπτώσεων οι μεγαλύτερες επιπτώσεις προκαλούνται από τη λέπτυνση της στοιβάδας του όζοντος και από τη χρήση φυτοφαρμάκων. Για αυτό είναι σημαντικό να περιορίζονται όπου είναι αυτό εφικτό η χρήση φυτοφαρμάκων αλλά και ουσιών που συμβάλλουν στη λέπτυνση της στοιβάδας του στρατοσφαιρικού όζοντος. Στη συγκεκριμένη καλλιέργεια δεν χρησιμοποιούνται ζιζανιοκτόνα και εντομοκτόνα, για αυτό και ενδείκνυται ως καλλιέργεια φιλική προς το περιβάλλον από την άποψη της οικοτοξικότητας. Επιπλέον οι συντελεστές στάθμισης για την καρκινογένεση και την οξίνιση φαίνονται να είναι υψηλότεροι από συντελεστές στάθμισης άλλων κατηγοριών επιπτώσεων, που σημαίνει ότι πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία σε αυτές τις δύο κατηγορίες όταν επιλέγεται μία καλλιέργεια.

Τα αποτελέσματα του συνολικού περιβαλλοντικού σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων όπως φαίνονται στον πίνακα 4.6 και στο σχήμα 4.8 δείχνουν ότι το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό σκορ καταγράφεται για τη χρήση των ορυκτών καυσίμων (227 Pt). Το αμέσως μικρότερο καταγράφεται για την συνδυαστική κατηγορία οξίνισης και ευτροφισμού και ακολουθεί η κατηγορία επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Τα σκορ αυτά είναι αναμενόμενα μιας και οι εισροές του συστήματος είναι κυρίως καύσιμα που θέτουν σε λειτουργία το γεωργικό μηχανολογικό εξοπλισμό και το όχημα μεταφοράς.

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα συνολικού περιβαλλοντικού σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Σύνολο	Pt	349	154	196
Καρκινογόνα	Pt	1,06	0,0195	1,04
Αναπνεύσιμες οργανικές ενώσεις	Pt	0,429	0,0793	0,35
Αναπνεύσιμες ανόργανες ενώσεις	Pt	84	8,42	75,6
Κλιματική αλλαγή	Pt	10,7	1,27	9,43
Ακτινοβολία	Pt	x	x	x
Καταστροφή στιβάδας όζοντος	Pt	0,0399	x	0,0399
Οικοτοξικότητα	Pt	1,22	0,0276	1,19
Οξίνιση/ Ευτροφισμός	Pt	24,8	1,98	22,8
Χρήση γης	Pt	0,558	0,558	x
Ορυκτά	Pt	0,00607	0,00607	x
Ορυκτά καύσιμα	Pt	227	142	85

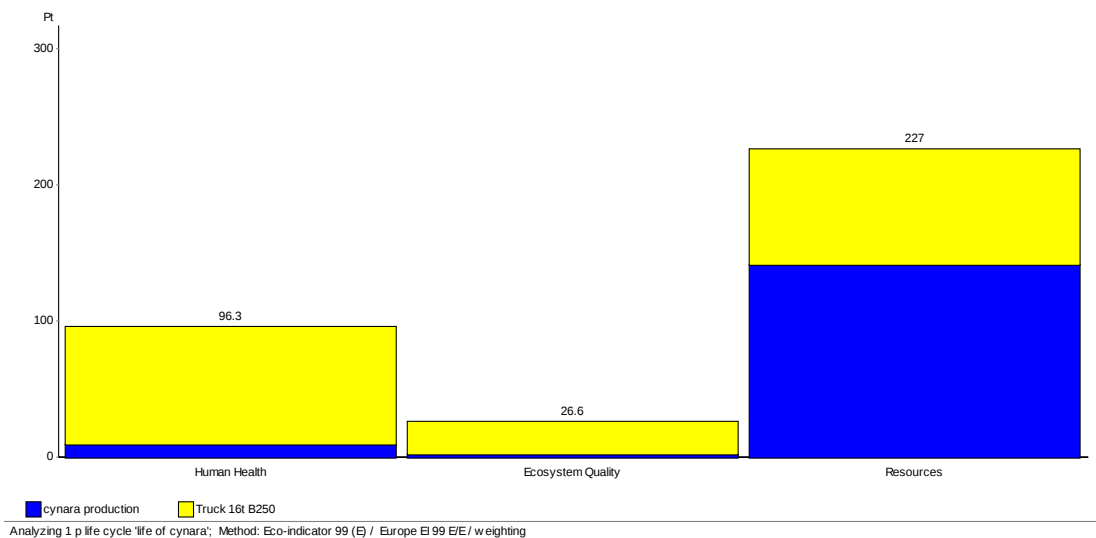


Σχήμα 4.8: Περιβαλλοντικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

Τα αποτελέσματα από το σχήμα 4.8, συγκεντρώνονται στις τρεις ευρείες κατηγορίες επιπτώσεων όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8 και στο σχήμα 4.9. Παρατηρείται ότι επιπτώσεις υπάρχουν και στις τρεις κατηγορίες με μικρότερες αυτές που ασκούνται στην ποιότητα του οικοσυστήματος.

Πίνακας 4.7: Συνολικό σκορ επιπτώσεων

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Σύνολο	Pt	349	154	196
Ανθρώπινη υγεία	Pt	96,3	9,79	86,5
Ποιότητα Οικοσυστήματος	Pt	26,6	2,56	24
Φυσικοί πόροι	Pt	227	142	85

