

Κεφάλαιο 8. Εφαρμογή Μεθοδολογίας AKZ στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών

8.1. Εισαγωγή

Το μεγαλύτερο ποσοστό μελετών AKZ επικεντρώνεται σε προϊόντα. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας της AKZ στη βελτιστοποίηση παραγωγικών διαδικασιών ήταν πολύ σπάνια. [Berkhout και Howes ,1997]. Οι εφαρμογές της μεθόδου σε ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα όπως για παράδειγμα σε συστήματα μεταφορών με εξέταση ολόκληρου του κύκλου ζωής του ενεργειακού πόρου που χρησιμοποιείται έχουν αρχίσει να αυξάνονται τα τελευταία χρόνια, κυρίως με την ανάπτυξη της βιομηχανίας των βιοκαυσίμων στην Ευρώπη. Η ΕΕ, όπως παρουσιάστηκε και στο **κεφάλαιο 4** υποστηρίζει τη χρήση βιοκαυσίμων μέσα στο πλαίσιο των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, της ενίσχυσης της αφαίρεσης άνθρακα από καύσιμα για μεταφορές, της διαφοροποίησης των πηγών εφοδιασμού καυσίμων και της ανάπτυξης μακροπρόθεσμα υποκατάστατων για το ορυκτό πετρέλαιο. Η παραγωγή ενέργειας από την καύση βιομάζας και τα παράγωγα αυτής αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις δημιουργούνται καθ' όλη την διάρκεια της αλυσίδας παραγωγής βιοκαυσίμων, από την αλλαγή χρήσης γης, την παραγωγή και εφαρμογή λιπασμάτων και χημικών, τη καλλιέργεια ενεργειακών φυτών, τη παραγωγή βιοκαυσίμων, την μεταφορά τους και τη χρήση τους από αυτοκίνητα.

Η ανάπτυξη της βιομηχανίας των βιοκαυσίμων έχει οδηγήσει στην εκπόνηση ενός σημαντικού αριθμού μελετών, οι οποίες αφορούν το **ισοζύγιο ενέργειας και αερίων του θερμοκηπίου** σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους με τη χρήση της μεθοδολογίας AKZ [De Calvedo Macedo et al.,2004; Ecobilan, 2002; Joint Research Center, 2006; UFOP, 2008]. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα, 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 [Hill et al. (2006)]. Ένα από τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής, είναι ότι κανένας τύπος βιοκαυσίμου δεν μπορεί να αντικαταστήσει τη χρήση πετρελαίου, χωρίς να υπάρχει αντίκτυπο στις προμήθειες τροφίμων.

Η AKZ αποτελεί εξαιρετικό διαγνωστικό εργαλείο **περιβαλλοντικής αποτίμησης** του κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων. Για παράδειγμα, ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις δημιουργούνται από συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως για παράδειγμα η απορροή νιτρικών η οποία οφείλεται σε γεωργική δραστηριότητα. Αρκετοί ρυπαντές δημιουργούνται σε διάφορα βήματα του κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων με κυριότερο ρυπαντή το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που παράγεται σχεδόν σε κάθε βήμα του κύκλου ζωής αυτών [Zah, et al., 2009]. Παρόλα αυτά φαίνεται να υπάρχει μία ισορροπία (trade-off) μεταξύ της μείωσης των αερίων θερμοκηπίου και γενικότερα της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [Zah, et al., 2007]. Είναι γεγονός πως τα αέρια θερμοκηπίου μπορούν να μειωθούν πάνω από 30% αν χρησιμοποιηθούν ορισμένα βιοκαύσιμα. Ωστόσο, οι περισσότερες ενδιάμεσες διεργασίες δείχνουν μεγαλύτερες επιπτώσεις σε διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες σε σχέση με τη διαδικασία καύσης πετρελαίου. Στην περίπτωση της τροπικής γεωργίας, η αποψίλωση και καταστροφή των τροπικών δασών παράγει τεράστια ποσά CO₂ στην ατμόσφαιρα, αυξάνει την αέρια μόλυνση και έχει μαζικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα. Στις εύκρατες περιοχές, εν μέρει η χαμηλή αγροτική παραγωγή και εν μέρει η εντατικοποιημένη λίπανση και μηχανική άρση των εδαφών προκαλούν περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ωστόσο, σε αντίθεση με την περίπτωση των ορυκτών καυσίμων, η περιβαλλοντική επιβάρυνση των βιοκαυσίμων μπορεί να περιοριστεί με συγκεκριμένα μέτρα. Η διερεύνηση των παραγωγικών σταδίων έδειξε πως η χρήση των βιογενών αποβλήτων και του πράσινου όπως και το ξύλο, μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με το πετρέλαιο.

Η AKZ εφαρμόζεται επίσης για τη **συγκριτική αξιολόγηση βιοκαυσίμων** (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη) και συμβατικών καυσίμων [Ceuterick and Spirinckx, 1997; Gover et al., 1996; Coulon et al., 1996; Kaltschmitt and Reinhardt, 1997; Sheehan et al., 1998; Lechon et al., 2006; De Nocker et al., 1998; Van Gerpen, 2000, MacLean et al., 2000], αντικατοπτρίζοντας το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης τους. Οι συγκριτικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για διαφορετικούς τύπους βιοκαυσίμων. Για παράδειγμα, 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 [Pascual and Tan (2004)]. Οι Tsoutsos et al. (2010), εκτιμήσαν το περιβαλλοντικό προφίλ τριών ενεργειακών καλλιέργειών (ελαιοκράμβη, ηλιάνθος και σόγια) που χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή βιοντίζελ.

Οι Tonini και Astrup (2012), ποσοτικοποίησαν με τη χρήση της μεθοδολογίας της AKZ τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με μελλοντικά σενάρια παραγωγής ενέργειας για την Δανία από το 2030 έως το 2050. Ωστόσο, υπάρχει μια εξουδετέρωση των θετικών αποτελεσμάτων χρήσης βιοενέργειας από τις άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που

σχετίζονται με τη γεωργική παραγωγή, όπως ευτροφισμός, ή οικοτοξικότητα [Emmenegger et al., 2012].

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως η μεθοδολογία της AKZ μπορεί να διαφέρει αρκετά από περίπτωση σε περίπτωση, όπως για παράδειγμα σε σχέση με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της αποτίμησης των επιπτώσεων ή σε σχέση με τη σκοπούμενη χρήση της (εξέταση κύκλου ζωής κάποιου ενεργειακού πόρου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κινητικής ενέργειας στα οχήματα ή κύκλου ζωής παραγωγής κάποιου προϊόντος). Λόγω του εύρους του πεδίου εφαρμογής της AKZ, σε μερικές περιπτώσεις γίνεται προσπάθεια να συνδυαστούν τα κόστη και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για να δημιουργηθεί η βάση για μια ανάλυση σεναρίων, η οποία θα στοχεύει στη διερεύνηση της διείσδυσης εναλλακτικών καυσίμων στο Σύστημα Μεταφορών καθώς και στη βελτιστοποίηση αυτού. Η παρούσα εργασία κινείται στην κατεύθυνση αυτή, δηλαδή στην χρήση της AKZ ως εργαλείο περιβαλλοντικής αξιολόγησης σε συνδυασμό με την ανάλυση σεναρίων και την οικονομική ανάλυση για την ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου βελτιστοποίησης του σχεδιασμού συστημάτων μεταφορών με έμφαση στις οδικές μεταφορές.

8.2. Γενικές Παραδοχές εφαρμογής AKZ στα καύσιμα

Η μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ) παρουσιάστηκε αναλυτικά στο **κεφάλαιο 7**. Με βάση τις αρχές που διέπουν το πλαίσιο εφαρμογής της κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν οι παραδοχές που γίνονται στην παρούσα εργασία όπως επίσης και οι τροποποιήσεις για την εφαρμογή της σε κύκλους ζωής των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών. Οι παραδοχές αυτές είναι:

Σκοπός - Πλαίσιο μελέτης AKZ

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η ενσωμάτωση της AKZ ως βασικό εργαλείο μιας ευρύτερης μεθοδολογίας, η οποία στοχεύει στο βιώσιμο σχεδιασμό Συστημάτων Μεταφοράς αξιολογώντας την περιβαλλοντική απόδοση των ενεργειακών πόρων (καυσίμων) και αναπτύσσοντας ένα μοντέλο το οποίο διερευνά τη διείσδυση εναλλακτικών καυσίμων και περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών στα μεγάλα αστικά κέντρα. Γίνεται χρήση της μεθοδολογίας AKZ και εφαρμογή της σε διαφορετικού είδους καύσιμα καθώς και οχήματα διαφορετικών τεχνολογιών προκειμένου να αναγνωριστούν και να ποσοτικοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κάθε ενός, να υπολογιστούν τα ενεργειακά ισοζύγια έτσι ώστε να τεθούν σε μια συγκρίσιμη βάση.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως μέσω της AKZ εξετάζεται η ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής, κοινωνικής και οικονομικής διάστασης σε μια ευρύτερη ανάλυση των Συστημάτων Μεταφορών. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την AKZ θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την διερεύνηση της διείσδυσης εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών και στην ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης. Επίσης, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση της AKZ στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιούνται και για την περιβαλλοντική αξιολόγηση του κύκλου ζωής των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται σε οχήματα χαρακτηριστικών τεχνολογιών.

Απαιτήσεις/πληρότητα/ακρίβεια δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη παρούσα εργασία για τη διεξαγωγή της AKZ, και τα αποτελέσματα που προκύπτουν, χρησιμοποιούνται για σκοπούς σύγκρισης των κύκλων ζωής διαφόρων ενεργειακών πόρων αναφορικά με τη παραγωγή και χρήση καυσίμων καθώς και για την διερεύνηση διείσδυσης σύγχρονων τεχνολογιών και διαθέσιμων εναλλακτικών καυσίμων με τη χρήση της ανάλυσης σεναρίων.

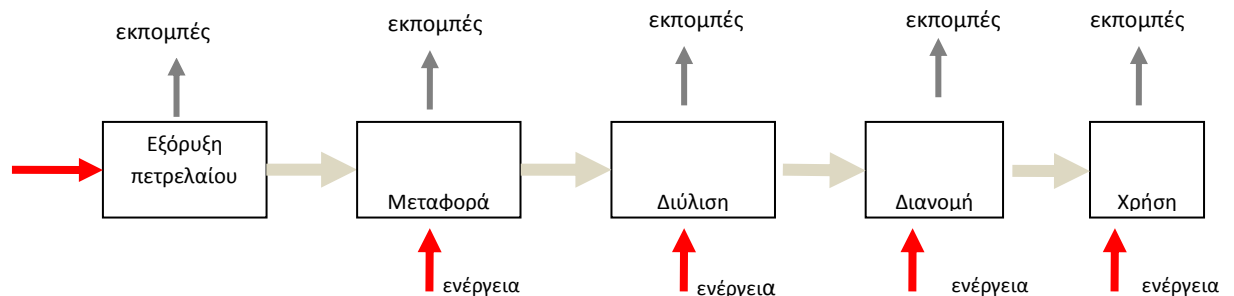
Το γεγονός ότι αρκετές διεργασίες παράγουν περισσότερα από ένα προϊόντα, που πιθανόν να μην βρίσκονται εντός των ορίων του συστήματος καθιστούν αναγκαίο τον καταμερισμό των περιβαλλοντικών εκπομπών στα διαφορετικά προϊόντα της διεργασίας. Τα συστήματα παραγωγής προϊόντων συνήθως περιλαμβάνουν ορισμένες διεργασίες οι οποίες είναι οι ίδιες σχεδόν για όλες τις μελέτες, όπως, η προμήθεια ενέργειας, οι μεταφορές, οι υπηρεσίες επεξεργασίας αποβλήτων και η παραγωγή χημικών ουσιών. Οι διεργασίες αυτές ονομάζονται διεργασίες παρασκηνίου. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμες βάσεις δεδομένων με στοιχεία για πολλές από αυτές. Η επαναχρησιμοποίηση στοιχείων από προηγούμενες μελέτες απλοποιεί την εργασία συλλογής δεδομένων, εντούτοις γίνεται με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι αντιπροσωπευτικά. Ωστόσο για αρκετές από τις διεργασίες του συστήματος είτε δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα είτε τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα δεν είναι αντιπροσωπευτικά της διεργασίας που περιλαμβάνεται στον κύκλο ζωής υπό εξέταση. Οι διεργασίες αυτές είναι γνωστές ως διεργασίες προσκηνίου και για αυτές απαιτείται η συλλογή πρωτογενών στοιχείων από το υπό μελέτη σύστημα. Η λεπτομερής ανάλυση του κύκλου ζωής είναι απαραίτητη, ωστόσο εξαρτάται από παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα, η σκοπιμότητα ορισμένων διαδικασιών, τα κόστη και η αποδοχή από το ευρύ κοινό. Όλα αυτά, μαζί με τις επιλογές και τις παραδοχές που χρειάζεται να γίνουν, παίζουν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση της ανάλυσης.

Τα δεδομένα (εισροές μάζας και ενέργειας, εκπομπή ρύπων και συντελεστές εκπομπής ρύπων) που χρησιμοποιούνται στην AKZ κρίνονται επαρκή, αντιπροσωπευτικά και ικανοποιητικά για το σκοπό της παρούσας μελέτης και βασίζονται σε βιβλιογραφικές

αναφορές [US EPA, 2002, Brinkman et al, 2005; NREL 1998, Winebrake 2000] και βάσεις δεδομένων [SimaPro 5.05] καθώς και σε υπολογιστικά μοντέλα. Οι συντελεστές χαρακτηρισμού και κανονικοποίησης για την ανάλυση των επιπτώσεων προέρχονται από το Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Leiden [<http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>].

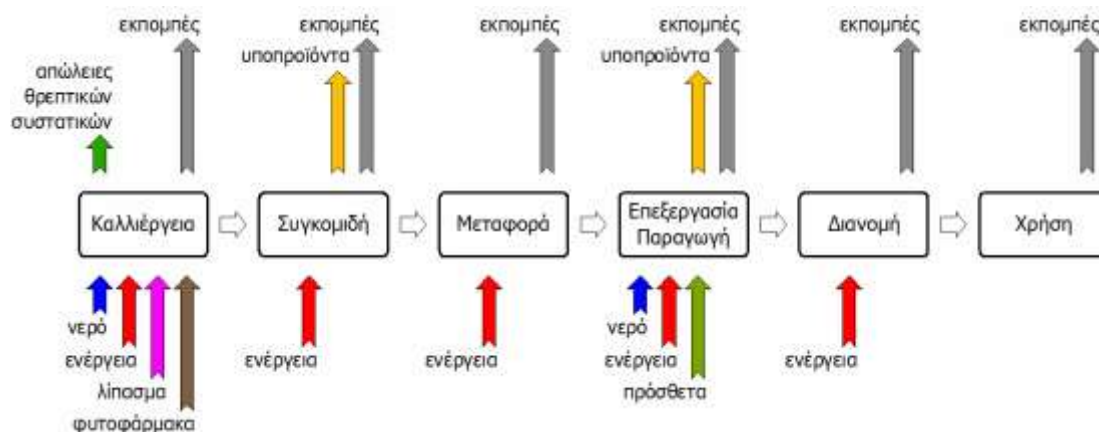
Καθορισμός ορίων συστήματος

Αρχικό σημείο για την ανάλυση κύκλου ζωής καυσίμου αποτελεί ο καθορισμός των χρονικών και των χωρικών ορίων του συστήματος που εξετάζεται καθώς και το εύρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα εξεταστούν. Τα συστήματα περιλαμβάνουν τα στάδια εξόρυξης και απόκτησης του ενεργειακού πόρου, μεταφορά και μετατροπή του ενεργειακού πόρου στο επιθυμητό προϊόν, και την τελική χρήση του προϊόντος από τον καταναλωτή (οχήματα). Τα όρια του συστήματος (Διάγραμμα 8.2.α) του κύκλου ζωής του πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βενζίνης και ντίζελ περιλαμβάνουν τα στάδια εξόρυξης του ακατέργαστου πετρελαίου από το έδαφος, τη μεταφορά του στην θέση επεξεργασίας, ώστε να είναι δυνατή η κατανάλωση του, στην διύλιση όπου γίνεται η επεξεργασία και στο στάδιο της διανομής στα πρατήρια καυσίμων από όπου μπορεί να ξεκινήσει η παροχή του στους καταναλωτές και την τελική χρήση αυτών.



Διάγραμμα 8.2.α. Όρια συστήματος συμβατικών καυσίμων

Σημειώνεται πως για το έτος 2010 και μετά, η βενζίνη και το ντίζελ υποτέθηκε ότι έχουν τις νομοθετημένες προδιαγραφές για εκείνη την περίοδο, και συγκεκριμένα μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 10 mg/kg. Σε ότι αφορά τα όρια του συστήματος των βιοκαυσίμων σημειώνεται πως το σύστημα περιλαμβάνει τις διεργασίες της καλλιέργειας, μεταφοράς, επεξεργασίας, παραγωγής και χρήσης καυσίμων (Διάγραμμα 8.2.β).



Διάγραμμα 8.2.β. Όρια συστήματος βιοκαυσίμων

Η τελική μεταφορά των καυσίμων στους σταθμούς ανεφοδιασμού στη πρώτη AKZ που αφορά βιοντίζελ από ηλίανθο λαμβάνεται υπόψη ενώ στη δεύτερη μελέτη περίπτωσης AKZ βιοντίζελ από ελαιοκράμβη δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς η μέση απόσταση και τα μέσα μεταφοράς υποτίθεται πως είναι τα ίδια για όλους τους τύπους των καυσίμων. Δεν συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές που προέρχονται από την κατασκευή των υλικών του οχήματος. Η Ελλάδα θεωρείται η γεωγραφική μονάδα αναφοράς, ενώ η λειτουργική μονάδα στην οποία έχουν αναχθεί όλες οι εκπομπές που προκύπτουν αναφορικά με το στάδιο της παραγωγής είναι η παραγωγή ενός MJ καυσίμου.

Η λειτουργική μονάδα η οποία χρησιμοποιείται και πάνω στην οποία βασίζονται όλοι οι υπολογισμοί είναι το ένα χιλιόμετρο διανυθείσας απόστασης, δηλαδή οι εκπομπές υπολογίζονται σε γραμμάρια ανά χιλιόμετρο διανυθείσας απόστασης από ένα τυπικό ευρωπαϊκό 5-θέσιο sedan, όπως για παράδειγμα το VW Golf ή κάποιο άλλο της ίδιας κατηγορίας. Το εικονικό αυτό όχημα χρησιμοποιείται ως εργαλείο για να συγκριθούν τα διάφορα καύσιμα και οι σχετικές τεχνολογίες. Σημειώνεται ότι το όχημα του μοντέλου αποτελεί, ένα εργαλείο σύγκρισης και δεν αντιπροσωπεύει τον ευρωπαϊκό στόλο, σε ότι αφορά την κατανάλωση. Επίσης τα αποτελέσματα έχουν ισχύ για τα I.X. μέσου κυβισμού, με τεχνολογία που περιγράφηκε παραπάνω, και δεν γενικεύονται για άλλου είδους οχήματα, όπως SUV, φορτηγά κτλ. Η προσομοίωση προσαρμόζεται στις συγκεκριμένες τεχνολογίες, χρησιμοποιώντας λεπτομερείς χάρτες απόδοσης καυσίμου. Η καύση γίνεται με ψεκασμό θύρας και έναυση με σπινθήρα (PISI – Port Injected Spark Ignition) για τα οχήματα βενζίνης και αιθανόλης. Για τα οχήματα ντίζελ και βιοντίζελ γίνεται με άμεσο ψεκασμό και έναυση συμπίεσης (DICI – Direct Injection Compression Ignition). Προφανώς, το όχημα τροποποιείται (αν χρειάζεται) κατάλληλα ανάλογα με το είδος του καυσίμου με το οποίο πρόκειται να λειτουργήσει.

Η ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση των συμβατικών καυσίμων υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική πρωτογενή ενέργεια που δαπανήθηκε, ανεξάρτητα από την προέλευσή της, προκειμένου το όχημα να διανύσει απόσταση 100 km, για Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (NEDC). Τα βασικά χαρακτηριστικά του οχήματος συνοψίζονται στον Πίνακα 8.2.

ΤΥΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ PISI ΟΧΗΜΑΤΟΣ		
Απόβαρο	kg	1181
Αεροδυναμικός συντελεστής		0.321
Μετωπική επιφάνεια	m ²	2.1
Ακτίνα ελαστικού	m	0.309
Κυβισμός	l	1.6
Απόδοση διαφορικού και κιβωτίου		0.9
Σχέση μετάδοσης διαφορικού		4.25
Σχέσεις μετάδοσης κιβωτίου 1η έως 5η		3,455/1,944/0,1370/1,032/0,850

Πίνακας 8.2. Τυπικά χαρακτηριστικά βενζινοκίνητου PISI οχήματος

Τα ντιζελοκίνητα οχήματα τεχνολογίας EURO 3 υποτέθηκε ότι είναι εφοδιασμένα με ένα οξειδωτικό καταλύτη. Τα ντιζελοκίνητα οχήματα τεχνολογίας EURO 4 θεωρείται ότι διαθέτουν ένα φίλτρο συγκράτησης σωματιδίων (DPF – Diesel Particle Filter), με μια «ποινή» στην απόδοσή τους που οφείλεται στην περιοδική αναγέννηση του φίλτρου. Ένα σύστημα DPF μπορεί να είναι καταλυτικό (Catalytic DPF) ή να λειτουργεί με πρόσθετα (Additive DPF). Δεν γίνεται κάποια διάκριση ανάμεσα στα δύο συστήματα, αν και το σύστημα A-DPF απαιτεί ελάχιστα λιγότερη ενέργεια για την αναγέννησή του. Έτσι, δίνεται μια «ποινή» απόδοσης για τα ντιζελοκίνητα με σύστημα DPF ίση με 2,5%. Σημειώνεται πως για το έτος 2010 και μετά, η βενζίνη και το ντίζελ υποτέθηκε ότι έχουν τις νομοθετημένες προδιαγραφές για εκείνη την περίοδο, και συγκεκριμένα μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 10 mg/kg.

Φάση αποτίμησης των επιπτώσεων

Στην παρούσα μελέτη η μεθοδολογία AKZ που ακολουθείται βασίζεται στη μέθοδο Eco-Indicator 95 και Eco-Indicator 99 και οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση, το χαρακτηρισμό, την κανονικοποίηση και την αξιολόγηση αντιστοιχούν στην Ολλανδική και Ευρωπαϊκή ζώνη καθώς είναι τα μόνα διαθέσιμα και αξιόπιστα στοιχεία που υπάρχουν που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μελέτες AKZ στην Ελλάδα. [ISO 14040; ISO 14041; ISO 14042; ISO 14043].

Κατηγορίες επιπτώσεων και ζημιών

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε κάθε μελέτη AKZ χρειάζεται πρώτα να αναγνωριστούν. Το σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (κατηγορίες επιπτώσεων και κατηγορίες ζημιών) που εξετάζονται στη παρούσα μελέτη αναφέρονται σε ρύπους οι οποίοι είναι γνωστοί και μπορούν να ποσοτικοποιηθούν εύκολα. Οι κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίες λήφθηκαν υπόψη κατά τη διεξαγωγή των δύο AKZ είναι οι ακόλουθες [PRé, 2000; PRé, 2001a; PRé, 2001b]:

- Αναπνεύσιμες οργανικές ουσίες (Respiratory Organics)
- Αναπνεύσιμες ανόργανες ουσίες (Respiratory Inorganics)
- Ορυκτά καύσιμα (Fossil fuels)
- Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Greenhouse Effect)
- Οξίνιση / Ευτροφισμός (Acidification / Eutrophication)
- Καρκινογόνα (Carcinogens)
- Οικοτοξικότητα (Ecotoxicity)
- Καπνομίχλη (Smog)

Στη περίπτωση διεξαγωγής AKZ με χρήση της μεθόδου Eco-Indicator 99 λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω κατηγορίες ζημιών:

- Ανθρώπινη υγεία (Human Health)
- Ποιότητα οικοσυστημάτων (Ecosystem Quality)
- Πόροι (Resources)

Η επιλογή των μεθόδων Eco-indicator 95 και Eco-indicator 99 έγινε καθώς οι βάσεις δεδομένων AKZ του λογισμικού αποτελούν ένα πλήρες και ολοκληρωμένο σύνολο (Ecoinvent v1 and Ecoinvent v2, US Input Output database, Danish Input Output database, Dutch Input Output database, Industry data, LCA food database, ETH-ESU 96, BUWAL 250, IDEMAT 2001, Franklin US LCI database, Data archive, IVAM database), το οποίο περιλαμβάνει στοιχεία για τον κύκλο ζωής χιλιάδων προϊόντων, διεργασιών και ολοκληρωμένων συστημάτων [PRé, 2000; PRé, 2001a; PRé, 2001b; Theodosiou, Koroneos and Moussiopoulos, 2003; Goedkoop, Hofstetter, Müller-Wenk and Spriensma, 1998; Jungbluth and Frischknecht, 2000]. Επιπρόσθετα οι βάσεις δεδομένων AKZ του λογισμικού SimaPro 5.0 είναι τροποποιήσιμες και συμβατές με άλλα λογισμικά εργαλεία ενώ υπάρχει πλήρης συμβατότητα με τα πρότυπα ISO και τη μεθοδολογία του SETAC [SETAC, 1991; SETAC, 1993; SETAC, 1994].

Οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο Eco-indicator 95 για την ταξινόμηση, το χαρακτηρισμό, την κανονικοποίηση και την αξιολόγηση αντιστοιχούν στην Ολλανδική και

Ευρωπαϊκή ζώνη καθώς είναι τα μόνα διαθέσιμα και αξιόπιστα στοιχεία που υπάρχουν που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μελέτες AKZ στην Ελλάδα.

Τέλος η μέθοδος Eco-indicator 99 και το λογισμικό SimaPro 5.0 χρησιμοποιούνται με επιτυχία για τη διεξαγωγή πολλών μελετών AKZ που αφορούν διάφορα θέματα όπως για παράδειγμα: η παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας [Theodosiou, Koroneos and Moussiopoulos, 2005a; Theodosiou, Koroneos and Moussiopoulos, 2005b; Carpentieri, Corti and Lombardi, 2005], οι ηλιακοί θερμοσίφωνες [Kyriakis, Tsilingiridis and Martinopoulos, 2004], τα συστήματα αφαλάτωσης [Barrios, Siebel, van der Helm, Bosklopper and Gijzen H., 2006; Raluy, Serra and Uche, 2006], τα συστήματα επεξεργασίας νερού και λυμάτων [Ortiz, Raluy and Serra, 2007; Renou, Thomas, Aoustin and Pons, 2007], ανακύκλωση υλικών και εξαρτημάτων [Chiu, Hsua and Yanga, 2007; Lee and Park, 2005], η αυτοκινητοβιομηχανία [Lee, Cho., Choi, Sung, Lee and Shin, 2000; Ribeiro, Ferreira and Partidário, 2007; Spielmann and Althaus, 2007].

8.3. Κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής – Καταγραφή εκπομπής ρύπων του κύκλου ζωής καυσίμων

Με βάση τη μεθοδολογία AKZ που παρουσιάστηκε στο **κεφάλαιο 7**, τις παραδοχές που γίνονται και που παρατίθενται στη **παράγραφο 8.2** στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται συγκριτική ανάλυση καυσίμων με εφαρμογή της AKZ στην Ελλάδα. Καταγράφεται η εκπομπή ρύπων ολόκληρου του κύκλου ζωής για κάθε ενεργειακό πόρο που χρησιμοποιείται σε οχήματα, γίνεται υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου και στη συνέχεια ακολουθεί η αποτίμηση/αξιολόγηση των επιπτώσεων με την εφαρμογή της μεθόδου Eco-indicator 95 μέσω του λογισμικού SimaPro 5.0 [PRé, 2000; PRé, 2001a; PRé, 2001b].

Τα καύσιμα που αναλύονται είναι η βενζίνη και το ντίζελ (συμβατικά) και βιοκαύσιμα, τα οποία μπορούν να παρασκευαστούν εξολοκλήρου στον ευρωπαϊκό χώρο. Τα βιοκαύσιμα υπό εξέταση στις αναλύσεις που θα ακολουθήσουν είναι το βιοντίζελ παραγόμενο από ηλίόσπορο και ελαιοκράμβη.

Ο κύκλος ζωής των καυσίμων περιγράφεται με βάση τις διαδοχικές διαδικασίες-διεργασίες που απαιτούνται μέχρι την τελική χρήση του καυσίμου από τα οχήματα. Ορισμένες διεργασίες είναι κοινές για κάποια καύσιμα. Ο κύκλος ζωής των καυσίμων περιλαμβάνει μια κύρια είσοδο, μια κύρια έξοδο, δευτερεύουσες εισόδους και εξόδους, παραπροϊόντα, συντελεστές κατανάλωσης και εκπομπών ρύπων. Η παραγωγή του καυσίμου, η οποία περιλαμβάνει όλα τα στάδια μέχρι και την τελική διανομή του καυσίμου στους σταθμούς ανεφοδιασμού ή Well-To-Tank (WTT). Όλα τα

αριθμητικά δεδομένα εκφράζονται σε σχέση με το 1 MJ τελικού καυσίμου που είναι διαθέσιμο στην δεξαμενή του οχήματος. Η ενέργεια για την παραγωγή μπορεί να προέρχεται από συμβατικές ή ανανεώσιμες πηγές. Με αυτόν τον τρόπο περιγράφεται η απόδοση της διαδικασίας παραγωγής. Η γενική παρουσίαση επικεντρώνεται στη συνολική ενέργεια που δαπανήθηκε, ανεξαρτήτως προέλευσής της, για να παραχθεί το επιθυμητό καύσιμο και συγκρίνεται με το ενεργειακό περιεχόμενο του ίδιου του καυσίμου.

Η μονάδα που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι τα συνολικά γραμμάρια ισοδύναμου CO₂ που εκπέμπονται για την παραγωγή ενός MJ τελικού καυσίμου.

8.3.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Πετρελαίου Ντίζελ

Τα όρια του συστήματος του κύκλου ζωής του πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των υπό εξέταση συμβατικών καυσίμων περιλαμβάνουν την εξόρυξη και τη μεταφορά του αργού πετρελαίου, τη διύλιση του, την παραγωγή και μεταφορά του καυσίμου καθώς και την τελική χρήση του καυσίμου.

Το αργό πετρέλαιο εισάγεται κυρίως από Αραβικές χώρες και από τη Ρωσία. Στη παρούσα μελέτη το αργό πετρέλαιο θεωρείται ότι προέρχεται από τη Ρωσία και μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια (με χωρητικότητα από 80 μέχρι 150 χιλ. τόνους σε μια απόσταση περίπου 6800 km) σε διυλιστήρια στην κεντρική Ελλάδα. Κατά τη μεταφορά του υπάρχουν αρκετές πιθανότητες να συμβούν ατυχήματα (π.χ. διαρροές στη θάλασσα) όπως επίσης προκύπτει και εκπομπή ρύπων από τη χρήση των καυσίμων των δεξαμενόπλοιων [Stamatis, 1995; Vossiniotis, Assimacopoulos and Diakoulaki D., 1996; ΕΛΠΕ]. Οι πρώτες ύλες που απαιτούνται στην φάση της εξόρυξης περιορίζονται στο ίδιο το πετρέλαιο, το παραγόμενο φυσικό αέριο, το κάρβουνο και το νερό για την παροχή ατμού. Οι απαιτούμενες ποσότητες για την εξόρυξη 1 kg αργού πετρελαίου συνοψίζονται στον Πίνακα 8.3.1.α.

ΕΞΟΡΥΞΗ				
Πρώτες ύλες	Πετρέλαιο	Κάρβουνο	Φυσικό αέριο	Νερό
Απαιτούμενη ποσότητα	0.01306 kg	1.02145 kg	0.06525 kg	0.22170 l

Πίνακας 8.3.1.α. Κατανάλωση πρώτων υλών κατά την εξόρυξη πετρελαίου [Sheenan et al, 1998]

Οι ενεργειακές απαιτήσεις για την εξαγωγή του πετρελαίου βασίζονται στις ανάγκες της πλατφόρμας, οι οποίες υπολογίζονται σε 135.4 MJ/bbl για 1.97x10⁸ Kg αργού πετρελαίου. Οι εκπομπές που παράγονται κατά την διάρκεια της εξόρυξης περιλαμβάνουν αέριους ρύπους,

στερεά απόβλητα και υδάτινα λύματα. Τα υδάτινα λύματα βασίζονται στην ποσότητα των παραγόμενων υγρών αποβλήτων και της εκτιμώμενης σύνθεσης τους. 10.14 l λυμάτων διατίθενται για κάθε Kg παραγόμενου αργού πετρελαίου, τα οποία περιέχουν 2.8×10^{-4} Kg ελαίων και λιπών (Πίνακας 8.3.1.β). Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση των στερεών αποβλήτων η παραγόμενη ποσότητα υπολογίζεται σε 0.0098 g για κάθε Kg αργού πετρελαίου.

Συστατικά	Αρσενικό	Βενζόλιο	Βόριο	Νάτριο	Χλώριο	Κινητά ιόντα
Συγκέντρωση (mg/l)	0.02	0.47	9.90	9.40	7.30	23.00

Πίνακας 8.3.1.β. Σύσταση λυμάτων κατά την εξόρυξη πετρελαίου [Sheenan et al, 1998].

Οι εκπομπές οργανικών ενώσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3.1.γ.

Ρύποι	Ρυθμός εκπομπών (kg/kg αργού πετρελαίου)
Μεθάνιο	5.6×10^{-5}
Φορμαλδεΐδες	1.9×10^{-5}
Ισομερή εξανίου	3.0×10^{-6}
Ισομερή επτανίου	2.3×10^{-5}
Ισομερή οκτανίου	2.6×10^{-6}
C-7 Κυκλοπαραφίνες	3.2×10^{-6}
C-8 Κυκλοπαραφίνες	1.2×10^{-6}
Ισομερή πεντανίου	1.1×10^{-5}
Αιθάνιο	1.3×10^{-5}
Προπάνιο	2.0×10^{-5}
n-Βουτάνιο	1.5×10^{-5}
Ισο-βουτάνιο	8.0×10^{-7}
Βενζόλιο	2.0×10^{-7}

Πίνακας 8.3.1.γ. Σύσταση λυμάτων κατά την εξόρυξη πετρελαίου [Sheenan et al, 1998].

Το εξαγόμενο αργό πετρέλαιο επεξεργάζεται περαιτέρω προτού οδηγηθεί στο διυλιστήριο, προκειμένου να διαχωριστεί το περιεχόμενο αέριο και νερό. Οι εκπομπές στην φάση αυτή ισοδυναμούν με αυτές βιομηχανικού λέβητα, για καύση κάρβουνου και πετρελαίου ντίζελ (Πίνακας 8.3.1.ε).

g/MJ καυσίμου	HC	CO	NOx	PM ₁₀	SO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
ΚΑΡΒΟΥΝΟ	0.027	0.23	0.26	0.043	0.52	0.017	0.0019	90
DIESEL	6.7x10 ⁻⁴	0.017	0.020	0.0033	0.0065	8.3 x10 ⁻⁵	3.7 x10 ⁻⁴	76.2

Πίνακας 8.3.1.ε. Εκπομπές κατά την καύση πετρελαίου ντίζελ σε βιομηχανικό λέβητα [Sheenan et al, 1998]

Στο στάδιο της εξαγωγής οι αέριες εκπομπές προέρχονται από τις διαδικασίες καύσης για την λειτουργία των διαχωριστών, των στροβίλων και των συστημάτων εξαερισμού (Πίνακας 8.3.1.στ). Η μεταφορά του αργού πετρελαίου στα διυλιστήρια πραγματοποιείται μέσω βυτιοφόρων, πετρελαιαγωγών ή δεξαμενόπλοιων, αναλόγως της απόστασης που πρέπει να καλυφθεί. Κατά την μεταφορά μέσω αγωγών καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια, ενώ τα βυτιοφόρα και τα δεξαμενόπλοια χρησιμοποιούν πετρέλαιο ντίζελ. Εκτός από τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις επακόλουθες εκπομπές των μέσων μεταφοράς, απαιτήσεις ενέργειας και εκπομπές δημιουργούνται και κατά την φόρτωση και εκφόρτωση του αργού πετρελαίου. Η ενέργεια που καταναλώνεται εξαρτάται από την απαιτούμενη ενέργεια για την μεταφορά μέσω των πετρελαιαγωγών και υπολογίζεται σε 5.8x10⁻⁵ MJ ηλεκτρικής ενέργειας για την μεταφορά 1 kg σε απόσταση 1 km. Για τις διεργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης θεωρείται απόσταση 50 m και αναλογικά με την απαιτούμενη ενέργεια των πετρελαιαγωγών υπολογίζεται σε 2.9 x10⁻⁶ MJ. Οι εκπομπές που δημιουργούνται εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες του αργού πετρελαίου και τις επικρατούσες συνθήκες (Πίνακας 8.3.1.στ). Ο Πίνακας 8.3.1.στ συνοψίζει τις αέριες εκπομπές για όλα τα στάδια διεργασιών που λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα AKZ.

Διεργασία	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFCs & HFCs	CO	NOx	VOC	SOx	PM
Παραγωγή	208.57	1,6306	0.0083	9x10 ⁻⁷	24.973	28.577	0.1496	0.2282	0.0779
Διύλιση	363.44	0.8435	0.0297	6 x10 ⁻⁷	0.5975	0.8083	0.3483	0.8657	0.1043
Μεταφορά	78.214	0.0493	0.0004	1x10 ⁻⁶	0.0127	0.0249	0.1014	0.0237	0.0055
Αποθήκευση & Διανομή	54.773	0.1137	0.0023	4x10 ⁻⁵	0.3935	0.5346	0.0498	0.0598	0.0728
Χρήση	3757.7	0.2451	0.1655	0.0041	41.908	51.905	39.476		

Πίνακας 8.3.1.στ. [Παπαστάθη 2009, Rollefson et al 2004]

Διύλιση αργού πετρελαίου

Το αργό πετρέλαιο σε ακατέργαστη μορφή περιέχει εκτός από τους υδρογονάνθρακες και διάφορες άλλες ουσίες (θείο, νερό, οξυγόνο, άζωτο, κ.α.), τα οποία δεν επιτρέπουν τη χρήση αυτού. Το αργό πετρέλαιο υφίσταται αποθείωση για την απομάκρυνση των προσμείξεων του θείου. Τα τελικά προϊόντα της διύλισης διακρίνονται σε ενεργειακά (βενζίνες, καύσιμα στροβιλοαντιδραστήρων, ντίζελ και μαζούτ οικιακής χρήσης, βαρέα μαζούτ) και σε μη ενεργειακά (άσφαλτοι, λιπαντικά). Βασική διεργασία της διύλισης αποτελεί η συνεχής κλασματική απόσταξη, από την οποία προκύπτει μια δεκάδα βασικών πετρελαϊκών κλασμάτων με χαρακτηριστικά που βελτιώνονται κατόπιν σε άλλες εγκαταστάσεις για τον μετασχηματισμό ή τον εξευγενισμό. Το παραπάνω επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των παρακάτω διεργασιών: ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου, διαχωρισμού των αερίων και των βενζινών και της εν κενώ απόσταξης του ατμοσφαιρικού υπολείμματος. Οι τρεις αυτές διεργασίες αποτελούν συνήθως μία παραγωγική μονάδα (μονάδα διύλισης αργού πετρελαίου).

Η μονάδα απόσταξης κενού επιτρέπει την ανάκτηση του πετρελαίου εσωτερικής καύσης, το επεξεργάζεται στην συνέχεια σε μονάδες μετατροπής, δίνοντας τελικά προϊόντα υψηλότερης αξίας, βενζίνη, ντίζελ και πετρέλαιο θέρμανσης. Σε πολλά διυλιστήρια η εν κενώ απόσταξη πραγματοποιείται σε μονάδες καταλυτικής πυρόλυσης. Στην επεξεργασία ορισμένων ελαίων, η μείωση της αναλογίας άνθρακα/υδρογόνου είναι αναγκαία. Υπάρχουν δύο τρόποι μείωσης του μέσου μοριακού βάρους του πετρελαίου και της αναλογίας άνθρακα/υδρογόνου αντίστοιχα. Αυτοί είναι:

- Απομάκρυνση του άνθρακα μέσω σχηματισμού κωκ, όπως συμβαίνει στην υγρή καταλυτική πυρόλυση. Στην μέθοδο αυτή μετατρέπεται το πετρέλαιο σε μίγμα βενζίνης και ντίζελ με χαμηλό αριθμό κετανίου.
- Άμεση προσθήκη υδρογόνου, μέσω υδρογονοπυρόλυσης. Απαιτείται καταλύτης με διπλή δράση, ώστε να επιτελείται τόσο η πυρόλυση, όσο και οι αντιδράσεις του υδρογόνου. Ο βαθμός της πυρόλυσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πρώτη ύλη, όσο βαρύτερη είναι, τόσο περισσότερα μεσαία κλάσματα απόσταξης παράγονται. Οι απαιτήσεις των μονάδων αυτών σε υδρογόνο είναι εξαιρετικά υψηλές, έτσι ώστε είναι απαραίτητο να υπάρχει εγκατάσταση παραγωγής υδρογόνου ως μέρος του συγκροτήματος πυρόλυσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μονάδες προσανατολίζονται προς την μεγιστοποίηση της παραγωγής μεσαίου αποστάγματος, με βαθμό απόδοσης 60% έως 70%. Τα προϊόντα των μονάδων αυτών χαρακτηρίζονται από χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και συνολική υψηλή ποιότητα.