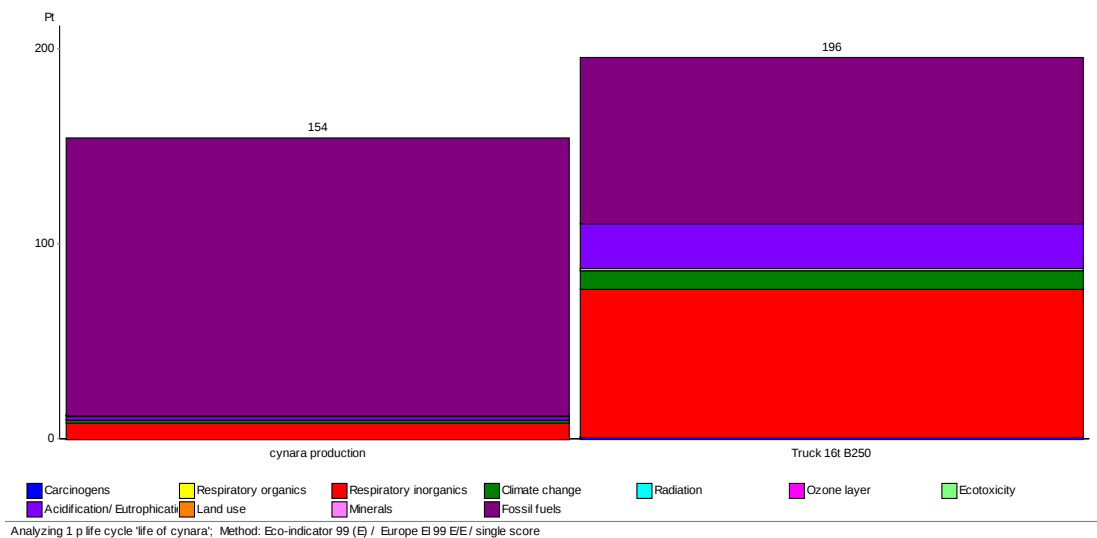


Σχήμα 4.9: Συνολικό σκορ επιπτώσεων

Στον πίνακα 4.8 και στο σχήμα 4.10 παρουσιάζεται η περιβαλλοντική επιβάρυνση του εξεταζόμενου συστήματος ανά κατηγορία επίπτωσης. Η αρνητική περιβαλλοντική επιβάρυνση της παραγωγικής διαδικασίας του σπόρου, αντιστοιχεί σε 154 pt, της μεταφοράς σε 196 pt και η συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση από ολόκληρο το σύστημα 349 pt. Από τις επιπτώσεις που επιβαρύνουν το περιβάλλον, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα προκύπτει από τη χρήση ορυκτών καυσίμων (227 pt), με αποτέλεσμα να προκύπτει ζημία στους φυσικούς πόρους. Επίσης, αξιοπρόσεκτα προβλήματα αποτελούν οι αναπνεύσιμες ανόργανες ουσίες (84 pt) και η οξίνιση μαζί με τον ευτροφισμό (24,8 pt), λόγω των εκπομπών ρύπων από τη χρήση του μεταφορικού μέσου. Η οξίνιση και ο ευτροφισμός προκαλούν επιβαρύνσεις στο έδαφος και στην ποιότητα του οικοσυστήματος. Επιπτώσεις φαίνεται να υπάρχουν και στην κλιματική αλλαγή (10,7 pt) λόγω της παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο τελικά επιδρά αρνητικά στην ανθρώπινη υγεία. Από τις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων, οι μόνες που παρουσιάζουν κάποιες αξιοπρόσεκτες επιπτώσεις είναι αυτή της οικοτοξικότητας (1,22 pt) και της καρκινογένεσης (1,06 pt). Οι κατηγορίες επιπτώσεων που δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η χρήση γης (0,558 pt), οι αναπνεύσιμες οργανικές ουσίες (0,429 pt), η λέπτυνση της στοιβάδας του όζοντος (0,0399 pt) και η χρήση ορυκτών (0,00607 pt). Τέλος, από το εξεταζόμενο σύστημα δεν προκαλούνται ραδιενεργές επιπτώσεις.

Πίνακας 4.8: Περιβαλλοντικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Σύνολο	Pt	349	154	196
Καρκινογόνα	Pt	1,06	0,0195	1,04
Αναπνεύσιμες οργανικές ενώσεις	Pt	0,429	0,0793	0,35
Αναπνεύσιμες ανόργανες ενώσεις	Pt	84	8,42	75,6
Κλιματική αλλαγή	Pt	10,7	1,27	9,43
Ακτινοβολία	Pt	x	x	x
Καταστροφή στιβάδας όζοντος	Pt	0,0399	x	0,0399
Οικοτοξικότητα	Pt	1,22	0,0276	1,19
Οξίνιση/ Ευτροφισμός	Pt	24,8	1,98	22,8
Χρήση γης	Pt	0,558	0,558	x
Ορυκτά	Pt	0,00607	0,00607	x
Ορυκτά καύσιμα	Pt	227	142	85

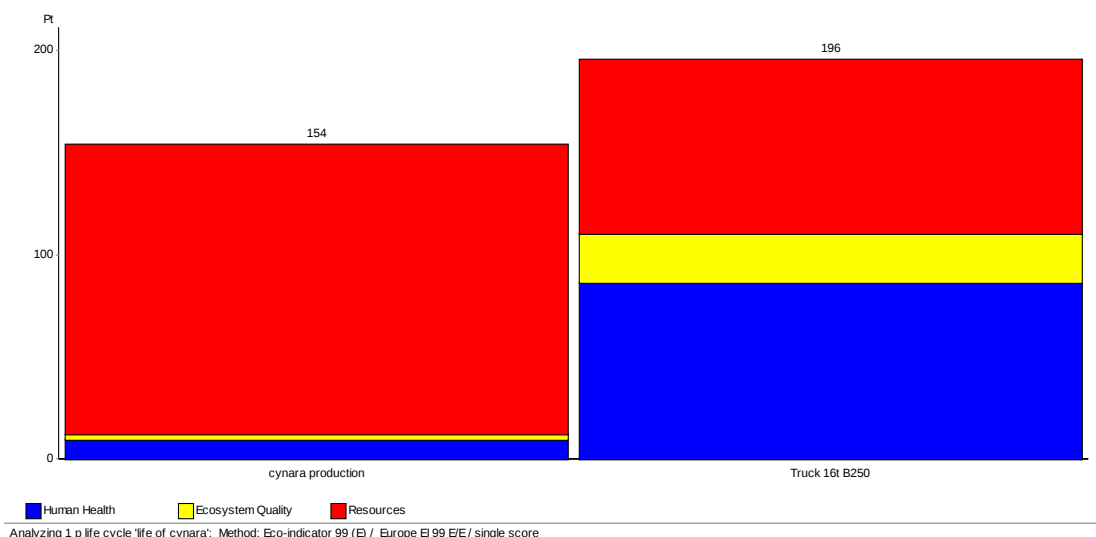


Σχήμα 4.10: Περιβαλλοντικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

Στον πίνακα 4.9 και στο σχήμα 4.11, παρουσιάζονται οι συνολικές τιμές του περιβαλλοντικού σκορ που προκύπτει αφενός από την παραγωγική διαδικασία του σπόρου και αφετέρου από τη μεταφορά του, στις τρεις μεγάλες κατηγορίες επιπτώσεων (φυσικοί πόροι, ποιότητα οικοσυστήματος, ανθρώπινη υγεία). Όπως είναι εμφανές οι διαδικασίες παραγωγής του σπόρου, προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους (142 pt), με σημαντικά μικρότερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία (9,79 pt), ενώ δεν φαίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα την ποιότητα του οικοσυστήματος (2,56 pt). Κατά τη μεταφορά όμως του σπόρου, λόγω των εκπομπών που εκλύονται από τη χρήση καυσίμων στο μεταφορικό όχημα, παρατηρείται ότι οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι εξίσου σημαντικές με αυτές που προκύπτουν από τη χρήση ορυκτών πόρων.