Η πρώτη από τις παραπάνω διαδικασίες είναι εύκολη και σχετικά ανέξοδη. Η δεύτερη διαδικασία είναι πιο δύσκολη και περισσότερο δαπανηρή. Η αύξηση της παραγωγικής ικανότητας των διαφόρων διαδικασιών ορίζεται από τις απαιτήσεις της αγοράς. Η κατεργασία με υδρογόνο εφαρμόζεται σε διαδικασίες κατά τις οποίες η πρώτη ύλη ενισχύεται με την δράση καταλύτη και παρουσία υδρογόνου.

Οι **απαιτήσεις σε υλικά** στην φάση της διύλισης περιλαμβάνουν το αργό πετρέλαιο, παράγωγα του πετρελαίου, καταλύτες και εισροή ενέργειας από εξωτερικούς προμηθευτές. Η ποσότητα των απαιτούμενων καταλυτών πυρόλυσης εξαρτάται από τις ανεξέλεγκτες εκπομπές στην φάση αυτή. Το σύνολο των σωματιδίων που παράγονται κατά την καταλυτική πυρόλυση είναι αποτέλεσμα των απωλειών του καταλύτη. Για τον λόγο αυτό είναι ανάγκη να αντικατασταθεί ο χαμένος καταλύτης με είσοδο νέου, ο οποίος υπολογίζεται σε 0.566 gr/l αργού πετρελαίου.

Για τη **λειτουργία του διυλιστηρίου** απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια και ατμός. Τα καύσιμα που απαιτούνται για την παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας, ή για την λειτουργία των κλιβάνων, προέρχονται είτε από τα προϊόντα του ίδιου του διυλιστηρίου, είτε από προμήθεια φυσικού αερίου. Γενικά, πάνω από το 80% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ένα διυλιστήριο παρέχεται από το αέριο της διύλισης ή το κωκ (αν το διυλιστήριο περιλαμβάνει μονάδα καταλυτικής πυρόλυσης). Θεωρούμε ότι καταναλώνονται με σειρά προτεραιότητας το παραγόμενο αέριο, τα υγρά καύσιμα και τα στερεά καύσιμα. Το καύσιμο αέριο καταναλώνεται πρώτα, δεδομένου ότι δεν μπορεί να αποθηκευτεί.

Κατά την διύλιση του αργού πετρελαίου παράγονται **αέριοι ρύποι, υδάτινα λύματα και στερεά απόβλητα**. Οι αέριες εκπομπές κατά την διύλιση προέρχονται από διεργασίες καύσης, διύλισης καθώς και ανεξέλεγκτες εκπομπές. Οι εκπομπές από τις διεργασίες καύσης εξαρτώνται από τις ποσότητες και το είδος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται, καθώς και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών όπου συντελούνται, τα οποία θεωρούμε ότι ταυτίζονται με αυτά των βιομηχανικών λεβήτων. Οι εκπομπές κατά τις διεργασίες διύλισης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.3.1.ζ**

Διεργασία	Σωματίδια	SO ₂	CO	HC	NO ₂	CO ₂
Καταλυτική Πυρόλυση						
(g/l αργού πετρελαίου)	0.052	0.79	-	-	0.11	40.7
Υγρή ανθρακοποίηση						
(g/l αργού πετρελαίου)	1.5	-	-	-	-	-
Ανάκτηση ατμών						
(g/l αργού πετρελαίου)	-	0.077	0.012	0.002	0.054	-
Ανάκτηση θείου						
(g/kg παραγόμενου θείου)	-	29	-	-	-	-

Πίνακας 8.3.1.ζ Εκπομπές κατά τις διεργασίες διύλισης [Παπαστάθη, 2009].

Σε διυλιστήρια απλής διαμόρφωσης, η διεργασία με τις περισσότερες εκπομπές λαμβάνει χώρα στη μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης, η οποία διαχειρίζεται το σύνολο των εισροών αργού πετρελαίου. Σε πιο πολύπλοκα διυλιστήρια το μερίδιο των εκπομπών της είναι μικρότερο, ενώ σε ημισύνθετες διαμορφώσεις, η καταλυτική πυρόλυση είναι η δεύτερη διεργασία σε εκπομπές, με ποσοστό περίπου 20% του συνόλου. Η υδροπυρόλυση έχει σχετικά λιγότερες εκπομπές από αυτή την διεργασία. Ωστόσο, η πρόσθετη λειτουργία παραγωγής υδρογόνου αυξάνει το σύνολο των εκπομπών τόσο ώστε σε μερικές περιπτώσεις να ξεπερνούν αυτές της καταλυτικής πυρόλυσης.

Τα διυλιστήρια επιτυγχάνουν τον έλεγχο του θείου χρησιμοποιώντας διαδικασίες υδροαποθείωσης, οι οποίες καταναλώνουν υδρογόνο, και μάλιστα όσο πιο αυστηρά τα όρια, τόσο μεγαλύτερη η κατανάλωση. Για την ανάκτηση του αναγκαίου υδρογόνου, τα διυλιστήρια είτε προμηθεύονται από εξωτερικές πηγές, είτε επενδύουν σε εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου. Οι εγκαταστάσεις αυτές επεξεργάζονται φυσικό αέριο ή ελαφρά παράγωγα του διυλιστηρίου καταναλώνοντας ενέργεια. Οι διεργασίες αποθείωσης, επίσης, απαιτούν ενεργειακές πηγές και περιλαμβάνουν απώλειες απόδοσης, στην περίπτωση της βενζίνης, μάλιστα, και μικρή, αλλά σημαντική, απώλεια οκτανίων. Οι διαδικασίες ανάκτησης αυτών των απωλειών οδηγούν με την σειρά τους σε μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις, οι οποίες καλύπτονται από την χρήση ορυκτών καυσίμων. Τα παραγόμενα λύματα του διυλιστηρίου εξαρτώνται από την συνολική εισροή υδάτων κατά τις διεργασίες (Πίνακας 8.3.1.η).

Συστατικά	BOD	COD	TOC	TSS	Νιτρική αμμωνία	Φαινόλες	Σουλφίδια	Έλαια και λίπη	Συνολικό χρώμιο
Συγκέντρωση (mg/l)	1.300	11.000	9.200	5.900	190	25	-	500	16

Πίνακας 8.3.1.η. Σύνθεση υδάτινων λυμάτων κατά την διύλιση αργού πετρελαίου [Sheenan et al, 1998].

Τα στερεά απόβλητα διαχωρίζονται σε επικίνδυνα και μη επικίνδυνα. Οι παραγόμενες ποσότητες για κάθε kg παραγόμενου ντίζελ είναι αντίστοιχα 0.00236 kg και 0.009212 kg. Το 13.4% των συνολικών εκπομπών, πρώτων υλών και καταναλισκόμενης ενέργειας στα διυλιστήρια διατίθεται για την παραγωγή ντίζελ με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο [Παπαστάθη, 2009]. Οι συνολικές άεριες εκπομπές που προκύπτουν από την επεξεργασία του πετρελαίου για την παραγωγή καυσίμου ντίζελ παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.3.1.στ** [Rollefson et al, 2004].

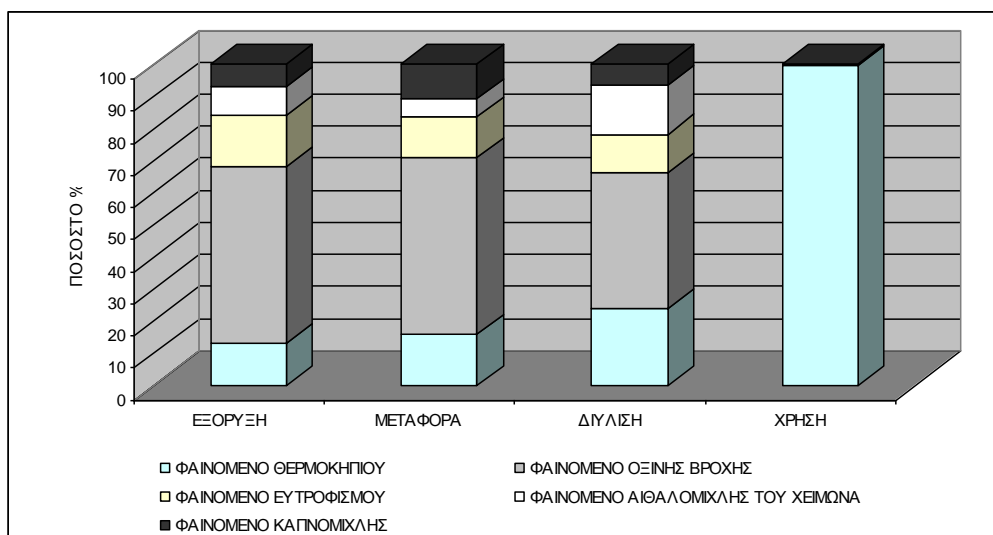
Το πετρέλαιο ντίζελ μεταφέρεται μέσω βυτιοφόρων στην λιανική αγορά και τα σημεία διάθεσης. Εκτός από τις δημιουργούμενες κατά την **μεταφορά** εκπομπές λαμβάνονται υπόψη και οι εκπομπές που προκύπτουν κατά την αποθήκευση του ντίζελ (**Πίνακας 8.3.1.στ**). Οι εκπομπές κατά την **καύση** του πετρελαίου ντίζελ εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων και ο τύπος του κινητήρα. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα του **Πίνακα 8.3.1.στ** βασίζονται στην λειτουργία βαρέων οχημάτων.

8.3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή και χρήση του πετρελαίου ντίζελ

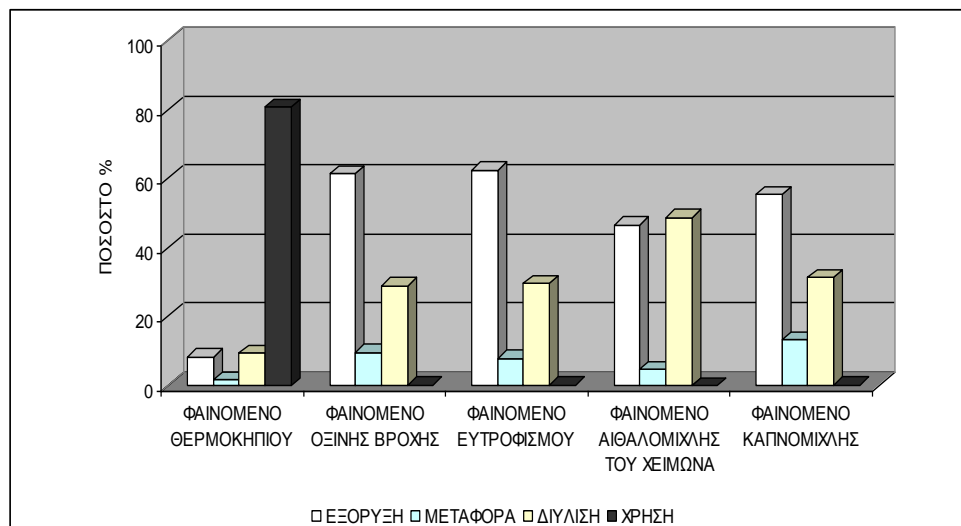
Στους **Πίνακες 8.3.1.α – 8.3.1.η** δίνεται ο κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής όπου καταγράφονται οι εκπομπές ρύπων από την εξόρυξη του αργού πετρελαίου, μέχρι και την τελική χρήση αυτού ως ντίζελ κίνησης. Στον **Πίνακα 8.3.2** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του χαρακτηρισμού των εκπομπών και οι τιμές αξιολόγησης μέσω του λογισμικού SimaPro 5.0 ανά κατηγορία επιπτώσεων. Η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προκύπτει από το εύρος τιμών των ισοδύναμων εκπομπών του χαρακτηριστικού ρύπου για κάθε περιβαλλοντική επίπτωση. Τέλος, η συνολική περιβαλλοντική αξιολόγηση προκύπτει με την εφαρμογή δεικτών κανονικοποίησης και συντελεστών βαρύτητας των μεθόδων Eco Indicator '95 και CML 2 στις ισοδύναμες εκπομπές ρύπων. Στα **Διαγράμματα 8.3.2.α – 8.3.2.β** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φάσης της αξιολόγησης της αποτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά κατηγορία επιπτώσεων.

	ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ				
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (g CO ₂ eq)	ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ (g SO ₄ eq)	ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ (g PO ₄ eq)	ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΛΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ (g SPMeq)	ΚΑΠΝΟΜΙΧΛΗ (g C ₂ H ₄ eq)
Εξόρυξη	7,6144488	0,068813	0,013170475	0,0187	0,006063393
Μεταφορά	1,4833411	0,01077645	0,001649635	0,0018938	0,001452419
Δύλιση	8,6350352	0,03243254	0,006239616	0,0196	0,003419894
Χρήση	73,835467	0,00009786	0,000018174	0	2,20889E-05
	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΞΙΝΗΣ ΒΡΟΧΗΣ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΛΗΣ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΠΝΟΜΙΧΛΗΣ
Εξόρυξη	0,00141248	0,006110594	0,001725332	0,0009911	0,000768535
Μεταφορά	0,00027516	0,000956949	0,000216102	0,000100371	0,000184094
Δύλιση	0,001601799	0,00288001	0,00081739	0,0010388	0,000433472
Χρήση	0,013696479	8,68997E-06	2,38079E-06	0	2,79977E-06

Πίνακας 8.3.2. Ισοδύναμες ποσότητες εκπομπών και αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων



Διάγραμμα 8.3.2.α. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε διεργασίας ανά κατηγορία επιπτώσεων



Διάγραμμα 8.3.2.β. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις μετά την αξιολόγηση

Αναλυτικότερα, στο **Διάγραμμα 8.3.2.α** παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε σταδίου διεργασίας από την εξόρυξη μέχρι και την τελική χρήση του diesel ενώ στο **Διάγραμμα 8.3.2.β.** παρουσιάζονται οι επιπτώσεις του συνόλου των διεργασιών στην κάθε κατηγορία επίπτωσης. Γίνεται αντιληπτό ότι:

- Οι ρύποι που εκπέμπονται κατά τον κύκλο ζωής του πετρελαίου στα στάδια της εξόρυξης και διύλισης του πετρελαίου χρήσης συνεισφέρουν κατά κύριο λόγο στις κατηγορίες επιπτώσεων των φαινομένων όξινης βροχής και του ευτροφισμού. Η διεργασία της εξόρυξης παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό επιβάρυνσης στο φαινόμενο της οξίνισης, με ποσοστό περίπου 61% , το οποίο αποδίδεται κυρίως στα εκπεμπόμενα οξειδία του αζώτου NOx από την παραγωγή της απαιτούμενης θερμότητας.
- Οι ρύποι που εκπέμπονται κατά το στάδιο της μεταφοράς συνεισφέρουν κατά κύριο λόγο στην κατηγορία επίπτωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Κατά την διαδικασία της μεταφοράς οι εκπομπές που προκύπτουν επιδρούν, επίσης, στο φαινόμενο της όξινης βροχής.
- Κατά την διύλιση οι εκπομπές οξειδίων του θείου SOx συμβάλλουν στην εμφάνιση της αιθαλομίχλης
- Οι ρύποι που εκπέμπονται κατά τον κύκλο ζωής του πετρελαίου στο στάδιο της τελικής χρήσης συνεισφέρουν κατά κύριο λόγο στις κατηγορίες επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η χρήση του καυσίμου επιδρά περισσότερο από όλα τα στάδια παραγωγής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

8.3.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Βιοντίζελ από Ηλίανθο

Τα στάδια παραγωγής βιοντίζελ περιλαμβάνουν την καλλιέργεια του φυτού (ηλιόσπορος), την ξήρανση, την παραγωγή και τη μεταφορά στα πρατήρια καυσίμων. Σε κάθε στάδιο πραγματοποιείται ανάλυση των εκπεμπόμενων ρύπων καθώς επίσης και της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για την εκτέλεση των διεργασιών. Το βιοντίζελ υπό εξέταση θεωρείται ότι προέρχεται από ηλίανθο. Ο καλλιεργούμενος ηλίανθος (*Helianthus annuus*) είναι ένα μονοετές φυτό η έγκαιρη σπορά του οποίου αποφέρει υψηλότερες αποδόσεις σπόρων και υψηλότερη περιεκτικότητα ελαίου. Η επιθυμητή πυκνότητα των καλλιεργειών είναι 35-60 φυτά ανά m^2 η οποία επιτυγχάνεται με την χρήση 5-15 kg σπόρων ανά εκτάριο.

Καθώς η καλλιέργεια του φυτού αφαιρεί βασικά συστατικά από το έδαφος, κρίνεται αναγκαία η χρήση λιπασμάτων και χημικών. Η συνιστώμενη δοσολογία είναι 150 ppm N και ο τύπος του λιπάσματος θα πρέπει να παρέχει την αναλογία των θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται για την ανάπτυξη του. Σε αρδευόμενες καλλιέργειες η λίπανση με άζωτο έχει θετικά αποτελέσματα και η συνιστώμενη αναλογία είναι 50-80 $kg\ ha^{-1}$. Η εφαρμογή του αζώτου σχετίζεται και με την διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του καλίου. Εάν αυτά δεν είναι επαρκή η χρήση του αζώτου θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση της καλλιέργειας. Η μέση απόδοση της καλλιέργειας είναι περίπου 1.7 $t\ ha^{-1}$ και το περιεχόμενο έλαιο στους σπόρους φτάνει το 40-50 %.

Κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης ο ηλίανθος είναι ευαίσθητος στην επίθεση ζιζανίων. Η χρήση ζιζανιοκτόνων πριν από την σπορά αποτελεί λύση σε αυτό το πρόβλημα. Μία από τις πιο κοινές ασθένειες του ηλίανθου είναι η εμφάνιση μυκητών. Το κυριότερο εντομοκτόνο που χρησιμοποιείται είναι το linuron σε αναλογία 0,45 kg/ha και με εκπομπές 0,91 kg/kg προστιθέμενου φαρμάκου [Hauschild, 2000]. Οι συνολικές εκπομπές από την χρήση των λιπασμάτων για την καλλιέργεια ενός εκταρίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3.3.α.

	SO ₂	NO _x	HCl	PM	CO	NM VOC	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Ποσότητα (kg/ha)	4,329	1,44	0,008	0,403	0,645	0,046	0,457	211,522	0,019	1,035

Πίνακας 8.3.3.α. Συνολικές εκπομπές λιπασμάτων

Ο ηλίανθος προσαρμόζεται εύκολα σε διάφορες κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες. Μία ικανοποιητική καλλιέργεια μπορεί να παραχθεί, χωρίς άρδευση, ακόμα και σε περιοχές με βροχοπτώσεις συνολικά περίπου 300mm [Whipker et al, 1998], ενώ η συνολικά απαιτούμενη ποσότητα προσεγγίζει τα 1080 m^3/ha .

Οι ενεργειακές απαιτήσεις για την καλλιέργεια του ηλίανθου περιλαμβάνουν την χρήση βενζίνης και πετρελαίου (εξυπηρέτηση αναγκών εξοπλισμού καθώς και δραστηριότητες για άντληση νερού για άρδευση [Sheenan et al, 1998]. Η ενεργειακή αξία των καλλιεργούμενων σπόρων θεωρείται ότι είναι ίση με το 150% της απαιτούμενης ενέργειας για την καλλιέργεια, η οποία αυξάνεται από της διαδικασίες αποθήκευσης. Οι αποδόσεις της καλλιέργειας διαφέρουν σε κάθε περιοχή και κυμαίνονται στα 0.5-2.7 t ha⁻¹ [Weiske et al, 2005]. Οι εκπομπές που συνδέονται με την εκμετάλλευση του εξοπλισμού αφορούν την χρήση σε διεργασίες καύσης πετρελαίου, για γεωργικά μηχανήματα και φορτηγά (Πίνακας 8.3.3.β). Η συνολική απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου ντίζελ υπολογίζεται σε 36,56 kg/ha ή 2,32 GJ/ha [Hauschild, 2000].

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ (g/MJ καυσίμου)							
	HC	NO _x	PM10	SO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CO
ΝΤΙΖΕΛ	0,085	0,890	0,041	0,120	0,004	0,002	75,500	0,320
ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ (kg/ha)								
	HC	NO _x	PM10	SO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CO
ΝΤΙΖΕΛ	0,197	2,065	0,095	0,278	0,009	0,004	175,160	0,742

Πίνακας 8.3.3.β. Εκπομπές γεωργικών μηχανημάτων για χρήση πετρελαίου ντίζελ [Argonne, 2006]

Ο Πίνακας 8.3.3.γ. αθροίζει τις εκπομπές που προκύπτουν από την διεργασία της καλλιέργειας, την χρήση των υλικών και την κατανάλωση ενέργειας.