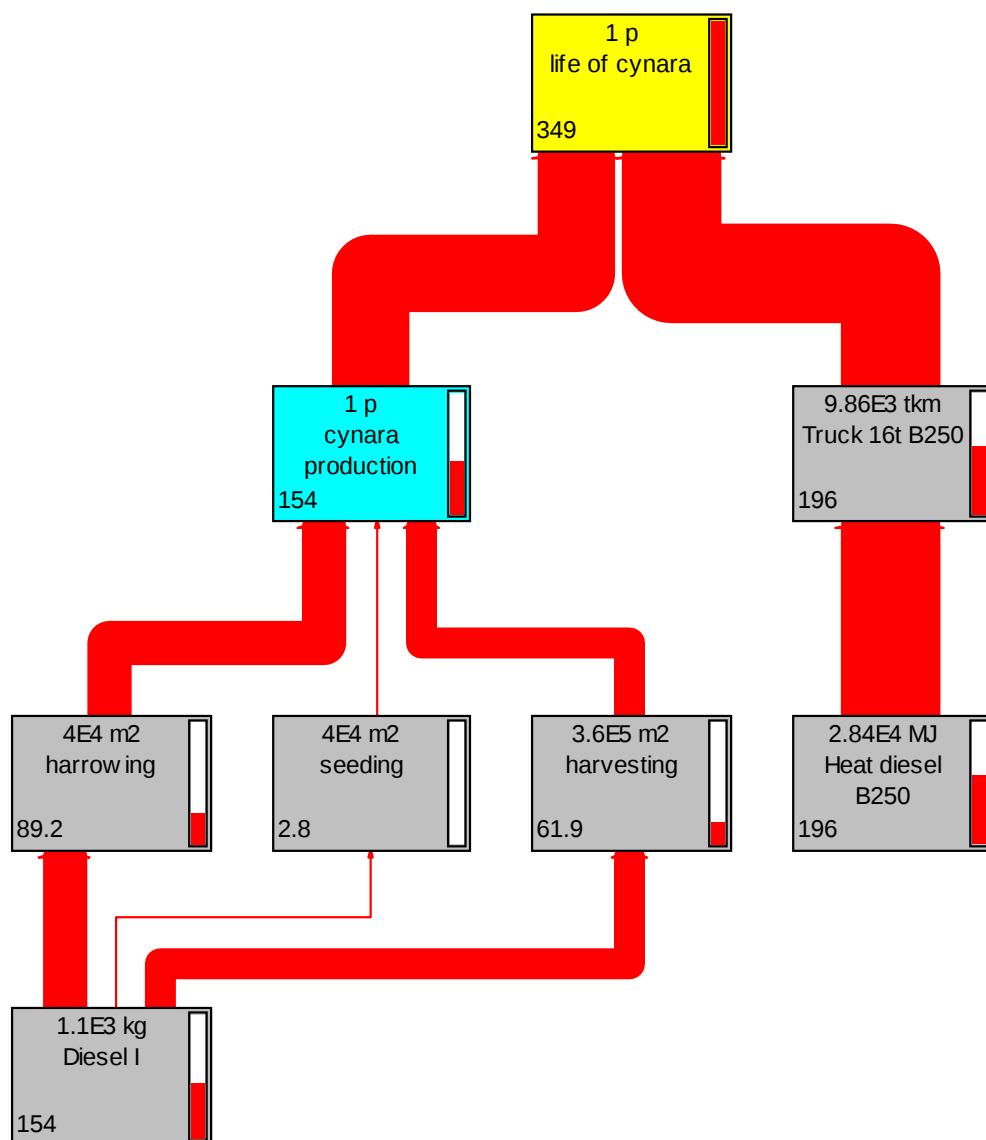
Πίνακας 4.9: Περιβαλλοντικό σκορ ανά τελική κατηγορία επιπτώσεων

Κατηγορία επίπτωσης	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Σύνολο	Pt	349	154	196
Ανθρώπινη υγεία	Pt	96,3	9,79	86,5
Ποιότητα Οικοσυστήματος	Pt	26,6	2,56	24
Φυσικοί πόροι	Pt	227	142	85



Σχήμα 4.11: Περιβαλλοντικό σκορ ανά τελική κατηγορία επιπτώσεων

Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζεται το δέντρο του μοντέλου που αναπτύχθηκε για την ανάλυση του κύκλου ζωής του εξεταζόμενου συστήματος, στο λογισμικό πακέτο SimaPro 5.0. Με βάση τη μοντελοποίηση, η όλη παραγωγική διαδικασία αποτελείται από 2 στάδια: την καλλιέργεια του φυτού *Cynara cardunculus L.* μέχρι και τη συγκομιδή του σπόρου του και τη μεταφορά του. Το πρώτο στάδιο αποτελείται από 3 διαδικασίες που αντιστοιχούν στις τρεις γεωργικές εργασίες που απαιτούνται για την παραγωγή του σπόρου. Αυτές είναι η βαθιά άροση του εδάφους, η σπορά του αγροτεμαχίου και τέλος η συγκομιδή του σπόρου. Το δεύτερο στάδιο είναι η διαδικασία της μεταφοράς στο εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ. Το πλάτος των τόξων δηλώνει τη συμβολή της κάθε διαδικασίας και του κάθε σταδίου στις συνολικές επιπτώσεις του συστήματος. Απεικονίζεται λοιπόν η επίδραση που έχει η διαδικασία της μεταφοράς και άρα η κατανάλωση καυσίμου για τη μεταφορά. Οπότε σε αυτή τη διαδικασία πρέπει να αναζητηθούν ευκαιρίες βελτίωσης της περιβαλλοντικής επίδοσης. Εάν για παράδειγμα ο σπόρος μεταφέρεται σε εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ, το οποίο βρίσκεται σε μικρή απόσταση ή εάν η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε μεγαλύτερη έκταση και ο παραγόμενος σπόρος μεταφέρεται με σχεδιασμένα βέλτιστα δρομολόγια, οι επιπτώσεις από τη διαδικασία αυτή θα ήταν πολύ μικρότερες.



Σχήμα 4.12: Δέντρο Παραγωγικής Διαδικασίας του ελαιοσπόρου και της μεταφοράς του.

5. Συμπεράσματα

Από το σύνολο της παρούσας εργασίας, εξάγονται κάποια συμπεράσματα όσον αφορά στην αλληλεπίδραση της κλιματικής αλλαγής με τη γεωργία, στις ενεργειακές καλλιέργειες, στα βιοκαύσιμα, και στην εξέταση του καλλιεργητικού συστήματος της *C. cardunculus* L., καθώς και στις επιπτώσεις τους. Τα συμπεράσματα είναι τα εξής:

Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής συχνά αντανakλούν στις αλλαγές της βροχόπτωσης και άλλων κλιματολογικών μεταβλητών όπως της θερμοκρασίας, της στάθμης της θάλασσας και των συγκεντρώσεων του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα. Η έλλειψη νερού και η ξηρασία μπορούν να προκαλέσουν δραματικές απώλειες στη γεωργική παραγωγή. Θερμοκρασίες υψηλότερες από τις βέλτιστες αντανakλούν στο μεταβολισμό των φυτών, προκαλώντας καταστάσεις έντασης. Στη Νότια Ευρώπη, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία, να μειώσει τη διαθεσιμότητα σε νερό, το υδροδυναμικό, το θερινό τουρισμό και γενικά, την παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, ως μεμονωμένοι παράγοντες ή σε συνδυασμό, μπορούν να ενισχύσουν την οξύτητα κάποιων προβλημάτων, όπως τα ζιζάνια, τα παράσιτα, τις ασθένειες και την ευπάθεια των καλλιεργειών. Επίσης προβλέπεται να αυξηθούν οι κίνδυνοι υγείας λόγω των καυσώνων και της συχνότητας των πυρκαγιών.

Η επιλογή των καλλιεργειών και των ποικιλιών ανάλογα με την ανοχή στις αβιοτικές πιέσεις (π.χ. υψηλή θερμοκρασία, ξηρασία, πλημμύρα, υψηλή περιεκτικότητα άλατος στο έδαφος, ανθεκτικότητα στα παράσιτα και στις ασθένειες), μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση. Η οργανική ύλη του εδάφους πρέπει να διατηρηθεί και να αυξηθεί, αφού σταθεροποιεί την εδαφολογική δομή έτσι ώστε να γίνεται απορρόφηση μεγαλύτερων ποσών νερού χωρίς να προκαλείται επιφανειακή απορροή, και επίσης βελτιώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού του εδάφους κατά τη διάρκεια εκτεταμένης ξηρασίας. Κατά συνέπεια η γεωργία, μπορεί να επηρεάσει τον καιρό και το κλίμα παγκοσμίως, ειδικά εάν αυξηθεί η αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα με λίγο ή μηδαμινό όργωμα ή/και με τη χρήση πιο αποδοτικών ενεργειακά μηχανημάτων.

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για τα υγρά βιοκαύσιμα και τη βιομάζα με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίηση, αυξάνεται συνεχώς. Το γεγονός αυτό οφείλεται αφενός στην ανάγκη

κάλυψης της ενεργειακή ζήτησης που εντείνεται, και αφετέρου στην εφαρμογή της ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Επιπλέον, υπάρχουν και επιδοτήσεις για τους αγρότες που θα επιλέξουν να ασχοληθούν με μία ενεργειακή καλλιέργεια.

Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για πολλά φυτικά έλαια ως υποκατάστατα καυσίμων ντίζελ, οδηγεί στην καλλιέργεια διαφόρων ελαιούχων ποικιλιών. Τα φυτικά έλαια, μετά από επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα, να αναμειχθούν σε μίγματα με καύσιμα ντίζελ, ή να διαεστεροποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν στους υπάρχοντες κινητήρες κίνησης. Η εμπορική επιτυχία τέτοιων καυσίμων εξαρτάται από τα φυσικά και τα χημικά χαρακτηριστικά τους, την οικονομική ανταγωνιστικότητά τους, έναντι των καυσίμων που βασίζονται στο πετρέλαιο και από τη θετική ενεργειακή ισορροπία, που εν μέρει εξαρτάται από την ενεργειακές εισροές, που απαιτούνται για την παραγωγή ελαιосπόρων.

Η ανάπτυξη «ενεργειακών καλλιεργειών» μπορεί να μειώσει τις καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εάν χρησιμοποιείται βιομάζα αντί των ορυκτών καυσίμων. Κάθε νέα γενιά ενεργειακών καλλιεργειών, καθώς αναπτύσσεται, θα αφαιρεί από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης μια ποσότητα CO₂ κατά προσέγγιση ισοδύναμη με αυτήν που απελευθερώνεται όταν η βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο και καίγεται εκλύοντας ενέργεια. Εντούτοις, οι ενεργειακές καλλιέργειες πρέπει να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας τις ορθότερες πρακτικές που ελαχιστοποιούν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε όλον τον κύκλο της ζωής τους, δηλαδή κατά τη φύτευση, την ανάπτυξη, τη συγκομιδή, τη μεταφορά, και τη μετατροπή των καλλιεργειών σε χρήσιμη ενέργεια. Ο βαθμός στον οποίο τα καύσιμα από βιομάζα μπορούν να εμποδίσουν τις καθαρές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από την αποδοτικότητα με την οποία μπορούν να παραχθούν και να χρησιμοποιηθούν.

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μπορούν επίσης να μειωθούν υποκαθιστώντας τη χρήση ορυκτών καυσίμων με ενέργεια από υπολείμματα βιομάζας (που περιλαμβάνουν γεωργικά απόβλητα, απόβλητα επεξεργασίας τροφίμων και μια ευρεία ποικιλία υλικών από υπολείμματα ξυλείας). Τα βιοκαύσιμα γενικότερα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα γιατί προέρχονται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών και στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Στο μέλλον, η καύση της βιομάζας θα παίξει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη θέρμανση. Οι διαφορές όμως στις ιδιότητες των

καυσίμων βιομάζας είναι μεγάλες και μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την αποδοτικότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τη χρήση τους.

Ένας ακόμη λόγος για χρήση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας, είναι τα προβλήματα που προέρχονται στον αγροτικό τομέα στη Δυτική Ευρώπη, όπως η παραγωγή πλεονασμάτων τροφίμων, η απομάκρυνση του πληθυσμού από τις αγροτικές περιοχές και η καταβολή σημαντικών επιχορηγήσεων για να τηρηθεί αγρανάπαυση

Το σύνθημα αποτέλεσμα που προκύπτει από τις μελέτες της βιβλιογραφίας είναι ότι, μέσω της χρήσης βιοκαυσίμων, επέρχεται καθαρό περιβαλλοντικό όφελος έναντι στις εναλλακτικές λύσεις ορυκτών καυσίμων, πλην όμως το όφελος αυτό θα είναι πολύ ευαίσθητο στις γεωργικές πρακτικές, καθώς και σε άλλους παράγοντες, όπως η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής, αν και αυτό το ποσοστό εξαρτάται από τον τύπο βιομάζας.