Εκπομπές	SO ₂	NO _x	HCl	PM	CO	NM VOC	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
g/MJ Βιοντίζελ	0,00068	0,03861	0,00001	0,00335	0,0114	0,00645	0,06795	3,5815	0,00016	0,03373

Πίνακας 8.3.3.γ. Σύνολο εκπομπών για καλλιέργεια, χρήση υλικών και κατανάλωση ενέργειας

Το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπεμπόμενων ρύπων οφείλεται περισσότερο στην προσθήκη λιπασμάτων και αγροχημικών, παρά στις διεργασίες καύσης από την χρήση μηχανημάτων κατά την καλλιέργεια. Η προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων ευθύνεται για τις εκπεμπόμενες ποσότητες NH₃, NO_x και για μεγάλο ποσοστό του CO₂, ενώ τα καλιούχα λιπάσματα προκαλούν αύξηση του SO₂.

Η μεταφορά του προϊόντος από τις καλλιεργήσιμες περιοχές στον χώρο αποθήκευσης και ξήρανσης γίνεται με τρακτέρ μεσαίου μεγέθους, με ειδική κατανάλωση 4,171 kWh/ km ή

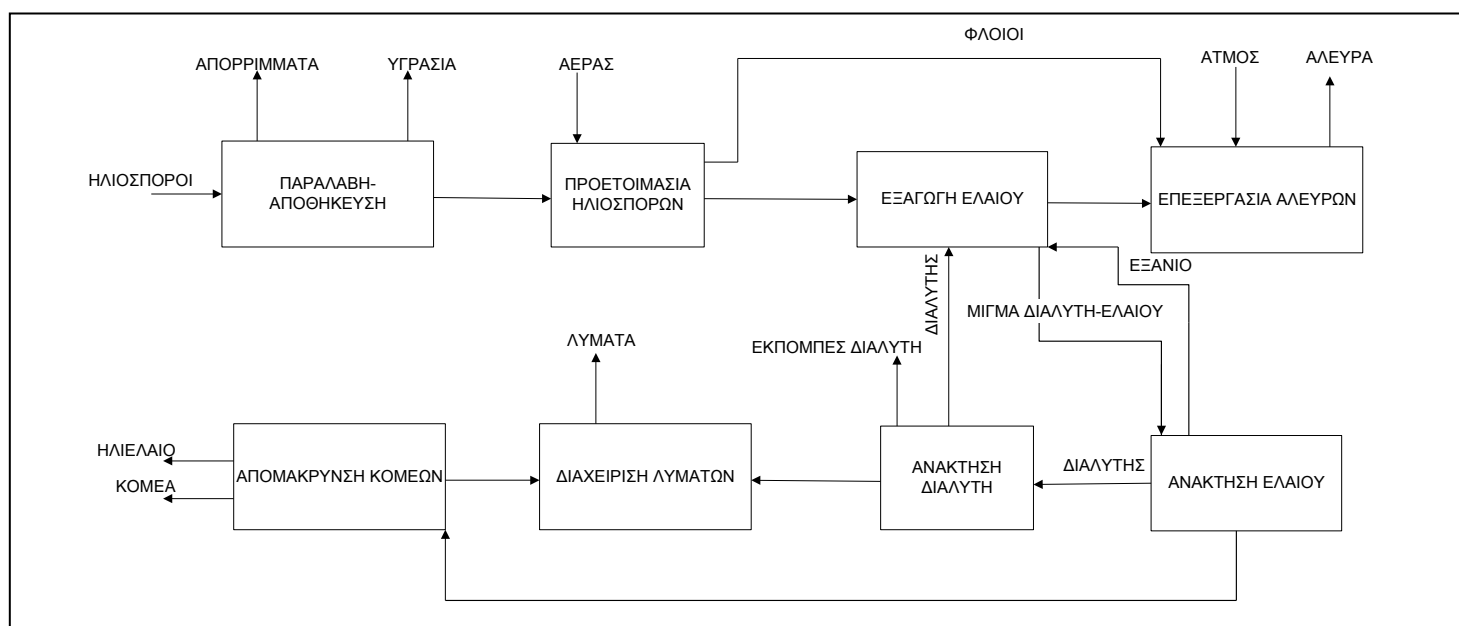
0,352 kg ντίζελ/km. Υποτίθεται ότι κατά την μεταφορά του φορτίου υπάρχει 100% πλήρωση, ενώ στην επιστροφή είναι εντελώς άδειο, και διανύει μία μέση απόσταση 4 km. Για την μεταφορά του προϊόντος από τους χώρους αποθήκευσης προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας χρησιμοποιούνται φορτηγά, με ειδική κατανάλωση 4,083 kWh/ km ή 0,345 kg ντίζελ/km και για διανυόμενη απόσταση 30 km.

Ρύποι	Εκπομπές από φορτηγό (g/km)	Εκπομπές από τρακτέρ (g/km)
SO ₂	1,14	1,16
NO _x	9,80	7,74
PM	0,27	1,76
CO	1,03	6,57
NM _{VO} C	0,72	3,56
NH ₃	0,005	0,007
CO ₂	1093	1117
N ₂ O	0,03	0,116
CH ₄	0,02	0,09

Πίνακας 8.3.3.δ. Εκπομπές από φορτηγό και τρακτέρ [Καλαμπόγια, 2005]

8.3.3.1 Παραγωγή ηλιέλαιου

Τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του ηλιελαίου (Διάγραμμα 8.3.3.1.α) περιλαμβάνουν τις διεργασίες : λήψης και αποθήκευσης του ηλιόσπορου, προετοιμασίας, εξαγωγής του ηλιελαίου, επεξεργασίας αλεύρων, ανάκτησης ηλιέλαιου, ανάκτησης διαλύτη, αφαίρεσης των κόμμεων από το έλαιο και επεξεργασίας αποβλήτων.



Διάγραμμα 8.3.3.1.α Διαδικασία παραγωγής ηλιέλαιου [Sheenan et al, 1998]

Η διαδικασία σύνθλιψης για την εξαγωγή του ελαίου από τον ηλιόσπορο είναι ομοιόμορφη σε όλες τις βιομηχανικές εφαρμογές. Η προετοιμασία του σπόρου περιλαμβάνει την αφαίρεση του φλοιού και την απολέπιση ενώ ακολουθεί εκχύλιση με χρήση εξανίου. Το μίγμα εξανίου-ελαίου διαχωρίζεται και το εξάνιο ανακτάται κατά τον δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό. Τέλος το παραγόμενο έλαιο φιλτράρεται και αποθηκεύεται. Ακολουθεί το ενεργειακό ισοζύγιο κάθε φάσης προκειμένου να δημιουργηθούν οι κατάλογοι απογραφής.

Η **λήψη και αποθήκευση ηλιόσπορου** περιλαμβάνει την **μεταφορά του σπόρου**, τα **ξηραντήρια** και την **αποθήκευσή** του. Ο ηλιόσπορος περιέχει έλαιο μόνο κατά 20% έως 30% [Ελευθεριάδης, 2010] ενώ τα υπόλοιπα είναι στερεά υπολείμματα. Τα τριγλυκερίδια είναι το συστατικό που μετεστεροποιείται σε βιοκαύσιμο. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα είναι υδρολυμένες μορφές λιπών και δεν μπορούν να μετατραπούν σε βιοκαύσιμο, γι' αυτό και απομακρύνονται. Η περιεχόμενη υγρασία κατά τη παραλαβή του σπόρου κυμαίνεται από 8% έως 10% κατά την παραλαβή του σπόρου, ενώ μετά την ξήρανση μειώνεται. Οι ενεργειακές απαιτήσεις κάθε φάσης συνοψίζονται στο **Πίνακα 8.3.3.1.α**. Για τους ξηραντήρες υπολογίζεται ότι απαιτούνται 1.940 kcal/kg αφαιρούμενου νερού. Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης είναι μόνο 610 kcal/kg, το οποίο αντιστοιχεί σε απόδοση 31% για τους ξηραντήρες. Οι απαιτήσεις σε ατμό για την διεργασία της ξήρανσης υπολογίζονται σε 519.250 kcal.

Η μηχανική επεξεργασία των σπόρων πριν την εξαγωγή (**προετοιμασία σπόρου**) περιλαμβάνει την **πυρόλυση**, την **αποφλοιώση** και την **απολέπιση**. Στο στάδιο αυτό χάνεται περίπου το 0.58% των περιεχομένων τριγλυκεριδίων. Για την συντήρηση των σπόρων απαιτούνται 80.688 kcal ατμού.

Το μίγμα ελαίου εξανίου (**εξαγωγή ελαίου**) αντλείται σε κάδους όπου προστίθεται διαλύτης εξανίου έτσι ώστε κάθε κάδος εκπλύνεται διαδοχικά με μικρότερο βαθμό συγκέντρωσης μίγματος ελαίου διαλύτη. Οι συνολικές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ για αυτή τη φάση υπολογίζονται σε 9,7 kWh / t παραγόμενου ελαίου. Ο υγρός φλοιός του σπόρου περιέχει διαλύτη σε ποσοστό 40% κατά βάρος του χρησιμοποιούμενου εξανίου, όταν το περιεχόμενό του στον διαλύτη είναι 35% κατά βάρος. Οι νιφάδες επεξεργάζονται (**επεξεργασία αλεύρων**) προκειμένου να απομακρυνθεί ο διαλύτης μέσω επαφής με ατμό. Ακολουθεί ψύξη μέσω αέρα. Η περιεχόμενη υγρασία δεν ξεπερνά το 6%, ενώ η περιεκτικότητα εξανίου υπολογίζεται μόλις σε 400 ppm. Στο στάδιο **ανάκτησης ελαίου** δεν σημειώνονται απώλειες ελαίου. Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια και ατμό καθ' όλη την διεργασία παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.3.3.1.α**. Για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους το εξάνιο ανακτάται σε μεγάλο βαθμό σε όλες τις διεργασίες εξαέρωσης της εγκατάστασης. Η απευθείας έγχυση ατμού μειώνει το περιεχόμενο εξάνιο στο έλαιο στα 120 ppm.

ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ					
	ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗ	ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ	ΞΗΡΑΝΣΗ	ΣΥΝΟΛΟ	
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kWh)	4,958	10,687	41,825	57,47	
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ					
	ΠΥΡΟΛΥΣΗ	ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ	ΣΥΝΟΛΟ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kWh)	11,154	6,348	3,029	37,579	58,11
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΛΕΥΡΩΝ					
	ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ	ΣΤΕΓΝΩΤΗΡΑΣ	ΨΥΚΤΗΡΑΣ	ΑΛΕΣΜΑ	ΣΥΝΟΛΟ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kWh)	15,288	2,368	9,374	26,67	53,7
ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΚΟΜΕΩΝ					
	ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ	ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΣΤΗΣ	ΣΤΕΓΝΩΤΗΡΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ	
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kWh)	0,648	1,835	2,077	4,561	
	ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ	ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ		
ΑΤΜΟΣ (kcal)	16994	15281,15	32275,15		
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ					
	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΕΞΑΝΙΟΥ	ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ		
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kWh)	13.996,56	3090,24	17086,8		

Πίνακας 8.3.3.1.α. Ενεργειακές ανάγκες κάθε φάσης (kW/t παραγόμενου ηλιέλαιου & kcal/ t παραγόμενου ηλιέλαιου) [Sheenan et al, 1998].

Οι ενεργειακές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια κατά την διαδικασία **ανάκτησης διαλύτη** υπολογίζονται σε 1,4 kWh/t ηλιέλαιου. Στην φάση **αφαίρεσης κόμμεων** από το έλαιο αφαιρούνται τα φωσφατίδια και μέρος των ακόρεστων συστατικών. Αυτό πραγματοποιείται με την προσθήκη ζεστού νερού στο μίγμα του ελαίου. Καθώς ενυδατώνονται τα κόμμεα διογκώνονται και μπορούν να διαχωριστούν από το έλαιο, λόγω της διαφοράς πυκνότητας, με την χρήση ενός φυγοκεντριστή. Το ποσοστό του προστιθέμενου νερού φτάνει το 75% της περιεκτικότητας του ελαίου σε φωσφατίδια . Οι απώλειες ελαίου σε αυτή την φάση είναι 3%, αλλά μόνο 0.5% αυτές των τριγλυκεριδίων.

Η τυπική **επεξεργασία αποβλήτων** περιλαμβάνει την απομόνωση των ελαίων και των λιπών και των μετέπειτα βιολογική επεξεργασία τους. Βασικότερος στόχος στο στάδιο αυτό είναι η ανάκτηση του εναπομείναντος εξανίου. Για τον σκοπό αυτό αφαιρείται το αέριο εξάνιο, το οποίο ανακτάται στην συνέχεια με την χρήση ψυκτήρα. Τα λύματα που προκύπτουν περιέχουν χαμηλά επίπεδα ελαίου. Ο πλεονάζων ατμός περνά από αποροφητήρα ώστε να συγκρατηθεί τυχόν υπολειπόμενο εξάνιο πριν τον εξαερισμό. Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια υπολογίζονται σε 1,54 kWh / t παραγόμενου ηλιέλαιου, ενώ οι απαιτήσεις σε ατμό υπολογίζονται στον **Πίνακα 8.3.3.1.α.**

Καθώς η περιεκτικότητα του ελαίου σε τριγλυκερίδια αγγίζει το 99% γίνεται αντιληπτό πως ο σημαντικότερος παράγοντας στην διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ είναι η **απόδοση**. Έτσι σημαντικότερη είναι η λειτουργία του εκχυλιστή. Ελάχιστες απώλειες προκύπτουν από την φάση της προετοιμασίας και της αφαίρεσης των κόμμεων. Στο στάδιο αυτό σημειώνεται και η διαφορά στην απόδοση των τριγλυκεριδίων (95%) και του συνολικού ελαίου (92%). Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια για κάθε φάση εξαρτώνται κυρίως από τις διεργασίες διαχείρισης στερεών, οι οποίες κυριαρχούν στις φάσεις παραλαβής, αποθήκευσης, προετοιμασίας των ηλιόσπορων καθώς και επεξεργασίας των παραγομένων αλεύρων (Πίνακας 8.3.3.1.β). Ο Πίνακας 8.3.3.1.γ παρουσιάζει τις συνολικές εκπομπές κατά το στάδιο της παραγωγής του ηλιέλαιου.

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	Ανάκτηση ελαίου	Ανάκτηση διαλύτη	Διαχείριση λυμάτων	Απομάκρυνση κόμμεων	Εξαγωγή ελαίου	Επεξεργασία αλεύρων	Παραλαβή – αποθήκευση	Προετοιμασία ηλιόσπορων	Σύνολο
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kWh)	1,02	1,4	1,54	4,56	9,7	53,7	57,47	58,11	187,5

Πίνακας 8.3.3.1.β. Συνολικές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας κατά την παραγωγή ηλιέλαιου (kWh/t ηλιέλαιου) [Sheenan et al 1998, Tsoutsos et al 2010].

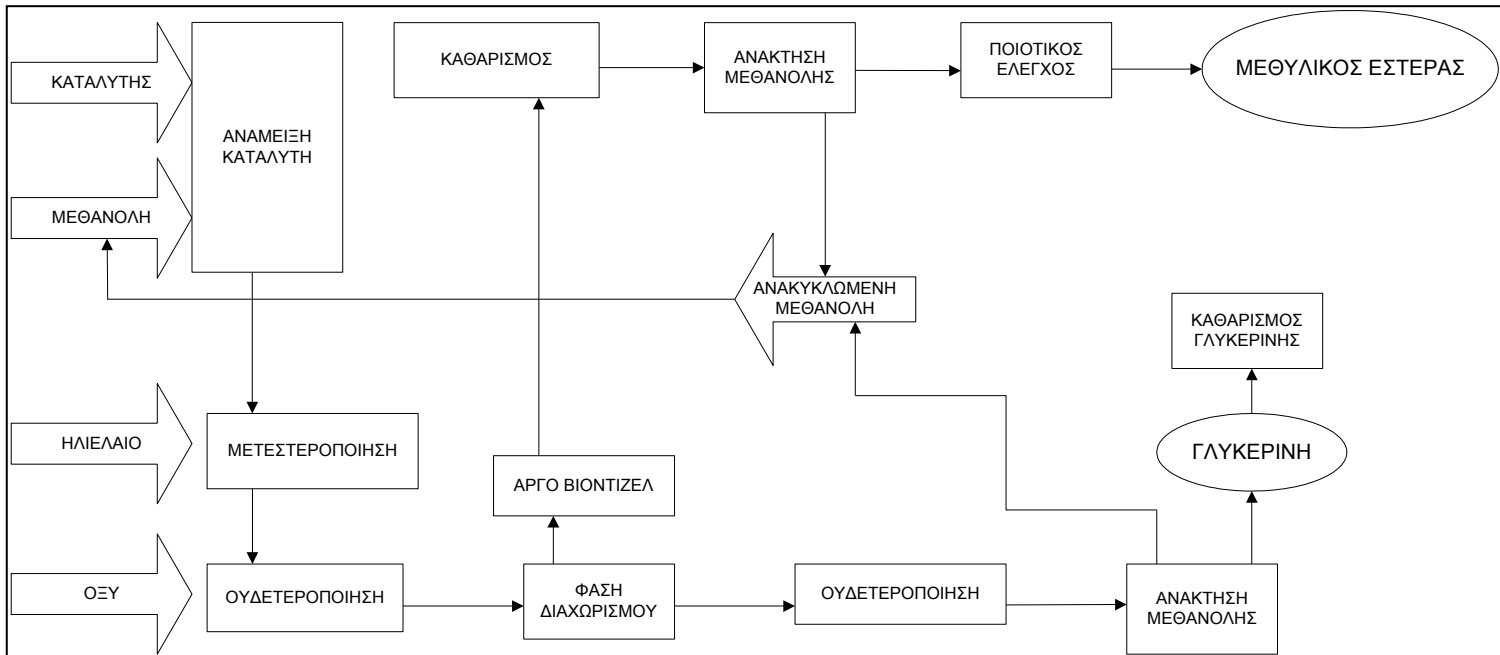
Εκπομπές g/MJ Βιοντίζελ	SO ₂	NO _x	HCl	PM	CO	NM VOC	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	0,000276	0,000117	1,19E-11	0,0000006	1,45E-05	0,00037	1,17E-06	0,02127	2,83E-07	0,00011

Πίνακας 8.3.3.1.γ. Συνολικές εκπομπές κατά την παραγωγή

II. Μετατροπή ηλιέλαιου σε βιοντίζελ

Η σημαντικότερη διεργασία στην παραγωγή βιοντίζελ όπως παρουσιάστηκε στο **κεφάλαιο 4** είναι η **μετεστεροποίηση**. Στην αντίδραση αυτή μια αλκοόλη, όπως η μεθανόλη, αντιδρά με τα περιεχόμενα στο έλαιο τριγλυκερίδια σχηματίζοντας λιπαρά οξέα μεθυλικού εστέρα (βιοντίζελ) και γλυκερίνη. Η τροποποίηση αυτή του ηλιέλαιου το καθιστά ικανό καύσιμο καθώς μειώνει δραστικά το ιξώδες και συμβάλλει σημαντικά στην εξάλειψη των προβλημάτων που προκύπτουν από την χρήση στην αρχική μορφή του. Η διαδικασία της μετεστεροποίησης διαχωρίζεται σε έξι βασικά στάδια. Αρχικά το ηλιέλαιο υποβάλλεται σε (καυστική) διύλιση για την απομάκρυνση των ελεύθερων λιπαρών οξέων. Τα σαπούνια που δημιουργούνται στην φάση αυτή αφαιρούνται από το έλαιο μέσω της πλύσης με ζεστό νερό. Ακολουθεί η ξήρανση του ελαίου για των απομάκρυνση του νερού, η παρουσία του οποίου είναι επιζήμια για την απόδοση των αντιδραστήρων. Το έλαιο που προκύπτει

αντιδρά με την μεθανόλη με στοιχειομετρική αναλογία 2:1 και παρουσία μικρής ποσότητας καταλύτη. Η αντίδραση παράγει μεθυλεστέρα και γλυκερίνη. Η μεθανόλη που δεν αντέδρασε συλλέγεται και ανακυκλώνεται στους αντιδραστήρες, ενώ η παραγόμενη γλυκερίνη (80% γλυκερόλη) πωλείται ως υποπροϊόν. Ο μεθυλεστέρας καθαρίζεται με νερό για την απομάκρυνση γλυκερίνης και μεθανόλης



Διάγραμμα 8.3.3.1.β. Διεργασία παραγωγής βιοντίζελ [Sheenan et al, 1998].

Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα που βρίσκονται στο ηλιέλαιο επιδρούν αρνητικά στη διεργασία της μετεστεροποίησης καθώς με την συμβολή του καταλύτη σχηματίζουν σαπούνια με αποτέλεσμα τον δυσκολότερο διαχωρισμό του μεθυλεστέρα και της γλυκερόλης. Η **απομάκρυνση των αλκαλίων** γίνεται με τη προσθήκη καυστικού και νερού στο ηλιέλαιο πριν από την φάση της μετεστεροποίησης. Η διαδικασία αυτή αποτελεί την **διύλιση αλκαλίων**. Το ηλιέλαιο θερμαίνεται στους 70° C και αναμιγνύεται με καυστικό διάλυμα 14° Baume (9.5 wt%). Το ποσοστό των ελεύθερων οξέων στο έλαιο καθορίζει το προστιθέμενο ποσό του καυστικού, ενώ απώλεια της απόδοσης αναμένεται λόγω της σαπωνοποίησης των τριγλυκεριδίων (Πίνακας 8.3.3.1.δ).

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	Ελεύθερα λιπαρά οξέα	Τριγλυκερίδια	Ακόρεστα	Σύνολο
ΑΠΩΛΕΙΕΣ	0.719 %	1800%	1485%	4004%

Πίνακας 8.3.3.1.δ. Απώλειες κατά την απομάκρυνση των αλκαλίων [Sheenan et al, 1998].

Το μίγμα ελαίου, σαπουνιού και νερού οδηγείται σε φυγοκεντρική προκειμένου να καθαριστεί το έλαιο. Οι απαιτήσεις σε ατμό παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.3.3.1.ε**

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΛΚΑΛΙΩΝ					
ΑΤΜΟΣ Kcal/ tn βιοντίζελ	Θερμαντήρας ελαίου	Θερμαντήρας νερού	Προθέρμανση στεγνωτήρα	Στεγνωτήρας	Σύνολο
	45490	13647,2	4101,4	1682,4	64921
ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ					
ΑΤΜΟΣ Kcal/ tn βιοντίζελ	Αντιδραστήρας 1 ^{ης} φάσης	Αντιδραστήρας 2 ^{ης} φάσης			Σύνολο
	40611,82	4236,18			44848
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕΘΥΛΕΣΤΕΡΑ					
ΑΤΜΟΣ Kcal/ tn βιοντίζελ	Θερμαντήρας νερού	Θερμαντήρας εστέρα	Προθέρμανση στεγνωτήρα	Στεγνωτήρας	Σύνολο
	17571,95	43929,86	35152,25	957,94	97612
ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΓΛΥΚΕΡΙΝΗΣ					
ΑΤΜΟΣ Kcal/ tn βιοντίζελ	Θερμαντήρας γλυκερίνης	Στήλες αποστακτήρα			Σύνολο
	31622	241487			273109

Πίνακας 8.3.3.1.ε. Κατανάλωση ατμού σε όλες τις φάσεις παραγωγής βιοντίζελ (kcal / t βιοντίζελ)

[Sheenan et al, 1998].

Η **μετεστεροποίηση** πραγματοποιείται σε αντιδραστήρες δύο φάσεων. Τα προϊόντα των φάσεων αυτών αποστέλλονται σε δεξαμενές. Το λάδι που περιέχει τον παραγόμενο εστέρα είναι ελαφρύτερο από την υδάτινη φάση της γλυκερίνης και της μεθανόλης. Η υδάτινη φάση αντλείται από τον πάτο της δεξαμενής και επεξεργάζεται ώστε να ανακτηθεί η μεθανόλη και η γλυκερόλη. Το λάδι στέλνεται στον δεύτερο αντιδραστήρα και ακολουθεί ο καθαρισμός του μεθυλεστέρα. Η κατανάλωση ατμού κατά την μετεστεροποίηση υπολογίζεται στον **Πίνακα 8.3.3.1.ε**. Ο μεθυλικός εστέρας από τον δεύτερο αντιδραστήρα καθαρίζεται με νερό, ώστε να απομακρυνθούν η γλυκερόλη, η μεθανόλη και άλλα υδατοδιαλυτά συστατικά. Η διεργασία **καθαρισμού μεθυλεστέρα** πραγματοποιείται σε στήλες όπου το νερό εισέρχεται από την κορυφή ενώ ο εστέρας από την βάση. Μετά την έξοδο από τις στήλες το νερό οδηγείται προς ανάκτηση της γλυκερίνης, ενώ ο εστέρας υπόκειται σε καθίζηση έτσι ώστε να διαχωριστεί από την υδάτινη φάση. Η κατανάλωση ατμού κατά τον καθαρισμό του μεθυλεστέρα παρουσιάζεται στον **Πίνακα 8.3.3.1.ε**.

Η γλυκερίνη που παράγεται από την διεργασία μετεστεροποίησης και τον καθαρισμό του εστέρα συλλέγεται, θερμαίνεται και οδηγείται σε στήλη απόσταξης γλυκερίνης. Στην στήλη θεωρείται ισορροπία υλικών, η οποία καθορίζει την συγκέντρωση των ατμών μεθανόλης στην έξοδο δεδομένου της περιεκτικότητας γλυκερίνης στον πυθμένα στο 80%. Αυτό μεταφράζεται σε σύσταση 47% μεθανόλης του αέριου ρεύματος. Η κατανάλωση ατμού για τη φάση της **ανάκτησης γλυκερίνης** παρουσιάζεται στον **Πίνακα 8.3.3.1.ε** Στη φάση της **ανάκτησης μεθανόλης** ο ρυθμός τροφοδοσίας

επιρεάζει ανάλογα τις ενεργειακές απαιτήσεις της στήλης, ενώ οι απαιτήσεις θέρμανσης εξαρτώνται από τον λέβητα στον πάτο της στήλης και η κατανάλωση ατμού υπολογίζεται σε **93027 kcal/t** παραγόμενου βιοντίζελ. Η παραγόμενη μεθανόλη από την κορυφή της στήλης προστίθεται σε καινούρια μεθανόλη και χρησιμοποιείται ξανά στους αντιδραστήρες. Η **επεξεργασία των αποβλήτων**, τα οποία συλλέγονται από την διύλιση αλκαλίων, τον καθαρισμό του μεθυλεστέρα και την ανάκτηση της μεθανόλης διυλίζονται προκειμένου να απομακρυνθούν υπόλοιπα ελαίων και λιπών. Τα προϊόντα οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής, ενώ το καθαρό νερό στο δίκτυο αποχέτευσης.

Οι απώλειες που προκύπτουν από την διαδικασία μετατροπής του ηλιελαίου σε βιοντίζελ είναι πολύ μικρές. Λιγότερο από 2% αυτών οφείλονται σε απώλειες τριγλυκεριδίων κατά τη διύλιση αλκαλίων. Οι συνολικές απαιτήσεις σε ενέργεια περιλαμβάνουν την δημιουργία ατμού και την ηλεκτρική ενέργεια (**Πίνακας 8.3.3.1.στ**). Ο ατμός παράγεται σε λέβητα και το μεγαλύτερο μέρος του, προορίζεται για την φάση ανάκτησης της γλυκερίνης. Τόσο στην στήλη διύλισης της γλυκερίνης όσο και σε αυτή της μεθανόλης, η μεθανόλη διαχωρίζεται από τα προϊόντα του αντιδραστήρα κι επαναχρησιμοποιείται. Η ανακύκλωση της μεθανόλης αντιπροσωπεύει το 64% της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία των δύο στηλών.

ΜΟΝΑΔΑ	Kcal
Αφαίρεση αλκαλίων	64.921
Μετεστεροποίηση	44.848
Καθαρισμός μεθυλεστέρα	97.612
Ανάκτηση γλυκερίνης	273.109
Ανάκτηση μεθανόλης	93.027
Διαχείριση αποβλήτων	0
Σύνολο	573.517

Πίνακας 8.3.3.1.στ. Συνολική κατανάλωση ατμού κατά την παραγωγή βιοντίζελ (ανά t παραγόμενου βιοντίζελ) [**Sheenan et al, 1998**].

8.3.3.2. Σύνολο εισροών και εκροών στην εγκατάσταση επεξεργασίας

Κατά την διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ χρησιμοποιούνται έξι διαφορετικές ύλες (**Πίνακας 8.3.3.2.α**). Για κάθε 1000 kg βιοντίζελ απαιτούνται 1007 kg ηλιελαίου και περίπου 110 kg μεθανόλης.

Η φαινομενικά μικρή ποσότητα μεθανόλης οφείλεται στο γεγονός ότι γίνεται ανάκτηση μεθανόλης και από τον καταλύτη (μεθοξείδιο του νατρίου). Η κύρια χρήση του διαλύματος καυστικού νατρίου γίνεται κατά την διύλιση των αλκαλίων, ενώ το υδροχλωρικό οξύ απαιτείται κατά την ανάκτηση της γλυκερίνης.

ΥΛΕΣ	Ηλιέλαιο	Μεθοξείδιο του νατρίου	του	Υδροξείδιο του νατρίου (9.5%)	του	Υδροχλωρικό οξύ (10%)	Μεθανόλη	Νερό
ΡΟΗ (kg/t βιοντίζελ)	1007		24		24	75.43	110	355.97

Πίνακας 8.3.3.2.α. Εισροή πρώτων υλών στην εγκατάσταση παραγωγής βιοντίζελ [Ελευθεριάδης 2010, Sheenan et al, 1998].

Τα δύο κύρια προϊόντα που παράγονται είναι το βιοντίζελ (1000 kg/t) και η γλυκερίνη (110 kg/t) καθώς και μικρή ποσότητα σαπουνιών (0,69 kg/t), αποτέλεσμα της ουδετεροποίησης των ελεύθερων οξέων [Sheenan et al, 1998]. Οι συνολικές ποσότητες αποβλήτων που προκύπτουν κατά την διεργασία μετατροπής του ηλιέλαιου σε βιοντίζελ συγκεντρώνονται στον **Πίνακα 8.3.3.2.β.** και στον **Πίνακα 8.3.3.2.γ.** οι συνολικές εκπομπές.

Εκπομπές	SO ₂	NO _x	HCl	PM	CO	NM VOC	NH ₃	CO ₂	CH ₄
g/MJ βιοντίζελ	0,076466	0,010235	0,00008481	0,0001118	0,001913	5,564E-05	1,54E-10	5,3931	0,01565

Πίνακας 8.3.3.2.β.. Υγρά και στερεά απόβλητα εγκατάστασης παραγωγής βιοντίζελ [Sheenan et al, 1998].

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	Λίπη	Συνολικά λύματα	Μεθανόλη	Νερό	Φωσφατίδια	Ακόρεστα υλικά	Σαπούνι	Γλυκερίδια
ΡΟΗ (kg/t βιοντίζελ)	11.667	381.200	0.8572	348.457	0.205	15.405	15.270	1.005

Πίνακας 8.3.3.2.γ. Συνολικές εκπομπές

8.3.3.3. Εκπομπές καυσαερίων βιοντίζελ

Η καύση καθαρού βιοντίζελ οδηγεί σε μειωμένη εκπομπές SO_2 , καθώς η περιεκτικότητα του θείου στο βιοντίζελ είναι κατά 20 έως 50 φορές μικρότερη από αυτήν του ντίζελ (Πίνακας 8.3.3.4). Οι εκπομπές των υδρογονανθράκων και των σωματιδίων φαίνεται να είναι μειωμένες ενώ αύξηση σημειώνεται στα NO_x . Στην πράξη, ωστόσο, το βιοντίζελ χρησιμοποιείται σε μίγματα με ορυκτό πετρέλαιο ντίζελ. Η επίδραση της περιεκτικότητας του στο μίγμα εξετάζεται παρακάτω για τις εκπομπές νιτρικών οξειδίων, σωματιδίων, υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα.

Εκπομπές	SO_2	NO_x	PM	CO	NM VOC	NH_3	CO_2	CH_4	N_2O
Ποσότητα (kg/km)	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$2,50 \cdot 10^{-4}$	$8,82 \cdot 10^{-6}$	$2,49 \cdot 10^{-4}$	$3,89 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	0,13545	$9,57 \cdot 10^{-7}$	$8,55 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 8.3.3.4. Εκπομπές από την καύση του βιοντίζελ σε οχήματα [Καλαμπόγια, 2005].

Η επίδραση του βιοντίζελ στις εκπομπές **νιτρικών οξειδίων** NO_x εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα και τις συνθήκες λειτουργίας. Ο υψηλός αριθμός κετανίου του βιοντίζελ σε σύγκριση με το πετρέλαιο ντίζελ δικαιολογεί τις σημειούμενες διαφορές στις εκπομπές ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα. Παρατηρείται μεγαλύτερη ευαισθησία των NO_x στις μεταβολές του αριθμού κετανίου σε χαμηλό φορτίο, καθώς οι εκπομπές μειώνονται με αυξημένο αριθμό. Αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να αντισταθμίσει κάθε αύξηση που προκύπτει από την χημική σύνθεση του βιοντίζελ. Οι κύριοι λόγοι για την αύξηση των εκπομπών σχετίζονται με την φάση της έγχυσης του καυσίμου στον κινητήρα. Για παράδειγμα, παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση σε υψηλό φορτίο, καθώς για την έναρξη της καύσης απαιτείται υψηλότερη μέση μέγιστη θερμοκρασία ανάλογη με το αυξανόμενο φορτίο. Η επίδραση των φυσικών ιδιοτήτων του βιοντίζελ αποδεικνύεται και από την υψηλότερη πίεση έγχυσης, αφού το βιοντίζελ παρουσιάζει μεγαλύτερο ιξώδες, το οποίο μειώνει την ροή στην αντλία. Παρόλ' αυτά, ακόμη και αν διατηρηθεί αμετάβλητη η φάση της έγχυσης καυσίμου, παρατηρείται αύξηση των εκπομπών NO_x , η οποία μπορεί να δικαιολογηθεί είτε από την αυξημένη θερμοκρασία αδιαβατικής φλόγας, είτε από μείωση της απαγωγής θερμότητας λόγω ακτινοβολίας, ως συνέπεια της μικρότερης εκπεμπόμενης ποσότητας αιθάλης. Στην αύξηση των εκπομπών NO_x συντελεί, επίσης, η μεγαλύτερη διάθεση οξυγόνου στον θάλαμο καύσης κατά την χρήση βιοντίζελ.

Οι εκπομπές σωματιδίων και αιθάλης με την αύξηση της περιεκτικότητας σε βιοντίζελ μειώνονται. Το παραπάνω αποδίδεται : α. στην απουσία αρωματικών υδρογονανθράκων, οι οποίοι θεωρούνται πρόδρομοι για τον σχηματισμό αιθάλης, β. στη διαφορετική δομή των σωματιδίων αιθάλης μεταξύ ντίζελ και βιοντίζελ, η οποία οδηγεί σε περαιτέρω οξειδωση της αιθάλης από βιοντίζελ, γ. στη

μηδενική περιεκτικότητα του βιοντίζελ σε θείο, η οποία αποτρέπει τον σχηματισμό θεικών αλάτων, βασικού συστατικού των σωματιδίων και δ. στο χαμηλότερο τελικό σημείο βρασμού του βιοντίζελ, παρά την υψηλότερη μέση θερμοκρασία απόσταξης, το οποίο ελαχιστοποιεί την πιθανότητα σχηματισμού αιθάλης από βαρείς υδρογονάνθρακες που δεν εξατμίζονται. Επιπρόσθετα πρέπει να αναφερθεί η επίδραση του βιοντίζελ στο μέγεθος των σωματιδίων καθώς υπάρχουν λόγοι που εξηγούν τόσο την αύξηση, όσο και την μείωση του αριθμού των μικρών εκπεμπόμενων σωματιδίων. Από την μία πλευρά, η μηδενική περιεκτικότητα σε θείο του βιοντίζελ συμβάλλει στην μείωση των μικρότερων σωματιδίων, αφού αυτά αποτελούνται κυρίως από ενώσεις του. Από την άλλη πλευρά, το αυξημένο ιξώδες του βιοντίζελ και το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου του κινητήρα μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της πίεσης έγχυσης, η οποία συνδέεται με αύξηση του αριθμού των μικρών σωματιδίων.

Η μείωση των εκπομπών υδρογονανθράκων αποδίδεται στο περιεχόμενο οξυγόνο στο μόριο του βιοντίζελ, το οποίο συμβάλλει στην πλήρη καύση. Επίσης, ο υψηλότερος αριθμός κετανίου του βιοντίζελ μειώνει την καθυστέρηση έναυσης, η οποία συνδέεται με την μείωση των εκπομπών. Η μείωση των εκπομπών CO κατά την αντικατάσταση του πετρελαίου ντίζελ από το βιοντίζελ αποδίδονται στην υψηλότερη περιεκτικότητα του καυσίμου σε οξυγόνο, η οποία ενισχύει την πλήρη καύση, οπότε οδηγεί σε ελαχιστοποίηση του εκπεμπόμενου CO καθώς και στον αυξημένο αριθμός κετανίου του βιοντίζελ, ο οποίος συνδέεται με τον περιορισμό των πλούσιων σε καύσιμο περιοχών του κινητήρα που συνδέονται με εκπεμπόμενο CO.

Η μέση περιεκτικότητα άνθρακα στο βιοντίζελ ανέρχεται σε 79,4% [Lapuerta, 2008], το παραπάνω είναι σημαντικό καθώς οι εκπομπές CO₂ μετά την καύση δεν συνεισφέρουν στην αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα, διότι ανακυκλώνονται κατά την παραγωγή του ηλιέλαιου. Ο περιεχόμενος άνθρακας στο βιοντίζελ προέρχεται κατά 73,2% από την επεξεργασία της βιομάζας και κατά 6,2% από ορυκτό άνθρακα. Ωστόσο, 73,2% των συνολικών εκπομπών CO₂ ανακυκλώνεται κατά την καλλιέργεια του ηλιάνθου. Σε έναν κινητήρα που γίνεται πλήρης καύση όλη η ποσότητα του άνθρακα θα μετατρέποταν σε διοξείδιο του άνθρακα. Στην πραγματικότητα, όμως, τα καυσαέρια περιέχουν και PM₁₀, CO και NMHC. Ο άνθρακας, λοιπόν, κατανέμεται και σε αυτά τα συστατικά. Η πολύπλοκη φύση των σωματιδίων και των υδρογονανθράκων καθιστά τον υπολογισμό δυσκολότερο. Τα σωματίδια αποτελούνται από δύο βασικά συστατικά: την αιθάλη και το κλάσμα πτητικών οργανικών ενώσεων. Η αιθάλη συνίσταται βασικά από 100% άνθρακα που προκύπτει από αντιδράσεις πυρόλυσης κατά την καύση. Το ποσοστό της αιθάλης στα σωματίδια εξαρτάται από το ποσοστό του οξυγόνου στο καύσιμο, το οποίο προέρχεται από το βιοντίζελ. Η περιεχόμενη αιθάλη στα σωματίδια αποτελεί το 54% για το πετρέλαιο ντίζελ, ενώ μόλις το 30% για καθαρό βιοντίζελ. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούνται κυρίως από μακριές αλυσίδες αλκανίων και αλκενίων. Ο εκτιμώμενος άνθρακας στις ενώσεις φτάνει το 85%, ενώ είναι περίπου 72% για υδρογονάνθρακες με ένα έως δώδεκα άτομα άνθρακα.

8.3.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη παραγωγή και χρήση βιοντίζελ

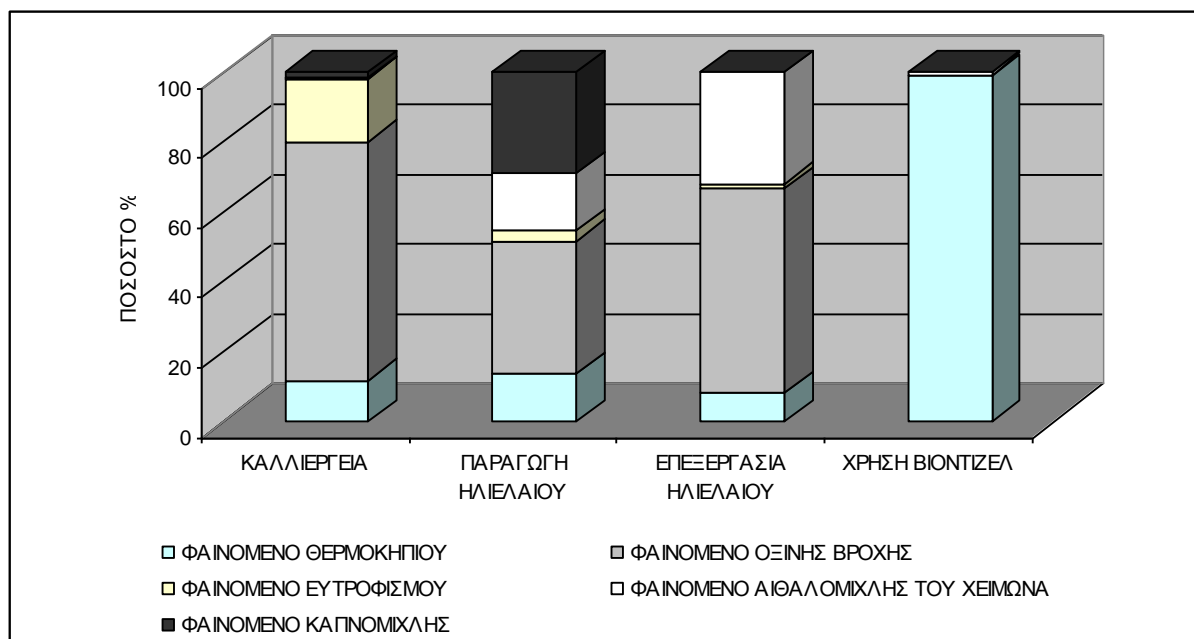
Στους Πίνακες 8.3.3.α – 8.3.3.4 δίνεται ο κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής όπου καταγράφονται οι εκπομπές ρύπων από την εξόρυξη του ηλιανθου, μέχρι και την τελική χρήση αυτού ως βιοντίζελ. Στον Πίνακα 8.3.4. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του χαρακτηρισμού των εκπομπών και οι τιμές αξιολόγησης μέσω του λογισμικού SimaPro 5.0 (οι τιμές αντιστοιχούν σε δείκτες περιβαλλοντικής αξιολόγησης/ αποτίμησης με αδιάστατες μονάδες) ανά κατηγορία επιπτώσεων. Η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προκύπτει από το εύρος τιμών των ισοδύναμων εκπομπών του χαρακτηριστικού ρύπου για κάθε περιβαλλοντική επίπτωση. Σημειώνεται ότι οι τιμές χαρακτηρισμού για κάθε φαινόμενο, έχουν αναχθεί στις αντίστοιχες ισοδύναμες βάσεις αναφοράς. Τέλος, η συνολική περιβαλλοντική αξιολόγηση προκύπτει με την εφαρμογή δεικτών κανονικοποίησης και συντελεστών βαρύτητας των μεθόδων Eco Indicator '95 και CML 2 στις ισοδύναμες εκπομπές ρύπων. Στα Διαγράμματα 8.3.4.α – 8.3.4.β παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φάσης της αξιολόγησης της αποτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά κατηγορία επιπτώσεων. Στο Διάγραμμα 8.3.4.α. παρουσιάζεται το ποσοστό συνεισφοράς του κύκλου ζωής του βιοντίζελ στην κάθε κατηγορία επίπτωσης ενώ στο Διάγραμμα 8.3.4.β. παρουσιάζεται η επίδραση κάθε διεργασίας στα εξεταζόμενα φαινόμενα.

	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (g CO2eq)	ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ (g SO4eq)	ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ (g PO4eq)	ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΛΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ (g SPMeq)	ΚΑΠΝΟΜΙΧΛΗ (g C2H4eq)
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ	12,69031155	0,155446966	0,027880408	0,00067715	0,002683537
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ	0,050197191	0,000293477	1,43124E-05	0,00021629	0,000155393
ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	5,57308	0,083705133	0,00133055	0,076466	0,000132696
	20,47120494	0,00010969	0,000020371	0,00053853	0,000007617
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΞΙΝΗΣ ΒΡΟΧΗΣ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΛΗΣ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΠΝΟΜΙΧΛΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ	0,002354053	0,013803691	0,003652333	3,5889E-05	0,000340138
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ	9,31158E-06	2,60608E-05	1,87493E-06	1,14634E-05	1,96961E-05
ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	0,001033806	0,007433016	0,000174302	0,004052698	1,68192E-05
	0,003797409	9,74047E-06	2,6686E-06	2,85421E-05	9,65455E-07

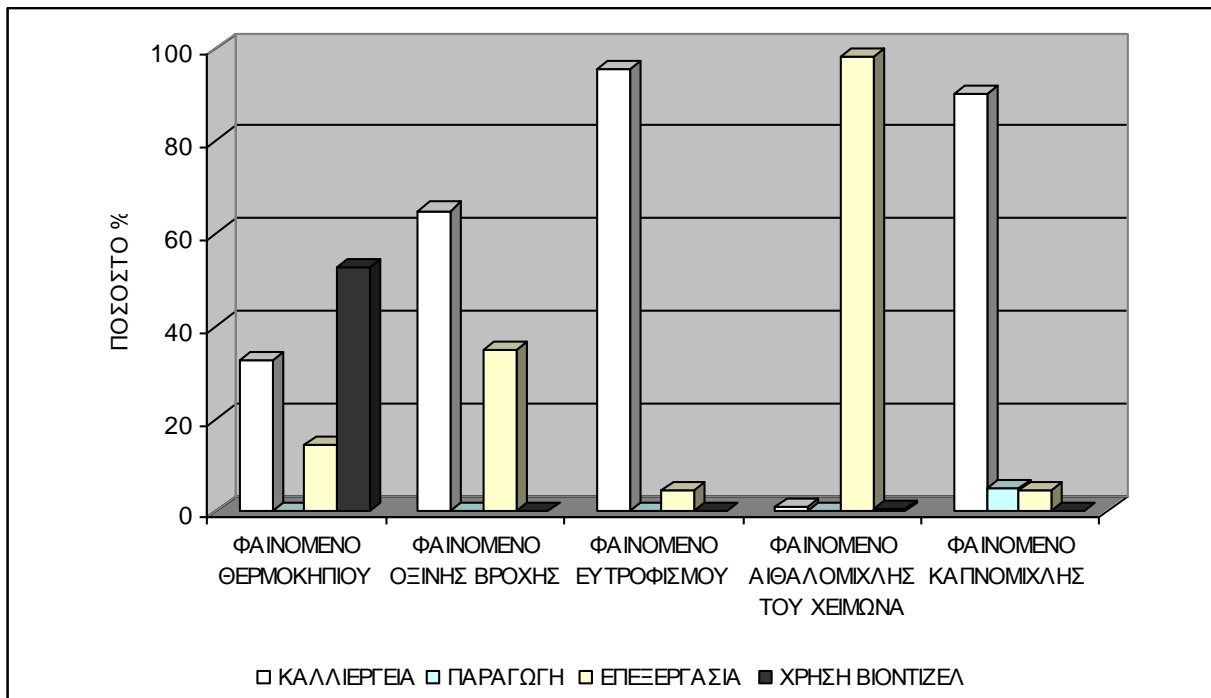
Πίνακας 8.3.4. Ισοδύναμες ποσότητες εκπομπών και αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Αναλυτικότερα, στο **Διάγραμμα 8.3.4.α** παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε σταδίου διεργασίας από την καλλιέργεια μέχρι και την τελική χρήση του biodiesel ενώ στο **Διάγραμμα 8.3.4.β.** παρουσιάζονται οι επιπτώσεις του συνόλου των διεργασιών στην κάθε κατηγορία επίπτωσης. Γίνεται αντιληπτό ότι:

- Οι ρύποι που εκπέμπονται κατά την παραγωγή ηλιέλαιου από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι εκπεμπόμενες ποσότητες υδρογονανθράκων από την ίδια την διεργασία, συμβάλλουν στο φαινόμενο της καπνομίχλης και της όξινης βροχής. Η παραγωγή NO_x από την διαχείριση του διαλύτη συμβάλλει στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Η τελική χρήση του βιοντίζελ παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό επιβάρυνσης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, με ποσοστό που αγγίζει σχεδόν το 100% .
- Οι εκπεμπόμενοι κατά το στάδιο επεξεργασίας ρύποι SO_2 από την κατανάλωση ενέργειας και την επεξεργασία της μεθανόλης συμβάλλουν στο φαινόμενο της όξινης βροχής, ενώ οι εκπομπές NO_x στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Στο φαινόμενο της αιθαλομίχλης επιδρά, σχεδόν αποκλειστικά, το στάδιο της επεξεργασίας του ηλιέλαιου, κυρίως λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας
- Οι ρύποι που εκπέμπονται κατά το στάδιο της καλλιέργειας του ηλίανθου συνεισφέρουν κατά κύριο λόγο στις κατηγορίες επιπτώσεων οξίνισης και ευτροφισμού, οι οποίες σχετίζονται με τις εκπεμπόμενες ποσότητες NH_3 από την κατανάλωση των λιπασμάτων.
- Οι εκπομπές υδρογονανθράκων από τη χρήση γεωργικών μηχανημάτων κατά το στάδιο της παραγωγής ηλιέλαιου έχουν επίπτωση στο φαινόμενο της καπνομίχλης.



Διάγραμμα 8.3.4.α. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις μετά την αξιολόγηση.



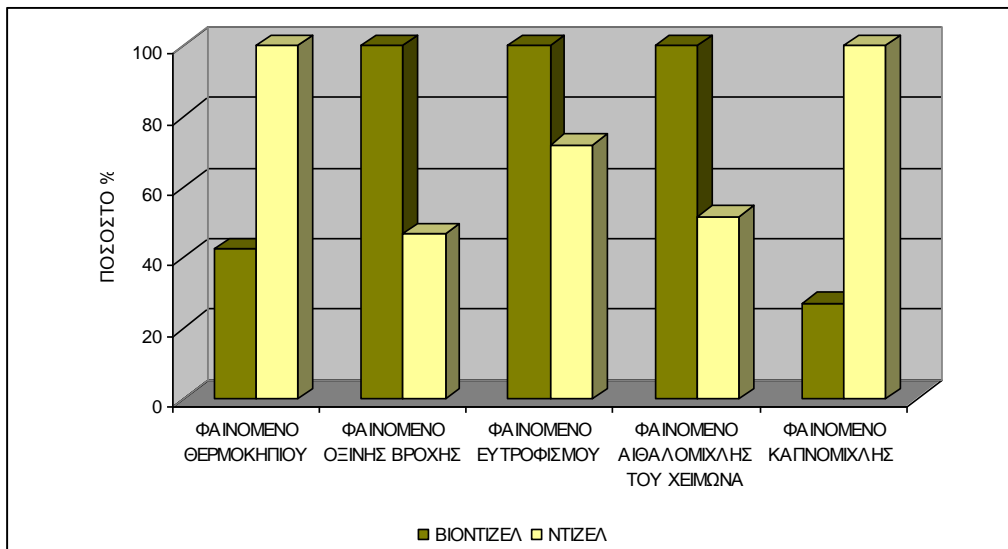
Διάγραμμα 8.3.4.β. Επίδραση των σταδίων παραγωγής στα εξεταζόμενα φαινόμενα

8.4. Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Βιοντίζελ – Ντίζελ

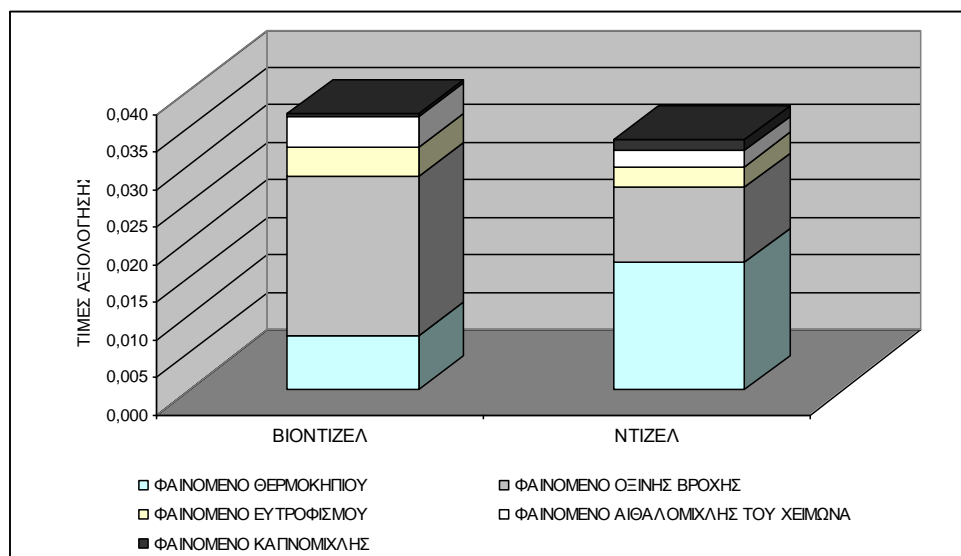
Στα **Διαγράμματα 8.4.α– 8.4.β** παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα της φάσης της αξιολόγησης της αποτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής συνολικά για τα ενεργειακά συστήματα του ντίζελ και του βιοντίζελ. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν ανά κατηγορία επιπτώσεων για κάθε σύστημα ξεχωριστά στις προηγούμενες παραγράφους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους μέσω του λογισμικού SimaPro 5.0 (οι τιμές αντιστοιχούν σε δείκτες περιβαλλοντικής αξιολόγησης/αποτίμησης με αδιάστατες μονάδες) παρουσιάζονται ανά κατηγορία επιπτώσεων και ανά κατηγορία ζημιάς για όλους τους ενεργειακούς πόρους υπό εξέταση. Στο **Διάγραμμα 8.4.α.** παρουσιάζεται η συνεισφορά από την εκπομπή ρύπων του κύκλου ζωής κάθε ενεργειακού πόρου στην κάθε κατηγορία επίπτωσης ενώ στο **Διάγραμμα 8.4.β.** παρουσιάζεται η συνεισφορά των κύκλων ζωής σαν δείκτης μονής τιμής (single score) στην κάθε κατηγορία επίπτωσης. Τα καύσιμα με το μεγαλύτερο ποσοστό επιβάρυνσης σε ένα περιβαλλοντικό φαινόμενο σημειώνονται στη μπάρα ως 100%. Συνεπώς:

- Οι ρύποι CO₂ που εκπέμπονται κατά τον κύκλο ζωής του βιοντίζελ συμβάλλουν λιγότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου συγκριτικά με τους ρύπους που εκπέμπονται κατά τον κύκλο ζωής του ντίζελ. Το παραπάνω αποδίδεται στο γεγονός ότι ο ηλίανθος απορροφά κατά την καλλιέργεια του μεγάλο μέρος του CO₂ που εκπέμπεται καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής.

- Οι ρύποι NO_x και NH₃ που εκπέμπονται κατά τον κύκλο ζωής του βιοντίζελ συμβάλλουν στα φαινόμενα της οξίνισης και ευτροφισμού περισσότερο σε σχέση με τους αντίστοιχους ρύπους κατά τον κύκλο ζωής του ντίζελ. Οι αυξημένες εκπομπές NO_x και NH₃ οφείλονται αφενός στην προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων κατά την καλλιέργεια, και αφετέρου στο υψηλό περιεχόμενο οξυγόνου στο καύσιμο κατά την χρήση.
- Οι ενεργειακές απαιτήσεις κατά το στάδιο μετατροπής του ηλιέλαιου σε βιοντίζελ, καθώς και οι απαιτούμενες ποσότητες μεθανόλης, αυξάνουν τις εκπομπές SO₂ και συμβάλλουν στο φαινόμενο οξίνισης και αιθαλομίχλης του χειμώνα.
- Το βιοντίζελ παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό επίδοσης σε σχέση με το συμβατικό ντίζελ στα φαινόμενα όξινης βροχής, ευτροφισμού και αιθαλομίχλης.



Διάγραμμα 8.4.α. Συγκριτική ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ντίζελ και βιοντίζελ.



Διάγραμμα 8.4.β. Αποτελέσματα αξιολόγησης

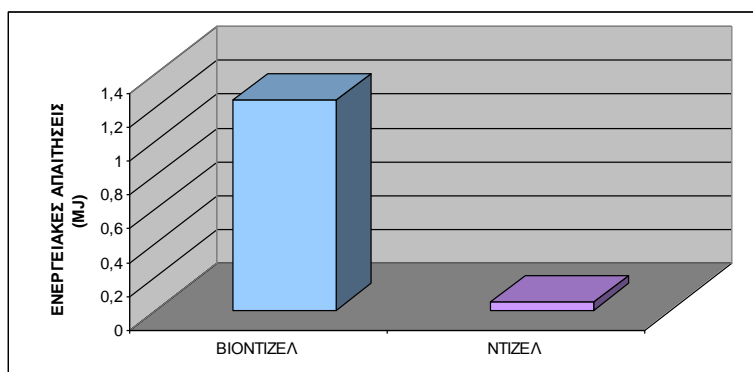
8.4.1. Ενεργειακή απόδοση

Η AKZ επιτρέπει τη ποσοτικοποίηση των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων και τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των ακολουθούμενων διεργασιών και προϊόντων. Η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της πρόσθετης ενέργειας που πρέπει να δαπανηθεί προκειμένου να μετατραπεί η ενέργεια των πρώτων υλών σε ωφέλιμο καύσιμο. Οι καταναλισκόμενες πηγές ενέργειας διαχωρίζονται σε : συνολική πρωτογενής ενέργεια, ενέργεια πρώτων υλών, ενέργεια κατά την διαδικασία παραγωγής, ορυκτές πηγές ενέργειας και ενέργεια καυσίμου προϊόντος.

Η **ενεργειακή απόδοση** ορίζεται είτε με την ενεργειακή απόδοση του συνολικού κύκλου ζωής, είτε από την αναλογία ενέργειας από ορυκτές πηγές. Η ενεργειακή απόδοση του κύκλου ζωής υπολογίζεται με τον λόγο της ενέργειας του καυσίμου προϊόντος προς την συνολική πρωτογενή ενέργεια. Ο λόγος αυτός εκτιμά το συνολικό ποσό ενέργειας που απορροφάται στον κύκλο του καυσίμου συγκριτικά με την περιεχόμενη ενέργεια στο καύσιμο και υπολογίζει τις απώλειες ενέργειας από τις πρώτες ύλες, καθώς και την πρόσθετη ενέργεια που απαιτείται για την παρασκευή του καυσίμου. Η αναλογία ενέργειας από ορυκτές πηγές αποτελεί μέτρο της ανανεωσιμότητας του καυσίμου. Υπολογίζεται από τον λόγο της ενέργειας του τελικού προϊόντος προς την προερχόμενη από ορυκτές πηγές ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του καυσίμου.

Ενεργειακές απαιτήσεις κύκλου ζωής βιοντίζελ και πετρελαίου ντίζελ

Υπολογίζεται ότι 0.05 MJ πρωτογενούς ενέργειας χρησιμοποιείται για την παραγωγή 1 MJ καυσίμου ντίζελ [37], ενώ για την παραγωγή ενός MJ από βιοντίζελ απαιτούνται 1.2414 MJ πρωτογενούς ενέργειας (Διάγραμμα 8.4.1). Σχεδόν το 50% των απαιτήσεων ενέργειας καταναλώνεται κατά την διύλιση για παραγωγή ντίζελ, ενώ σχεδόν ισοδύναμες είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις κατά την εξόρυξη και τις διεργασίες μεταφοράς. Ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης του βιοντίζελ είναι 0.8055. Η μεγαλύτερη συμβολή στην πρωτογενή ενέργεια (87%) προέρχεται από το στάδιο μετατροπής του ηλιέλαιου, διότι εκεί περιλαμβάνεται η ενέργεια της πρώτης ύλης που συνδέεται με το ηλιέλαιο



Διάγραμμα 8.4.1. Συνολική κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή βιοντίζελ και ντίζελ.

Τα στάδια του κύκλου ζωής που επιβαρύνονται με την ενέργεια των πρώτων υλών ξεπερνούν τα υπόλοιπα. Εάν η ενέργεια του ηλιέλαιου περιληφθεί στην γεωργία, η καλλιέργεια του ηλιάνθου θα ήταν ο κυρίαρχος καταναλωτής της πρωτογενούς ενέργειας. Το ενεργειακό ισοζύγιο διαμορφώνεται αναλόγως των μεθόδων που ακολουθούνται σε κάθε βήμα. Όσον αφορά τα γεωργικά καύσιμα, που αντιστοιχούν σε 10% της συνολικής ενεργειακής αξίας του βιοντίζελ, βελτιώσεις και μειώσεις σε αυτήν την κατηγορία μπορούν να επιτευχθούν με αλλαγή του τρόπου άρωσης και καλλιέργειας. Τα λιπάσματα αντιστοιχούν σε ένα υψηλότερο ποσοστό, ανάμεσα σε 15 και 20% της ενεργειακής αξίας του βιοντίζελ. Σύγχρονες τεχνολογίες καλλιέργειας και επεξεργασίας μπορούν να επιφέρουν χαμηλότερο ενεργειακό ισοδύναμο. Το στάδιο της επεξεργασίας αντιστοιχεί στο 32% της ενεργειακής αξίας του βιοντίζελ. Αντίστοιχα στην θέση αυτή θα ήταν η φάση εξόρυξης του ορυκτού πετρελαίου. Οι επόμενες μεγαλύτερες απαιτήσεις εμφανίζονται στο στάδιο της σύνθλιψης και της μετατροπής. Αντιστοιχούν στο 13% των συνολικών απαιτήσεων. Επειδή το 90% των απαιτήσεων της πρώτης ύλης είναι ανανεώσιμη, η αναλογία του βιοντίζελ σε ορυκτά καύσιμα είναι ευνοϊκή. Για την παραγωγή 1MJ ενέργειας από βιοντίζε χρησιμοποιούνται 0.3110 MJ ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, με ισοδύναμο λόγο ενέργειας από ορυκτές πηγές 3.215. Ο κύκλος ζωής του βιοντίζελ, δηλαδή, παράγει καύσιμο με ενέργεια τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτήν που καταναλώθηκε από ορυκτές πηγές, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας αντιστοιχεί στην φάση της μετατροπής εξαιτίας της χρήσης μεθανόλης.