Ο βαθμός στον οποίο η υψηλή ζήτηση των βιοκαυσίμων θα βλάψει ή θα βοηθήσει το φτωχό πληθυσμό στις αναπτυσσόμενες χώρες, πιθανά θα ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Για να κατανοηθούν οι επιπτώσεις της επεκτεινόμενης ζήτησης σε παγκόσμιο αλλά και σε τοπικό επίπεδο, απαιτείται βαθύτερη ανάλυση.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι τα οφέλη του βιοντίζελ είναι αρκετά. Παρέχει μια αγορά για την πλεονάζουσα παραγωγή των φυτικών ελαίων και των ζωικών λιπών. Μειώνει, αν και δεν θα εξαλείψει, την εξάρτηση των χωρών από το εισαγόμενο πετρέλαιο, λόγω της εγχώριας προέλευσης του. Είναι ανανεώσιμο και δεν συμβάλλει στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του κλειστού κύκλου άνθρακά του. Από την καύση του προκύπτουν μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ότι αυτές των ορυκτών καυσίμων. Είναι μη τοξικό και βιοαποδομείται περίπου 4 φορές γρηγορότερα από το συμβατικό ντίζελ. Επιπλέον, διαθέτει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με το ντίζελ: έτοιμη διαθεσιμότητα, ανανεωσιμότητα, υψηλότερη αποδοτικότητα καύσης, χαμηλότερο θείο και αρωματικό περιεχόμενο, υψηλότερο αριθμό κανονικού εξαδεκανίου, υψηλό σημείο ανάφλεξης και λιπαντικές ιδιότητες που διαθέτει εκ φύσεως.

Σημαντικά μειονεκτήματα του βιοντίζελ είναι το υψηλότερο ιξώδες, το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο, τα υψηλότερα σημεία ροής και θόλωσης, οι υψηλότερες εκπομπές οξειδίων αζώτου

(NO_x), η χαμηλότερη ταχύτητα και δύναμη του κινητήρα, η επικάθιση άνθρακα στον εγχυτήρα της μηχανής, η συμβατότητα των κινητήρων, η υψηλή τιμή του και η υψηλότερο κόστος κινητήρων.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της *Cynara cardunculus* L.. Το συγκεκριμένο φυτό μπορεί να αποδώσει μεγάλες ποσότητες ελαιούχου σπόρου, αλλά και βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς, χωρίς να εφαρμοστούν λιπάνσεις, αρδεύσεις και φυτοπροστασία. Οι εφαρμογές αυτές συνεπάγονται χρήση χημικών εδαφοβελτιωτικών, νερού και χημικών σκευασμάτων. Επίσης, εξαλείφεται η ανάγκη χρήσης γεωργικού μηχανολογικού εξοπλισμού για αυτές τις εφαρμογές, και φυσικά και η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμων.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και την εμπειρική έρευνα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η καλλιέργεια του συγκεκριμένου φυτού, τόσο για ενεργειακούς σκοπούς όσο και για άλλες χρήσεις, δεν είναι διαδεδομένη στην Ελλάδα. Επίσης, μία άλλη έλλειψη που παρατηρείται στη βιβλιογραφία, είναι οι λιγοστές μελέτες Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής ενεργειακών καλλιεργειών αλλά και καλλιεργειών γενικότερα στην Ελλάδα. Οπότε προκύπτει θέμα έλλειψης δεδομένων και επιστημονικής πληροφόρησης τόσο για την παρούσα εργασία, όσο και για ορθές συστάσεις καλλιεργειών από επιστήμονες γεωπόνους σε γεωργούς.

Η μεγάλη παραγωγικότητα της *C. cardunculus* L. υπό συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και ξηρασίας, υπό μη προνομιούχες εδαφικές συνθήκες και με ελάχιστες εισροές ενέργειας, παρουσιάζει ενδιαφέρον, όσον αφορά σε περιοχές με τέτοια οικολογική κατάσταση, όπως συμβαίνει στη νότια Ευρώπη. Η παραγωγή ελαίου από τη *C. cardunculus* L. είναι συγκρίσιμη με την παραγωγή ηλίανθου ή σόγιας (800 kg και 375 kg ανά ha/έτος αντιστοίχως).

Από τη διερεύνηση των περιπτώσιολογικών μελετών επί των βιοκαυσίμων, εξήχθησαν κάποια συμπεράσματα. Διαπιστώθηκε ότι, οι πρόσφατες εξελίξεις στα οχήματα βενζίνης, η χαμηλή τιμή πετρελαίου και οι εκτεταμένες υποδομές για τα ορυκτά καύσιμα καθιστούν δύσκολη την εμπορική βιωσιμότητα των εναλλακτικών καυσίμων. Για να είναι τα βιοκαύσιμα μια βιώσιμη εναλλακτική λύση, θα πρέπει να παρέχουν καθαρό κέρδος ενέργειας, να έχουν περιβαλλοντικά οφέλη, να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά και να μπορούν να παράγονται σε τέτοιες ποσότητες, ώστε να μην προκαλούν μείωση των προμηθειών τροφίμων.

Επιπλέον, η εκτίμηση των επιπτώσεων των κύκλων ζωής κάποιων ενεργειακών καλλιεργειών, έδειξε ότι, η χρήση των λιπασμάτων είναι η διαδικασία με τη μεγαλύτερη επίπτωση. Η δεύτερη πιο σημαντική επίπτωση παρουσιάζεται όταν χρησιμοποιείται ντίζελ σε γεωργικούς ελκυστήρες και οχήματα μεταφοράς. Η επίπτωση αυτή θα ήταν λιγότερο σημαντική αν υπήρχε αντικατάσταση του ντίζελ με βιοντίζελ.

Τα αποτελέσματα στις περισσότερες περιπτώσιολογικές μελέτες, αποκάλυψαν ότι, η αγρονομική βέλτιστη καλλιεργήσιμη γεωργία δεν συγκρούεται απαραίτητως με οικονομικούς και περιβαλλοντικούς όρους.

Κατά την περιβαλλοντική αξιολόγηση της παραγωγής και της μεταφοράς του σπόρου της *Cynara cardunculus* L. προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι κυριότερες και μεγαλύτερες επιπτώσεις προκαλούνται από τους ορυκτούς πόρους, τόσο από την εξόρυξη τους, όσο και από τη χρήση τους και στις τέσσερις διαδικασίες του συστήματος που εξετάστηκε. Παρουσιάζονται αρνητικές επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων, με εξαίρεση σε αυτή της ραδιενέργειας και αυτό λόγω της απουσίας χρήσης της στις διαδικασίες. Οι μικρότερες επιπτώσεις παρατηρήθηκαν στην ποιότητα του οικοσυστήματος. Αυτό οφείλεται στην απουσία λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων καθώς και στο ότι η καλλιέργεια είναι ξηρική, οπότε δεν καταναλώθηκε νερό για την άρδυσή της.

Οι διαδικασίες για την παραγωγή του ελαιοσπόρου είχαν επιπτώσεις στην κατηγορία επιπτώσεων της χρήσης γης. Αυτό φυσικά είναι λογικό μιας και η χρήση γης είναι προϋπόθεση σε μια καλλιέργεια και η απασχόλησή της αυτονόητη.

Σύμφωνα με τους συντελεστές στάθμισης των κατηγοριών επιπτώσεων από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, οι μεγαλύτερες επιπτώσεις μίας καλλιέργειας προκαλούνται από τη καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος και στη χρήση φυτοφαρμάκων. Στη συγκεκριμένη καλλιέργεια, που εξετάστηκε, δεν χρησιμοποιούνται ζιζανιοκτόνα και εντομοκτόνα, για αυτό και ενδείκνυται ως καλλιέργεια φιλική προς το περιβάλλον από την άποψη της οικοτοξικότητας.

Από όλες τις διαδικασίες του συστήματος, αυτή που είχε τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο, ήταν η μεταφορά του σπόρου από το χωράφι στο εργοστάσιο παραγωγής

βιοντίζελ. Αυτή είναι και η διαδικασία – κλειδί, που επιδέχεται βελτίωση, ώστε το σύστημα να καταστεί φιλικότερο προς το περιβάλλον.

Εάν για παράδειγμα ο σπόρος μεταφέρεται σε εργοστάσιο παραγωγής βιοντίζελ, το οποίο βρίσκεται σε μικρή απόσταση ή εάν η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε μεγαλύτερη έκταση και ο παραγόμενος σπόρος μεταφέρεται με σχεδιασμένα βέλτιστα δρομολόγια, οι επιπτώσεις από τη διαδικασία αυτή θα ήταν πολύ μικρότερες.

Προτάσεις

Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση της αποδοτικότητας και της περιβαλλοντικής επίδοσης του φυτού *Cynara cardunculus* L., μιας και προκύπτει ότι ευδοκίμει σε περιοχές με μεσογειακές κλιματικές συνθήκες και μπορεί να αξιοποιηθεί όχι μόνο στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, αλλά και ως ζωοτροφή και πρώτη ύλη για παραγωγή χαρτιού.

Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η εκπόνηση μίας Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής της παραγωγικής διαδικασίας του σπόρου της *Cynara cardunculus* L., αλλά με την εισαγωγή εισροών όπως λιπάσματα, νερού και φυτοφαρμάκων, προκειμένου να διαπιστωθεί αφενός εάν μια τέτοια καλλιέργεια είναι συμφέρουσα ενεργειακά και εάν η αυξημένη παραγωγή του σπόρου δικαιώνει τις αναπόφευκτες προκληθείσες επιπτώσεις από τη χρήση επιπλέον πρώτων υλών, φυσικών πόρων και μηχανολογικού εξοπλισμού.

Εξίσου ενδιαφέρον θα είχε η εκπόνηση μίας Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής της παραγωγής του εν λόγω φυτού, με οικολογική καλλιέργεια, δηλαδή φιλοπεριβαλλοντικά σχεδιασμένη με χρήση οργανικού κομποστ για εδαφική λίπανση και χρήση βιοντίζελ στα γεωργικά μηχανήματα.

Τέλος, παρατηρείται η ανάγκη για εκπόνηση περισσότερων μελετών Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής καλλιεργειών στην Ελλάδα, ώστε να ικανοποιηθεί η ανάγκη για δεδομένα, στοιχεία και πληροφόρηση, εργαλεία δηλαδή που θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων για την αγροτική πολιτική και επιστήμονες των σχετικών κλάδων.

Βιβλιογραφία

1. Augustus, G.D.P.S. and G.J., Seiler (2001, “Promising oil producing seed species of Western Ghats (Tamil Nadu, India)”, *Industrial Crops and Products*, Vol. 13, pp. 93-100.
2. Bernesson, S., Nilsson, D. and P-A., Hansson (2006), “A limited LCA comparing large- and small-scale production of ethanol for heavy engines under Swedish conditions”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 30, pp. 46–57.
3. Blanco, M.I. and D., Azqueta (2008), “Can the environmental benefits of biomass support agriculture? – The case of cereals for electricity and bioethanol production in Northern Spain”, *Energy Policy*, Vol. 36, pp. 357–366.
4. Blottnitz, H. and M.A. Curran (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*, Vol. 15, pp. 607-619.
5. Brentrup, F., Küsters, J., Lammela, J., Barraclough, P. and H. Kuhlmann (2004), “Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems”, *Europ. J. Agronomy*, Vol. 20, pp. 265–279.
6. Christou, M., Mardikis, M. and E. Alexopoulou (2005), “Biomass Production from perennial crops in Greece”, *14th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 17-21 October 2005, Paris, France
7. Curt, M.D., Sanchez, G. and J. Fernandez (2002), “The potential of *Cynara cardunculus* L. for seed oil production in a perennial cultivation system”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 23, pp. 33-46.
8. Dare, P., Gilford, J., Hooper, R.J., Clemens, A. H., Damiano, L.F., Gong, D. and T.W. Matheson (2001), “Combustion performance of biomass residue and purpose grown species”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 21, pp. 277–87.

9. De Nocker, L., Spirinckx, C. and R. Torfs (1998), "Comparison of LCA and external-cost analysis for biodiesel and diesel", *2nd International conference LCA in Agriculture, Agro-industry and Forestry*, VITO, Flemish Institute for Technological Research, Brussels.
10. Demirbas, A. (2007), "Importance of biodiesel as transportation fuel", *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 4661–4670.
11. Fernández, J. and M.D., Curt (2004), "Low-cost biodiesel from *Cynara* oil", 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection", 10-14 May 2004, Rome, Italy.
12. Encinar, J.M., González, J.F. and J., González (2000), "Fixed-bed pyrolysis of *Cynara cardunculus* L. Product yields and compositions", *Fuel Processing Technology*, Vol. 68, pp. 209–222.
13. Fernández, J. and M.D., Curt (2006), "State of the art of *Cynara cardunculus* L. as an energy crop", Department of Plant Production: Botany and Plant Protection, Polytechnic University of Madrid, Spain.
14. Foti, S., Mauromicale, G., Raccuia, S.A., Fallico, B., Fanella, F. and E. Maccarone (1999), "Possible alternative utilization of *Cynara* spp. I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain", *Industrial Crops and Products*, Vol. 10, pp. 219-228.
15. Frondel, M. and J. Peters (2007), "Biodiesel: A new Oildorado?", *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 1675–1684.
16. Gasol, C.M., Gabarell, X., Anton, A., Rigola M., Carrasco, J., Ciria, P., Solano, M.L. and J., Rieradevall (2007), "Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, pp. 543–555.
17. Gominho, J., Fernandez, J. and H. Pereira (2001), "*Cynara cardunculus* L. - a new fibre crop for pulp and paper production", *Industrial Crops and Products*, Vol. 13, pp. 1-10.