Σε ότι αφορά τις εκπομπές CO₂ σημειώνεται πως τα καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία βιομάζας συμβάλλουν στην γρήγορη ανακύκλωση του άνθρακα μέσω των εκπομπών των κινητήρων και των εκμεταλλευόμενων καλλιεργειών. Η κύρια πηγή CO₂ για τον κύκλο ζωής τόσο του πετρελαίου ντίζελ όσο και του βιοντίζελ είναι η καύση του κινητήρα. Για το πετρέλαιο ντίζελ, οι εκπομπές της καύσης αντιπροσωπεύουν το 86.54% του CO₂ που απελευθερώνεται στο σύνολο του κύκλου ζωής του, ενώ 9.6% του συνολικού CO₂ εκπέμπεται στην φάση της διύλισης. Αντίστοιχα οι εκπομπές CO₂ κατά την καύση αντιπροσωπεύουν περίπου το 89% για το βιοντίζελ, ενώ το υπόλοιπο διοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από την φάση της καλλιέργειας, της σύνθλιψης και της μετατροπής του ηλιελαίου σε βιοντίζελ.

Τέλος σε ότι αφορά τη παραγωγή λυμάτων κατά την εξόρυξη του αργού πετρελαίου σημειώνεται πως το 78% της συνολικής ροής υδάτων που απαιτούνται στον κύκλο ζωής του ντίζελ δαπανάται, ενώ μόνο το 12% σχετίζεται με την διύλιση. Τα δύο τρίτα της συνολικής ποσότητας ύδατος στον κύκλο ζωής του βιοντίζελ προέρχονται από την διεργασία μετατροπής του ηλιελαίου σε βιοντίζελ. Συνολικά η παραγωγή του πετρελαίου ντίζελ απαιτεί πέντε φορές μεγαλύτερη ποσότητα νερού από αυτήν του βιοντίζελ.

8.5. Συγκριτική AKZ Ντίζελ- Βενζίνης – Βιοντίζελ

Με βάση τη μεθοδολογία AKZ που παρουσιάστηκε στο **κεφάλαιο 7**, τις παραδοχές που γίνονται και που παρατίθενται στη **παράγραφο 8.2** καθώς και με την αναλυτική παρουσίαση εφαρμογής της μεθοδολογίας της AKZ στα καύσιμα, στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται συγκριτική ανάλυση καυσίμων με εφαρμογή της AKZ για τρεις τύπους καυσίμων. Οι ενεργειακοί πόροι που εξετάζονται είναι τα ορυκτά/ συμβατικά καύσιμα (βενζίνη και ντίζελ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο) και το βιοντίζελ που παράγεται από ελαιοκράμβη.

Σχεδόν το σύνολο του πετρελαίου που καταναλώνεται στην Ευρώπη είναι εισαγόμενα και θεωρείται ότι μεταφέρονται με αγωγούς ή δεξανομενόπλοια. Το βιοντίζελ αποτελεί υποκατάστατο του ντίζελ και παράγεται, επίσης, από πλήθος πρώτων υλών. Οι διεργασίες παραγωγής τους έχουν εξεταστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το βιοντίζελ στην παρούσα μελέτη περίπτωσης AKZ θεωρείται πως παράγεται από μετεστεροποίηση ελαιοκράμβης [Van Gerpen 2005] σύμφωνα με τις διεργασίες του **Διαγράμματος 8.3.α**. Η Ελλάδα είναι και σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης όπως και στην προηγούμενη η γεωγραφική μονάδα αναφοράς για την AKZ των τριών τύπων καυσίμων.

Τα ισοζύγια ενέργειας και εκπομπών εξαρτώνται από την τεχνολογία των μονάδων παραγωγής και από τον τρόπο εκμετάλλευσης των παραπροϊόντων. Στην ανάλυση που ακολουθεί λαμβάνονται υπόψη τα στάδια εξαγωγής των πρώτων υλών καθώς και της καύσης των καυσίμων στα οχήματα. Αναλυτικότερα για την AKZ του βιοντίζελ λαμβάνονται υπόψη τα στάδια της παραγωγής και

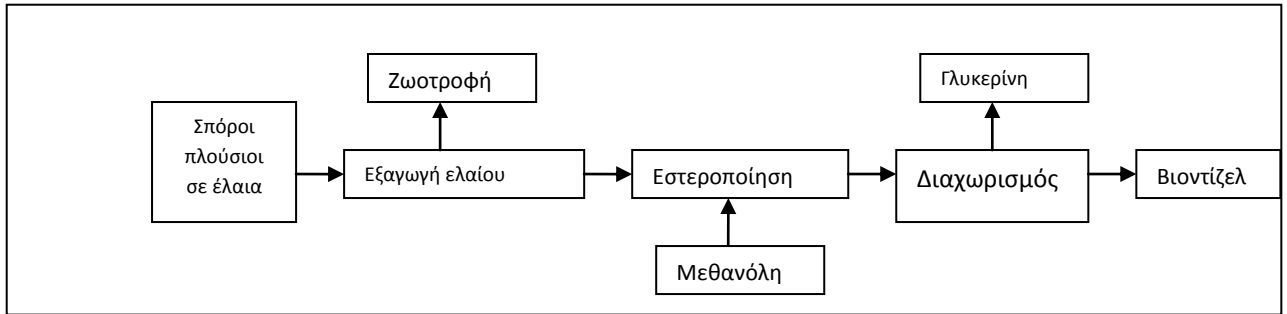
μεταφοράς των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων, οι γεωργικές εργασίες και η μεταφορά στις μονάδες. Σημειώνεται πως τα όρια του συστήματος δεν λαμβάνουν υπόψη τη διανομή των καυσίμων στους σταθμούς ανεφοδιασμού καθώς η μέση απόσταση και τα μέσα μεταφοράς αυτών θεωρούνται ότι είναι τα ίδια για όλα τα καύσιμα.

Για όσες εκπομπές δεν μπόρεσε να βρεθεί ακριβής τιμή έγινε αναγωγή τιμών από μελέτες που δίνουν την ποσοστιαία αύξηση ή μείωση της εκπομπής. Υπάρχουν διαφορές τόσο στην απαιτούμενη ενέργεια όσο και στις εκπομπές ρύπων μεταξύ των αμερικανικών και ευρωπαϊκών μελετών, γεγονός που οφείλεται στον διαφορετικό τρόπο προμήθειας των πρώτων υλών και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή των καυσίμων. Ωστόσο, τα περισσότερα στοιχεία είναι παρόμοια, δίνοντας σαφώς μια τάξη μεγέθους για τα ζητήματα που εξετάζονται. Καταγράφεται η εκπομπή ρύπων ολόκληρου του κύκλου ζωής για κάθε ενεργειακό πόρο που χρησιμοποιείται σε οχήματα, γίνεται υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου και στη συνέχεια ακολουθεί η αποτίμηση/αξιολόγηση των επιπτώσεων με την εφαρμογή της μεθόδου **Eco-indicator 99 – ιεραρχική μέθοδος (hierarchist)** μέσω του λογισμικού SimaPro 5.0 [PRé, 2000; PRé, 2001a; PRé, 2001b].

Η λειτουργική μονάδα η οποία χρησιμοποιείται στην υπό εξέταση μελέτη περίπτωσης και πάνω στην οποία βασίζονται όλοι οι υπολογισμοί είναι τα 100 χιλιόμετρα διανυθείσας απόστασης, από ένα τυπικό ευρωπαϊκό 5-θέσιο sedan, όπως για παράδειγμα το VW Golf.

8.5.1. Κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής

Το βιοντίζελ στη παρούσα μελέτη περίπτωσης θεωρείται ότι είναι μεθυλεστέρας ελαιοκράμβης (rapeseed methyl ester -RME), ο οποίος παράγεται από την μετεστεροποίηση ελαιοκράμβης [Van Gerpen, 2005]. Τα στάδια παραγωγής βιοντίζελ περιλαμβάνουν την καλλιέργεια του φυτού (ελαιοκράμβη), την ξήρανση, την παραγωγή και τη χρήση του καυσίμου (**Διάγραμμα 8.5.1**). Σε κάθε στάδιο πραγματοποιείται ανάλυση των εκπεμπόμενων ρύπων καθώς επίσης και της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για την εκτέλεση των διεργασιών. Μετά την ανάπτυξη και συγκομιδή των φυτών οι καρποί συλλέγονται, ξηραίνονται και στη συνέχεια εξάγεται το έλαιο, ακολουθούμενο από εκχύλιση οργανικού διαλύτη (εξάνιο), ο οποίος διαχωρίζεται και ανακυκλώνεται ενώ μια μικρή ποσότητα χάνεται (αέριες εκπομπές). Η μετεστεροποίηση του ελαίου παράγει μεθυλεστέρες (βιοντίζελ) και γλυκερίνη, η οποία καθαρίζεται και στη συνέχεια χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία.



Διάγραμμα 8.3.3.α. Στάδια παραγωγής βιοντίζελ από ελαιοκράμβη

Η παραγωγή των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων, οι εδαφικές εκπομπές υποξειδίου του αζώτου (N₂O), η ενεργειακή κατανάλωση καθώς και οι εκπομπές των τρακτέρ που προέρχονται από τη λίπανση, όργωμα, σπορά, συγκομιδή, και τις μεταφορές, καθώς και η αξιοποίηση των παραπροϊόντων λαμβάνονται υπόψη. Τα παραπάνω δεδομένα συνοψίζονται στον **Πίνακα 8.5.1.α**, [Ministry of Development 2004, Meet 1997, Jossart et al 2005]. Όλα τα στάδια της μεταφοράς λαμβάνονται υπόψη. Ο **Πίνακας 8.5.1.β**. παρουσιάζει τις ενεργειακές και χημικές απαιτήσεις των διεργασιών ξήρανσης, εξαγωγής, επεξεργασίας και εστεροποίησης της ελαιοκράμβης [Jossart et al, 2005]. Σε ότι αφορά τη τελική χρήση σημειώνεται πως οι υπολογισμοί για τις εκπομπές καυσαερίων και τις καταναλώσεις καυσίμων των οχημάτων υπολογίστηκαν με βάση αυτές των ορυκτών καυσίμων.

	Ελαιοκράμβη (kg/ha)
Καταναλωθείσα ενέργεια (MJ/kg)	110,3
N λίπασμα	144
K ₂ O	74
P ₂ O ₅	74
Pesticides	2.2
Παραγόμενη ελαιοκράμβη	1300

Πίνακας 8.5.1.α. Ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή ελαιοκράμβης [Ministry of Development 2004; Meet 1997, Jossart et al 1997]

	Ατμός (MJ/ t RME)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh/t RME)	Χημικά (kg/t RME)	Παραπροϊόντα (kg/t RME)
Ξήρανση	812	33	-	-
Εξαγωγή	2317	106	Εξάνιο:2.7	Meal: 1582
Διύλιση	162	11	-	-
Εστεροποίηση	947	37	Μεθανόλη: 109	Γλυκερίνη: 100

Πίνακας 8.5.1.β. Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας για την παραγωγή βιοντίζελ [Jossart et al, 2005]

Υποτίθεται ότι η βελτίωση της απόδοσης των κινητήρων (σε MJ / km) και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (g / km) - με την εξαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα να είναι το ίδιο για το βιοντίζελ και τα ορυκτά καύσιμα [Joint Research Center 2006, IFEU 2004]. Σύμφωνα με την EPA [EPA, 2002], η χρήση του βιοντίζελ οδηγεί σε μείωση των εκπομπών σωματιδίων (47%) και VOC (67%), αλλά επίσης και σε μια αύξηση των εκπομπών NO_x (10%). Με βάση τα παραπάνω στοιχεία και τις εκπομπές των ορυκτών καυσίμων, οι εκπομπές για ένα μεσαίου μεγέθους αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί βιοντίζελ υπολογίζονται στον **Πίνακα 8.5.γ.**

Τα αέρια του θερμοκηπίου καθώς και οι καταναλώσεις των καυσίμων προέρχονται βιβλιογραφικές πηγές [Joint Research Center 2006; IFEU 2004]. Ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων NO_x, VOC και σωματιδίων βασίζονται στα ετήσια αποτελέσματα που βασίζονται σε πραγματικά τεστ που πραγματοποιήθηκαν από την US Environmental Protection Agency. [EPA 2005]. Ο **Πίνακας 8.5.γ.** συνοψίζει τις εκπομπές εξάτμισης και τις καταναλώσεις καυσίμων των οχημάτων που κινούνται με ορυκτά καύσιμα (βενζίνη και ντίζελ).

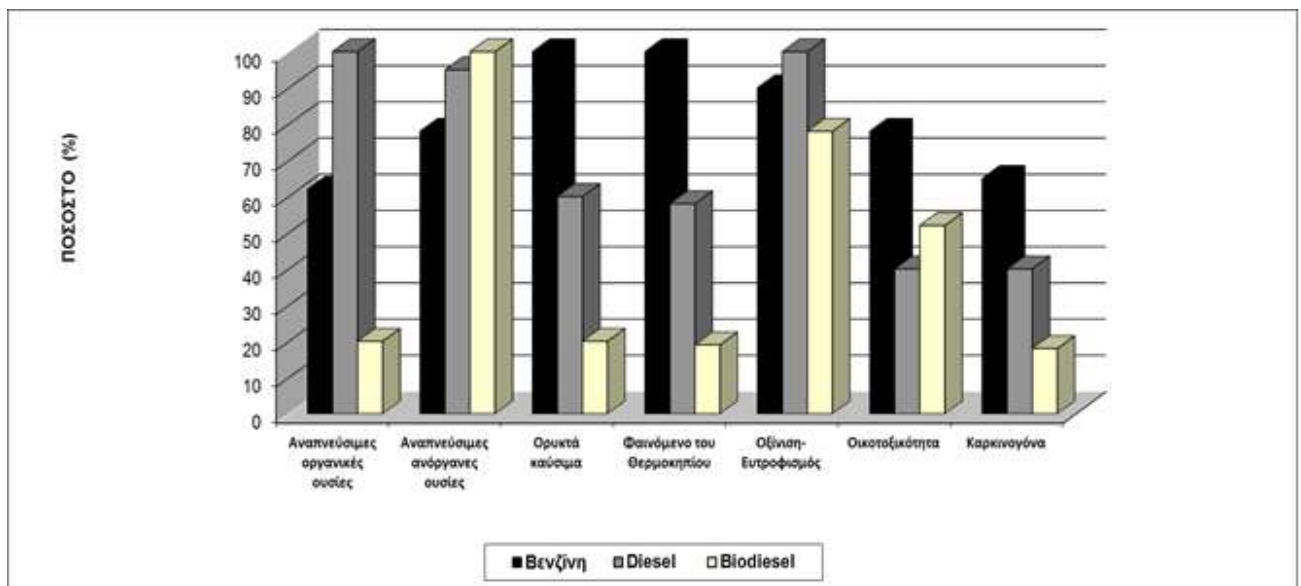
	<i>Μονάδα μέτρησης</i>	<i>Βενζίνη</i>	<i>Diesel</i>	<i>Biodiesel</i>
Κατανάλωση	(MJ/100KM)	223,5	183,1	183,1
CO ₂ -fossil	(kg/100km)	16,6	13,4	0,74
CH ₄	(mg/100km)	2,4	7,6	7,6
N ₂ O	(mg/100km)	0,129	0,0645	0,0645
NO _x	(mg/100km)	10,2	25,6	28,2
Particulates	(mg/100km)	0,5	3,56	1,89
NM VOC	(mg/100km)	2,53	9,59	3,17

Πίνακας 8.5.γ. Ενεργειακή κατανάλωση και εκπομπές εξάτμισης [US EPA 2002 ; 2005]

8.5.2. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Ντίζελ, Βενζίνης και Βιοντίζελ

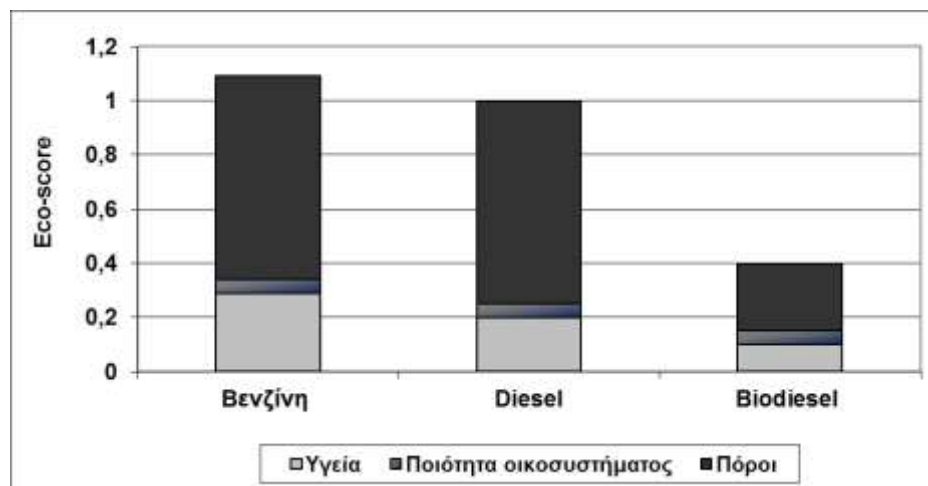
Στο **Διάγραμμα 8.5.2.α** παρουσιάζεται η συνεισφορά από την εκπομπή ρύπων του κύκλου ζωής κάθε ενεργειακού πόρου στην κάθε κατηγορία επίπτωσης. Τα αποτελέσματα της συγκριτικής περιβαλλοντικής ανάλυσης που αφορούν την ενεργειακή χρήση των ορυκτών καυσίμων καθώς και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε όλο τον κύκλο ζωής δείχνουν τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση του βιοντίζελ από ελαιοκράμβη. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τις αέριες εκπομπές και τη χρήση των ορυκτών καυσίμων παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 8.5.2.α.** όπου τα περιβαλλοντικά προφίλ για τους τρεις τύπους καυσίμων συγκρίνονται για τις διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στη παρούσα μελέτη. Τα καύσιμα με το μεγαλύτερο ποσοστό επιβάρυνσης σε ένα περιβαλλοντικό φαινόμενο σημειώνονται στη μπάρα ως 100%. Η χρήση του βιοντίζελ έναντι του ντίζελ κίνησης παρουσιάζει όχι μόνο περιβαλλοντικά οφέλη αλλά και μειονεκτήματα.

Αναλυτικότερα η χρήση του βιοντίζελ είναι ωφέλιμη όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, παρόλα αυτά είναι επιζήμια στις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως η οξίνιση, οι αναπνεύσιμες ανόργανες ενώσεις και η οικοτοξικότητα (Διάγραμμα 8.5.2.α). Η καλύτερη περιβαλλοντική επίδοση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι η ελαιοκράμβη αφομοιώνει CO₂ κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της. Εκτιμάται ότι κάθε τόνος συμβατικού ντίζελ προσθέτει περίπου 2,8 εκ. τόνους CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η ειδική περιεκτικότητα σε άνθρακα από ένα τόνο βιοντίζελ είναι ελαφρώς χαμηλότερη, ανέρχεται περίπου σε 2,4 τόνους CO₂. Σε ότι αφορά την κατηγορία των αναπνεύσιμων ανόργανων ενώσεων παρατηρείται πως η χρήση του βιοντίζελ έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες αποδίδονται κυρίως στην αύξηση των εκπομπών καυσαερίων NO_x του οχήματος. Είναι εμφανές ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής του βιοντίζελ από ελαιοκράμβη είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες της βενζίνης και του ντίζελ, οι οποίες αποδίδονται στη μείωση των εκπομπών CO₂.



Διάγραμμα 8.5.2.α. Συγκριτική ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ντίζελ- βενζίνης - βιοντίζελ

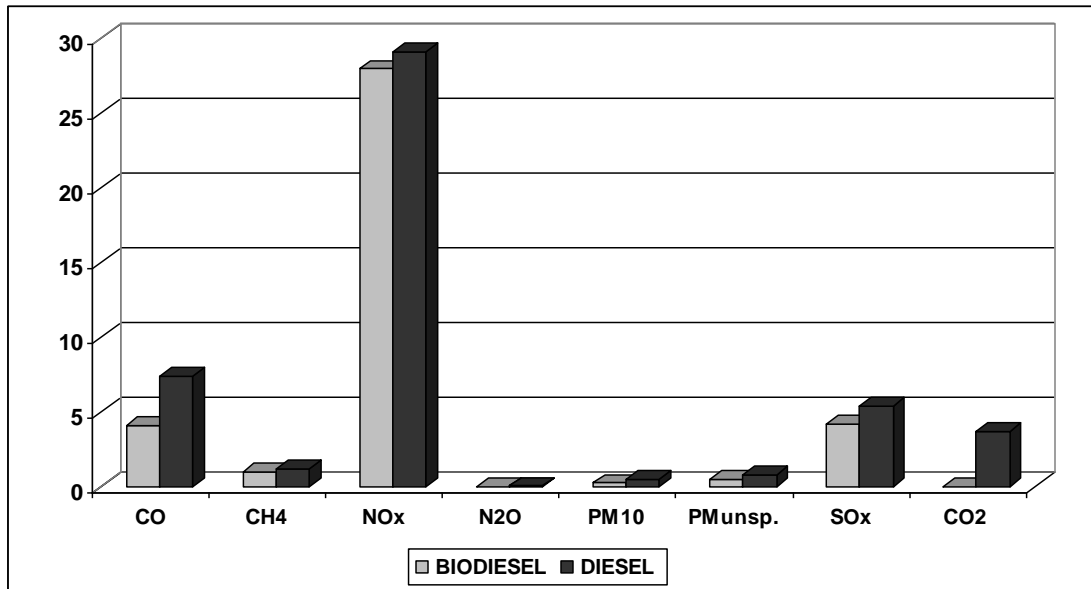
Τα αποτελέσματα των παγκόσμιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων μετά τη στάθμιση ανά κατηγορία ζημιάς παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 8.5.2.β, όπου τα πλεονεκτήματα κατά την AKZ του βιοντίζελ σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα του ντίζελ και της βενζίνης είναι εμφανή σε όλες τις κατηγορίες ζημιών. Οι συμβατικοί ενεργειακοί πόροι έχουν μεγαλύτερη συνεισφορά στην κατηγορία ζημιάς «πόροι» καθώς και στην «υγεία». Η βενζίνη παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ενώ ακολουθεί το ντίζελ. Παρόλα χρειάζεται προσοχή στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων εξαιτίας της υποκειμενικής φύσης αυτών.



Διάγραμμα 8.5.2.β. Περιβαλλοντικό σκορ στις κατηγορίες ζημιών

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός πως το βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης (diesel), οι οποίες είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν με ντίζελ γίνεται εμφανές πως το βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις υπάρχουσες μηχανές είτε αυτούσιο (B100) είτε σε οποιαδήποτε άλλο ποσοστό ανάμειξης με το συμβατικό ντίζελ (B20, B30, κλπ). Επιπρόσθετα η χρήση ντίζελ χαρακτηρίζεται από σημαντική αύξηση όλων των αέριων εκπομπών σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από τη χρήση βιοντίζελ (Διάγραμμα 8.5.2.γ).

Η διείσδυση βιοντίζελ μπορεί να προωθηθεί μέσα από τους στόλους οχημάτων μέσω μαζικής μεταφοράς (λεωφορεία, ταξί, δημοτική συγκοινωνία κλπ). Παρόλα αυτά τέτοιου είδους δραστηριότητες στην Ελλάδα είναι σε πιλοτικό στάδιο. Στο επόμενο κεφάλαιο θα διερευνηθεί η δυνατότητα διείσδυσης εναλλακτικών καυσίμων στην Ελλάδα. Η χρήση βιοντίζελ στον στόλο οχημάτων της Αθήνας ή σε στόλους άλλων αστικών περιοχών σε συνδυασμό με την αποδοχή της χρήσης του από το κοινό αποτελεί πρόκληση για τα μελλοντικά αστικά συστήματα μεταφορών, τα οποία καλούνται να ικανοποιήσουν την ανάγκη προσβασιμότητας του κοινού στα μέσα μαζικής μεταφοράς και παράλληλα να ελαχιστοποιήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα μέσα μαζικής μεταφοράς καθώς οι αποφάσεις που λαμβάνονται επηρεάζουν καθημερινώς τις ζωές χιλιάδων ανθρώπων ενώ παράλληλα τα επενδυτικά και επιχειρησιακά κόστη των σύνθετων συστημάτων ανέρχονται σε εκατομμύρια ευρώ. Επίσης επηρεάζουν άμεσα το οικονομικό δυναμικό και την ποιότητα περιβάλλοντος των αστικών περιοχών.



Διάγραμμα 8.5.2.γ. Αέριες εκπομπές βιοντίζελ και ντίζελ εκφρασμένες σε gr/kg [Sheenan et al, 1998]

8.6. Συμπεράσματα

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση βιοντίζελ (είτε αυτό παράγεται από ηλίανθο είτε από ελαικράμβη) εξαρτώνται από διαφορετικούς παράγοντες. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των βιοκαυσίμων, οι διαφορετικές διαδικασίες παραγωγής καθώς και η τελική χρήση αυτών καθορίζουν την περιβαλλοντική ισορροπία από τη χρήση αυτών. Η εφοδιαστική αλυσίδα των βιοκαυσίμων ακολουθεί την τυπική προσέγγιση της παραγωγής βιομάζας, επεξεργασίας των βιοκαυσίμων, διανομής και κατανάλωσης αυτών. Αρκετοί κλιματολογικοί παράγοντες (τύπος εδάφους, καιρός, κλπ) επιδρούν σημαντικά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον κύκλο ζωής των βιοκαυσίμων. Επιπρόσθετα άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι η παραγωγή ή μη παραπροϊόντων, η χρήση γής κατά το παρελθόν, οι τεχνολογικές διεργασίες που ακολουθούνται καθώς και η σχετική χρήση του τελικού καυσίμου (είτε αυτούσιου είτε σε διάφορα ποσοστά πρόσμειξης με ντίζελ.).

Σε ότι αφορά τα συμβατικά καύσιμα, η χρήση ντίζελ και βενζίνης είναι επιβλαβής για το περιβάλλον, καθώς είναι οι κύριοι συντελεστές σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων και ζημιάς. Αντίθετα, πολύ «καθαρότερο» συμβατικό καύσιμο είναι το βιοντίζελ και στις δύο περιπτώσεις μελέτης AKZ. Η βενζίνη και το ντίζελ είναι οι ενεργειακοί πόροι με τη χειρότερη συνολική περιβαλλοντική απόδοση. Πέρα από τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που αναλύθηκαν ξεχωριστά στις προηγούμενες παραγράφους όσον αφορά στη συνεισφορά του κάθε κύκλου ζωής στις κατηγορίες επιπτώσεων και ζημιάς και αντίστροφα, σημειώνεται ότι το μέγεθος των περιβαλλοντικών δεικτών των ενεργειακών πόρων που λαμβάνονται από τις δύο μελέτες AKZ είναι σχεδόν το ίδιο. Τα

αποτελέσματα και των δύο μελετών καταλήγουν στα ίδια βασικά συμπεράσματα. Ότι δηλαδή η χρήση συμβατικών καυσίμων στα οχήματα επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον και ότι από τα δυο συμβατικά καύσιμα που εξετάζονται τη χειρότερη σχέση με το περιβάλλον την έχει η βενζίνη, και μετά το ντίζελ. Η AKZ του βιοντίζελ από ηλιάνθο παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό περιβαλλοντικής επιβάρυνσης σε σχέση με το συμβατικό ντίζελ στα φαινόμενα όξινης βροχής, ευτροφισμού και αιθαλομίχλης, ενώ η AKZ του βιοντίζελ από ελαιοκράμβη παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό περιβαλλοντικής επιβάρυνσης σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα (ντίζελ και βενζίνη) στα φαινόμενα όξινης βροχής, ευτροφισμού και αναπνεύσιμων ανόργανων ουσιών.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για το στρατηγικό σχεδιασμό καθώς και για την αναγνώριση καίριων σημείων ενδιαφέροντος που αφορούν την επιπρόσθετη τεχνολογική έρευνα και ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών. Η εφαρμογή της μεθόδου AKZ στα βιοκαύσιμα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο, το οποίο προσφέρει ελαστικότητα στη παραμετροποίηση του συστήματος καθώς και ολοκληρωμένη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και γενικότερα των επιδόσεων τους. Επιπρόσθετα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο στη διαδικασία του στρατηγικού και ολοκληρωμένου σχεδιασμού μεταφορών καθώς λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικούς, τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Είναι εμφανές πως η εφαρμογή της μεθοδολογίας της AKZ μπορεί να οδηγήσει σε μια αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο οι εμπλεκόμενοι φορείς λαμβάνουν στρατηγικές και επιχειρησιακές αποφάσεις, επιτρέποντας τους να αναγνωρίζουν με μεγαλύτερη ευκολία ευκαιρίες βελτιστοποίησης του συστήματος.

8.7. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 8

1. Argonne National Laboratory, 2006, *Emission factors for fuel combustion*.
2. Barrios R., Siebel M., van der Helm A., Bosklopper K., and Gijzen H., 2006. *Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet*. Journal of Cleaner Production, In Press, Corrected Proof, Available online 17 October 2006.
3. Berkhout F., and Howes R., (1997). The adoption of life-cycle approaches by industry: patterns and impacts. Resources, Conservation and Recycling, 20, 71-94.
4. Brinkman N, M. Wang, T. Weber, T. Darlington, «*Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems — A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions and Criteria Pollutant Emissions*», General Motors Corporation, Argonne National Laboratory, Air Improvement Resource, Inc, 2005
5. Carpentieri M., Corti A., and Lombardi L., 2005. *Life cycle assessment (LCA) of an integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC) with CO₂ removal*. Energy Conversion and Management, Volume 46, Issues 11-12, Pages 1790-1808.
6. Ceuterick D., Spirinckx, (1997). Comparative LCA of biodiesel and fossil diesel fuel, VITO-report (1997/PPE/R/026).
7. Chiu C.H., Hsua T.H., and Yanga W.F., 2007. *Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements*. Resources, Conservation and Recycling, Article in Press, Corrected Proof.
8. Coulon, R., Camobreco, V., Sheenan J. and Duffield J., (1996). "Life cycle assessment of biodiesel versus petroleum biodiesel fuel", Abstract Book of SETAC 17 Annual Meeting 'Partnerships for the Environment: Science, Education and Policy', published by Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC, Washington, D.C.), November 17e21..
9. De Calvedo Macedo I., Lima Verde Leal R.R., Azevedo Ramos de Silva J.E. , (2004), "Assesment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil", Governement of the State of Sao Paulo.
10. De Nocker, L., Spirinckx, C., Torfs, R., 1998. Comparison of LCA and external ecost analysis for biodiesel and diesel. VITO, available at. www.novem.nl
11. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory -NREL (1998). «An overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles», U.S.
12. Ecobilan (2002) : Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production des biocarburants en France. Ademe, Direm.
13. Emmenegger, M.F., Stucki, M., Hermle, S., (2012). LCA of energetic biomass utilization: actual projects and newdevelopments—April 23, 2012, Berne, Switzerland. Int J Life Cycle Assess.
14. Goedkoop M., Hofstetter P., Müller-Wenk R., and Spriensma R., 1998. The Eco-Indicator 98 Explained. In: International Journal of LCA, Volume 3, Issue 6, Pages 352-360
15. Gover, M.P., Collings, S.A., Hitchcock, G.S., Moon, D.P., Wilkins, G.T., 1996. r92. Alternative Road Transport Fuels- A preliminary Life-cycle Study for the UK, vol. 1. ETSU, Strategic Studies Department.
16. Hauschild M., 2000, *Estimating pesticide emissions for LCA of agricultural products.*», *Agricultural data for life cycle assessments.*, The Hague, The Netherlands: Agricultural Economics Research Institute (LEI), [chapter 22].

17. Hellenic Department Ministry of Development, 2004: “1st National Report, regarding the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport in Greece for the period 2005-2010”
18. 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.
19. <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>
<http://www.ufop.de>
20. Institute for Energy and Environmental Research (IFEU), 2004: CO₂ mitigation through biofuels in the transport sector, Heidelberg, Germany.
21. ISO 14040 (1997), Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework, International Organization for Standardization, Geneva.
22. ISO 14041, (1998), Environmental Management- Life Cycle Assessment- Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Organization for Standardization, Geneva.
23. ISO 14042, (2000a), Environmental Management- Life Cycle Assessment- Life Cycle Impact Assessment, International Organization for Standardization, Geneva.
24. ISO 14043, (2000b), Environmental Management- Life Cycle Assessment- Life Cycle Interpretation, International Organization for Standardization, Geneva.
25. J. Winebrake, Dongquan He, M. Wang (2000). «Fuel-cycle Emissions for Conventional and Alternative Fuel Vehicles: An Assessment of Air Toxics», Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory.
26. Joint Research Center, Concawe – Eucar, version 2b, May 2006: Well to wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context
27. Joint Research Center, Concawe – Eucar, version 2b, May 2006: Well to wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context
28. Jossart J., Nijskens P., Remacle M, 2005, *Les biocarburants en Wallonie*, second edition, ValBiom, UCL.
29. Jungbluth N., and Frischknecht R., 2000. Eco-indicator 99 - Implementation: Assignment of Damage Factors to the Swiss LCI database "Ökoinventare von Energiesystemen". ESU-services, Uster, retrieved from: www.esuservices.ch
30. Kaltschmitt, M., Reinhardt, G.A., 1997. *Nachwachsende Energieträger: Grundlagen, Verfahren, Ökologische Bilanzierung* Ifeu. Institute for Energy and Environmental Research, Vieweg Verlag.
31. Kyriakis N., Tsilingiridis G., and Martinopoulos G., 2004. *Life cycle environmental impact of a thermosyphonic domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating*. Renewable Energy, Volume 29, Issue 8, Pages 1277-1288.
32. Lapuerta M., Armas O., Rodriguez-Fernandez J. 2008, *Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions*, Progress in Energy and Combustion Science 34, 198–223.
33. Lechon Y., Cabal H., Lago C., de la Rúa C., Saez R., Fernández M., 2006, Comparative life-cycle analysis of ethanol from cereals and gasoline. Results (in Spanish) Internal Report CIEMAT.
34. Lee J., Cho H.J., Choi B., Sung J., Lee S., and Shin M., 2000. *Life Cycle Assessment of Tractors*. International Journal of LCA, Volume 5, Issue 4, Pages 205-208.
35. Lee K.M., and Park P.J., 2005. *Estimation of the environmental credit for the recycling of granulated blast furnace slag based on LCA*. Resources, Conservation and Recycling, Volume 44, Issue 2, Pages 139-151.
36. 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

37. MEET Project: Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport, 1997, "Fuel and Energy Production Emission Factors", Lewis, C.A. Task No. 3.4, Deliverable No.20, Contract No. ST-96-SC.204.
38. Ortiz M., Raluy R.G., and Serra L., 2007. *Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town*. Desalination, Volume 204, Issues 1-3, Pages 121-131
39. 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.
40. PRé Consultants, (2000). The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers, Second edition, <http://www.pre.nl>
41. PRé Consultants, (2001a). The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Annex, Third edition, <http://www.pre.nl>
42. PRé Consultants, (2001b). The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report, Third edition, <http://www.pre.nl>.
43. Pre: Simapro 5.0. Pre Consultants B.V. Plotterweg 12, 3821 BB Amersfoort, The Netherlands.
44. Raluy R.G., Serra L., and Uche J., 2006. *Life cycle assessment of MSF, MED and RO desalination technologies*. Energy, Volume 31, Issue 13, Pages 2361-2372.
45. Renou S., Thomas JS., Aoustin E., and Pons MN., 2007. *Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA*. Journal of Cleaner Production, In Press, Corrected Proof, Available online 1 August 2007.
46. Ribeiro C., Ferreira J.V., and Partidário P., 2007. *Life Cycle Assessment of a Multi-Material Car Component*. International Journal of LCA, Volume 12, Issue 5, Pages 336-345.
47. Rollefson J., Fu G., Chan A., 2004. *Assessment of the environmental performance and sustainability of biodiesel in Canada*, Ontario Ministry of Agriculture and Food
48. SETAC, 1991. A technical framework for life cycle assessments.
49. SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993. Guidelines for Life Cycle Assessment: A code of practice. Washington DC
50. SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1994. Life Cycle Assessment Data Quality: A conceptual framework. Washington DC.
51. Sheehan, et al., 1998. Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for use in Urban Bus N.R.E.L. Final Report.
52. Spielmann M., and Althaus HJ., 2007. Can a prolonged use of a passenger car reduce environmental burdens? Life Cycle analysis of Swiss passenger cars. Journal of Cleaner Production, Volume 15, Issues 11-12, Pages 1122-1134.
53. Stamatis A., 1995. *Externalities of Oil Refining*. Diploma Thesis, National Technical University of Athens.
54. Theodosiou G., Koroneos C. and Moussiopoulos N., 2003. *Classification and Analysis of Software Support Tools for Environmentally Friendly Product Design*. Proceedings of the 8th Conference of Environmental Science and Technology, Limnos, Greece, September 8 – 10, 2003.
55. Theodosiou G., Koroneos C., and Moussiopoulos N., 2005a. *Alternative scenarios analysis concerning different types of fuels used for the coverage of the energy requirements of a typical apartment building in Thessaloniki, Greece. Part I: Fuel consumption and emissions*. Building and Environment, Volume 42, Issue 3, March 2005, Pages 1522-1530.
56. Theodosiou G., Koroneos C., and Moussiopoulos N., 2005b. *Alternative scenarios analysis concerning different types of fuels used for the coverage of the energy requirements of a typical apartment building in Thessaloniki, Greece. Part II: life cycle analysis*. Building and Environment, Volume 40, Issue 12, December 2005, Pages 1602-1610.

57. Tonini, A., Astrup, T., (2012). LCA of biomass-based energy systems: A case study for Denmark. *Applied Energy* 99, 234–246.
58. Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, Z., Foteinis, S., (2010). Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions. *Journal of Cleaner Production* 18 328–335.
59. UFOP, (2008) : Cost and Life- Cycle Analysis of Biofuels. Long version
60. United States Environmental Protection Agency, 2005, Annual Certification Test Results and Data, United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA
61. US Environmental Protection Agency - EPA, (2002). «A Comprehensive Analysis on Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions Draft Technical Report». Office of Transportation and Air Quality.
62. US Environmental Protection Agency, 2002, *A Comprehensive Analysis on Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, Draft Technical Report.
63. Van Gerpen J., 2005, *Biodiesel processing and production*, *Fuel Processing Technology* 86, 1097-1107
64. Van Gerpen, J., (2000). Analysis of comparative LCA of biodiesel and fossil diesel fuel by Ceuterick and Spirinckx. Iowa State University. Available at. www.biodiesel.org.
65. Vossiniotis G., Assimacopoulos D., and Diakoulaki D., 1996. *Impacts of Crude Oil Transport by Ship*. National Technical University of Athens, Draft Position Paper.
66. Weiske G., Schröder W., Bohnenschäfer D., Falkenberg N., Fröhlich F., Thrän D., Vogel A., 2005, *Bioenergy production and provision chains*.
67. Whipker B., Dasoju S. and McCall I., 1998 *Guide to successful pot sunflower production*. Horticulture Information Leaflet 562, North Carolina Cooperative Extension Service, NCSU, U.S.A.
68. Zah R, Hischier R, Gauch M, Lehmann M, Böni H, Wäger P., (2007). Life cycle assessment of energy products: environmental assessment of biofuels. Final report. Bern:EMPA – Technology and Society Lab, Auftrag des Bundesamtes für Energie, des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Landwirtschaft.
69. Zah R., Faist, M., Reinhard, J., Birchmeier, D., (2009). Standardized and simplified life-cycle assessment (LCA) as a driver for more sustainable biofuels. *Journal of Cleaner Production* 17, S102–S105
70. Ελευθεριάδης Ι., 2010, *Δυνατότητες καλλιέργειας των ενεργειακών φυτών στον Ελληνικό χώρο*, ΚΑΠΕ διαθέσιμο : www.lignite.gr/events/eleftheriadis.pdf
71. Ελληνικά Πετρέλαια : www.hellenic-petroleum.gr
72. Καλαμπόγια Ε. 2005, *Ανάλυση κύκλου ζωής βιοαιθανόλης και βιοντίζελ ως καύσιμα μεταφοράς*, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Επιβλέπων: Τσούτσος Θ., Χανιά.
73. Παπαστάθη Κ., 2009, *Πετρέλαιο – Δύλιση και Προϊόντα*, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Επιβλέπων: Ιορδανίδης Α., Κοζάνη, Μάρτιος.