18. Gonzalez, J.F., Gonzalez-Garcia, C.M., Ramiro, A., Gonzalez, J., Sabio, E., Gañán, J. and M.A., Rodriguez (2004), "Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 27, pp. 145–154.
19. Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S. and T. Douglas (2006), "Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels", *National Academy of Sciences of the USA*, Vol. 103, No. 30, pp. 11206–11210..
20. Kallivroussis, L., Natsis, A. and G. Papadakis (2002), "The Energy Balance of Sunflower Production for Biodiesel in Greece", *Biosystems Engineering*, Vol. 81(3), pp. 347–354
21. Maccarone, E., Fallico, B., Fanella, F., Mauromicale, G., Raccuia, S.A. and S. Foti (1999), "Possible alternative utilization of *Cynara* spp. II. Chemical characterization of their grain oil", *Industrial Crops and Products*, Vol. 10, pp. 229-237.
22. Kuesters, J. and J. Lammel (1999), "Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe", *European Journal of Agronomy*, Vol. 11, pp.35-43.
23. MacLean, H., L., Lave, L., B., Lankey, R. and S. Joshi (2000), "A Life-Cycle Comparison of Alternative Automobile Fuels", *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 50, pp. 1769-1779.
24. Mckentry, P. (2002), "Energy production biomass (part 1): overview of biomass", *Bioresource Technology*, Vol. 83, pp. 37–46.
25. Mattsson, B., Cederberg, C. and L. Blix (2000), "Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 8, pp 283–292.
26. Nylund, N.O., Aakko-Saksa, P. and S. Kai (2008), "Status and outlook for biofuels, other alternative fuels and new vehicles", VTT RESEARCH NOTES 2426, ESPOO 2008.

27. Orchard, B., Denis, J. and J. Cousins (2007), "Developments in biofuel processing technologies Bryan, Jon Denis and John Cousins", *World Pumps*, Vol. 2007, Iss. 487, pp. 24-28.
28. Panoutsou, C. (2007), "Socio-economic impacts of energy crops for heat generation in Northern Greece", *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 6046–6059.
29. Pascual, L.M. and R.R. Tan (2004), "Comparative Life Cycle Assessment of Coconut Biodiesel and Conventional Diesel for Philippine Automotive Transportation and Industrial Boiler Application", Chemical Engineering Department, College of Engineering De La Salle University Manila, Philippines.
30. Pascualino, J.C. (2006), "*Cynara cardunculus* as an alternative crop for biodiesel production", Thesis directed by Dr. Joan Salvado, Department of Chemical Engineering, Universitat Rovira Virgili, Tarragona, Spain
31. Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Joliet, O., Rydberg, T. and G. Rebitzer (2004), "Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice", *Environment International*, Vol. 30, pp. 721-739.
32. Raccuia, S.A. and M.G. Melilli (2007), "Biomass and grain oil yields in *Cynara cardunculus* L. genotypes grown in a Mediterranean environment", *Field Crops Research*, Vol. 101, pp. 187-197.
33. Rahmani, M. and A. Hodges (2006), "Potential Feedstock Sources for Ethanol Production in Florida", Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
34. Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.-P., Suh, S., Weidema, B.P. and D.W. Pennington (2004), "Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications", *Environment International*, Vol. 30, pp. 701-720.
35. Seungdo, K. and B.E. Dale (2005), "Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 29, pp. 426-439.

36. Van Gerpen, J. (2005), “Biodiesel processing and production”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 86, pp. 1097–1107.
37. Γαβρηλίδης Σ (1969), «Καλλιεργητικές φροντίδες και μηχανική συγκομιδή»,
38. Γιακουμέτης, Γ., «Ελκυστήρες και γεωργικά μηχανήματα»
39. «Γεωργία και Κλιματική Αλλαγή: Κώδικας πρακτικών για την πρόληψη των αλληλοεπιδράσεων μεταξύ γεωργίας και κλιματικής αλλαγής», ACCRETe - Πρόγραμμα συγχρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση - INTERREG III B CADSES, <http://www.accrete.eu/>
40. Κίττας, Κ. (2007), «Βιοκαύσιμα και ενεργειακές καλλιέργειες», 2^ο Πανελλήνιο συνέδριο εναλλακτικών καυσίμων & βιοκαυσίμων, Απρίλιος 2007, Καρδίτσα.
41. Μιχαηλίδης, Π.Γ. (1956), «Γεωργικά μηχανήματα»
42. Μουσιόπουλος, Ν., Α., Μπούρα (1999), “Ανάλυση Κύκλου Ζωής”, Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ,
43. Παρασκευαΐδης, Π. (1986), «Γεωργικά μηχανήματα».

Διαδικτυακές πηγές

44. EarthTrends (World Resources Institute)
- <http://earthtrends.wri.org/updates/node/180>
45. Earth Policy Institute, 2006.
- <http://www.earth-policy.org/index.htm>
- http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update55_data.htm
46. <http://www.sentex.net/~crfa/envirobenefits.html>
47. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)

www.cres.gr

48. Life Cycle Software tools, PreConsultants

<http://www.pre.nl/software.htm>

49. SimaPro Reference Manual (2003), PreConsultants

<http://www.pre.nl/download/manuals/ReferenceManual.pdf>

50. The Eco-indicator 95, Final Report

<http://www.pre.nl/eco-indicator95/ei95-reports.htm>

51. Eco-indicator 99, Methodology report, 3rd revised edition

http://www.pre.nl/download/EI99_methodology_v3.pdf

Παράρτημα

Απογραφή δεδομένων

AA	Ουσία	Compartment	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
1	bauxite	Raw	g	352	352	x
2	coal	Raw	kg	5,61	5,61	x
3	coal ETH	Raw	kg	5,45	x	5,45
4	crude oil ETH	Raw	kg	682	x	682
5	crude oil IDEMAT	Raw	tn.lg	1,12	1,12	x
6	iron (ore)	Raw	g	154	154	x
7	lignite ETH	Raw	kg	7,25	x	7,25
8	limestone	Raw	g	154	154	x
9	natural gas	Raw	kg	68,1	68,1	x
10	natural gas ETH	Raw	m3	34,3	x	34,3
11	pot. energy hydropower	Raw	MJ	31,8	x	31,8
12	uranium (in ore)	Raw	mg	493	x	493
13	water	Raw	kg	231	231	x
14	wood	Raw	g	53,5	x	53,5
15	ammonia	Air	mg	61	x	61
16	benzene	Air	g	80,7	x	80,7
17	Cd	Air	mg	21,8	x	21,8
18	CO	Air	oz	438	3,11	435
19	CO ₂	Air	kg	2560	313	2240
20	CxHy	Air	kg	3,19	3,19	x
21	CxHy aromatic	Air	g	13,4	x	13,4
22	CxHy chloro	Air	μg	12,9	x	12,9

23	dust	Air	g	925	x	925
24	dust (SPM)	Air	g	374	374	x
25	HALON-1301	Air	mg	163	x	163
26	HCl	Air	g	10,1	5,5	4,59
27	HF	Air	mg	480	x	480
28	Hg	Air	mg	2,24	x	2,24
29	metals	Air	g	8,17	1,1	7,07
30	methane	Air	kg	2,73	x	2,73
31	Mn	Air	mg	1,84	x	1,84
32	N ₂ O	Air	g	54,2	x	54,2
33	Ni	Air	g	1,08	x	1,08
34	non methane VOC	Air	kg	14	x	14
35	NO _x	Air	kg	3,19	3,19	x
36	NO _x (as NO ₂)	Air	kg	40,4	x	40,4
37	PAH's	Air	mg	16,9	x	16,9
38	Pb	Air	mg	120	x	120
39	SO _x	Air	kg	1,98	1,98	x
40	SO _x (as SO ₂)	Air	kg	3,38	x	3,38
41	Zn	Air	mg	719	x	719
42	Al	Water	g	9	x	9
43	anorg. dissolved subst.	Water	kg	13,2	x	13,2
44	AOX	Water	mg	134	x	134
45	As	Water	mg	44,8	x	44,8
46	Ba	Water	g	86,3	x	86,3
47	BOD	Water	g	8,58	5,5	3,08
48	Cd	Water	mg	38	x	38

49	Cl-	Water	oz	644	0,388	644
50	COD	Water	g	112	11	101
51	Cr	Water	mg	378	x	378
52	Cu	Water	mg	106	x	106
53	CxHy	Water	g	22	22	x
54	CxHy aromatic	Water	g	29,1	x	29,1
55	CxHy chloro	Water	mg	30	x	30
56	cyanide	Water	mg	135	x	135
57	DOC	Water	mg	16,2	x	16,2
58	Fe	Water	g	19,2	x	19,2
59	H2	Water	g	33	33	x
60	Hg	Water	µg	338	x	338
61	Kjeldahl-N	Water	g	12,7	x	12,7
62	metallic ions	Water	g	216	5,5	210
63	N-tot	Water	g	74,3	1,1	73,2
64	NH4+	Water	g	75	x	75
65	Ni	Water	mg	140	x	140
66	nitrate	Water	g	22,5	x	22,5
67	oil	Water	g	913	x	913
68	PAH's	Water	mg	446	x	446
69	Pb	Water	mg	92,5	x	92,5
70	phenols	Water	g	4,53	x	4,53
71	phosphate	Water	mg	888	x	888
72	sulphate	Water	g	644	x	644
73	sulphide	Water	g	1,08	x	1,08
74	suspended substances	Water	kg	1,95	x	1,95

75	TOC	Water	g	315	x	315
76	toluene	Water	g	4,06	x	4,06
77	Zn	Water	mg	400	x	400
78	final waste (inert)	Solid	kg	2,42	2,42	x
79	slag	Solid	kg	2,75	2,75	x
80	Conv. to industrial area	Non mat.	cm2	227	227	x
81	Occup. as industrial area	Non mat.	m2a	6,13	6,13	x
82	radioactive substance to air	Non mat.	kBq	42900	x	42900
83	radioactive substance to water	Non mat.	kBq	410	x	410

Πίνακας εκπομπών προς το περιβάλλον

Emission compartment	Ουσία	Μονάδα	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Non material emission	radioactive substance to air	Bq		42900000
Non material emission	radioactive substance to water	Bq		410000
Raw material	limestone	kg	0,154	
Raw material	uranium (in ore)	kg		0,000493
Raw material	water	kg	231	
Raw material	wood	kg		0,0535
Airborne emission	HCl	kg	0,0055	0,00459
Airborne emission	HF	kg		0,00048
Airborne emission	Mn	kg		0,00000184
Waterborne emission	Al	kg		0,009
Waterborne emission	anorg. dissolved subst.	kg		13,2
Waterborne emission	AOX	kg		0,000134

Waterborne emission	Ba	kg		0,0863
Waterborne emission	BOD	kg	0,0055	0,00308
Waterborne emission	Cl-	kg	0,011	18,3
Waterborne emission	COD	kg	0,011	0,101
Waterborne emission	CxHy	kg	0,022	
Waterborne emission	CxHy aromatic	kg		0,0291
Waterborne emission	CxHy chloro	kg		0,00003
Waterborne emission	cyanide	kg		0,000135
Waterborne emission	DOC	kg		0,0000162
Waterborne emission	Fe	kg		0,0192
Waterborne emission	H2	kg	0,033	
Waterborne emission	Kjeldahl-N	kg		0,0127
Waterborne emission	N-tot	kg	0,0011	0,0732
Waterborne emission	NH4+	kg		0,075
Waterborne emission	nitrate	kg		0,0225
Waterborne emission	oil	kg		0,913
Waterborne emission	phenols	kg		0,00453
Waterborne emission	phosphate	kg		0,000888
Waterborne emission	sulphate	kg		0,644
Waterborne emission	sulphide	kg		0,00108
Waterborne emission	suspended substances	kg		1,95
Waterborne emission	TOC	kg		0,315
Solid emission	final waste (inert)	kg	2,42	
Solid emission	slag	kg	2,75	
Raw material	pot. energy hydropower	MJ		31,8

Συνεισφορά κάθε καυσίμου

Λιαδικασία	Μονάδα	Σύνολο	Παραγωγή cynara	Μεταφορά με φορτηγό 16t
Total of all processes	Pt	349	154	196
Heat diesel B250	Pt	196	x	196
Diesel I	Pt	154	154	x